

Montlouis sur Loire, 27/02/2023

Olivier ROLLAND,  
Conservateur-restaurateur de sculptures  
3 rue du Gué, 37270 Montlouis  
SIRET 379514 391 00034  
tél. (33/0)2 47 45 14 56; mobile (33/0)6 80 42 87 74  
olivierrolland@wanadoo.fr

Juliette LUTZ  
Architecte du patrimoine, associée  
Covalence architectes

Municipalité de JUSSY-CHAMPAGNE  
Mairie,  
1 place de l'Église,  
18130 Jussy-Champagne

## 18, Jussy-Champagne, église, façade occidentale étude de conservation et de restauration

commande de la Municipalité du 28/6/2022

inclus : ERM 22 262 TD 349 - 18 - Église de Jussy-Champagne - sels solubles et DRX





## Sommaire

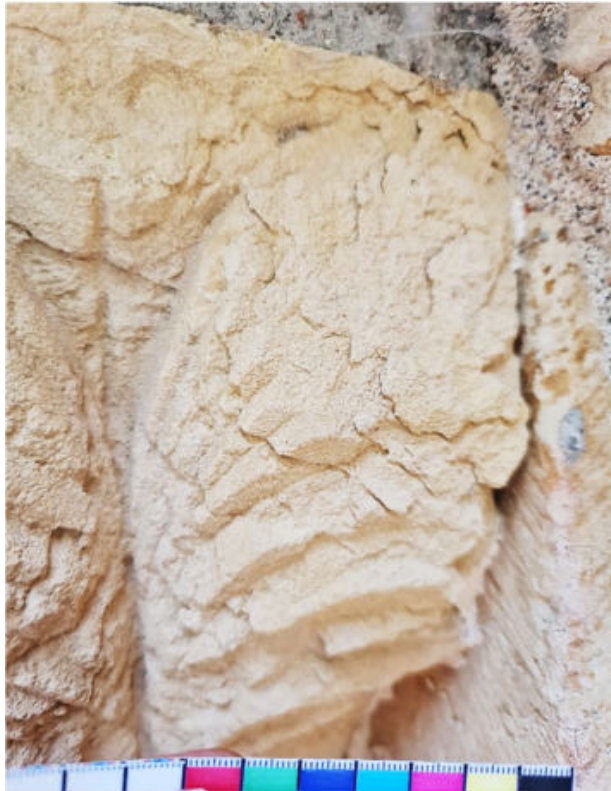
<b>I)</b>	<b>PRESENTATION .....</b>	<b>1</b>
<b>II)</b>	<b>CONSTITUTION .....</b>	<b>3</b>
	1) Pierres, façonnage .....	3
	2) Mortiers .....	9
	3) Métal, bois.....	17
	4) Peintures, badigeons .....	17
<b>III)</b>	<b>ALTERATIONS .....</b>	<b>19</b>
	1) Fissuration superficielle, désagrégation, pulvérulence.....	19
	2) Cassures, fissures profondes, gélifraction.....	27
	3) Érosion par la pluie .....	27
	4) Rubéfaction de pierres du portail .....	27
	5) Graffiti .....	27
	6) Dépôts superficiels, recouvrements biologiques.....	29
<b>IV)</b>	<b>ELEMENTS D’HISTOIRE MATERIELLE .....</b>	<b>31</b>
<b>V)</b>	<b>CONCLUSIONS ET PROPOSITION DE TRAITEMENT .....</b>	<b>47</b>
	1) Conclusions.....	47
	2) Proposition de traitement.....	47
	<b>ANNEXE : PHOTOS DE SECTEURS .....</b>	<b>55</b>
	<b>DOCUMENT JOINT : RAPPORT ERM .....</b>	<b>61</b>



1. ↑ La façade lors de la visite pour devis. 20210910\_163921 (photo redressée)

2. →↑ Chapiteau touché par une exfoliation assez avancée à gauche dans le portail 20210910\_165126

3. → Détail du chapiteau. 20210910\_165123



4. ← Nacelle utilisée pour l'étude du 12 au 16 septembre 2022. 20220915\_162537

## **I) Présentation**

Partie de monument en objet (figure 1), hauteur un peu inférieure à 12 m, largeur un peu inférieure à 10 m.

Devis demandé par la municipalité lors d'une réunion sur site le 10/9/2021 avec Madame le Maire, Irène Jourd'heil (Conservateur des Monuments Historiques), Juliette Lutz (Architecte du patrimoine, Covalence Architectes), Bernard Ducateau (Président de l'association des amis du patrimoine de Jussy-Champagne), Anne-Isabelle Berchon et Philippe Bardelot (Conservateurs des Antiquités et Objets d'Arts) entre autres participants.

Cette étude complète sur les matériaux de la façade, leurs altérations et le traitement des parties sculptées, le complément de diagnostic plus global réalisé par Covalence Architecte.

La demande de cette étude était motivée par l'altération principale du portail qui est la destruction de la pierre par l'action de sels solubles, avec notamment une exfoliation assez grave de deux de ses chapiteaux sculptés (figures 2 et 3).

La phase sur site de l'étude s'est déroulée du 12 au 16 septembre 2022, en nacelle élévatrice (figure 4), avec Estelle Castelli, stagiaire de la formation de conservation-restauration des œuvres sculptées de l'école supérieure d'art et de design de Tours. Juliette Lutz et sa collaboratrice Maëvy Steinkampf sont venues dans la nacelle le mercredi 14 septembre 2022, observer la façade et faire le point sur nos observations.



**légende**

 pierre de Charly ancienne	 bûchage, joints gravés	 mortier sable et ciment gris-mau
 pierre de Charly récente	 mortier sable et chaux d'origine	 ciment blanc
 calcaire oolithique ferme	 mortiers sable et chaux anciens	 mortiers sable et chaux récents
 calcaire oolithique	 mortier de tuileau	 bois
 calcaire bioclastique	 plâtre	 fer
 autres calcaires, indéterminés	 mortier sable et ciment gris	

5. ↑ Relevé de la constitution (O Rolland et Estelle Castelli) Le mortier de tuileau sur le parement masqué par les colonnes hautes et représenté en hachures. Fond graphique communiqué par Covalence Architectes.

## II) Constitution

Relevé dessiné figure 5

### 1) Pierres, façonnage

#### a) **Pierres d'origine ou très anciennes**

Sous réserve d'observation pierre à pierre par un géologue :

##### Pierre de Charly

Ce calcaire fin blanchâtre plus ou moins jaunâtre, avec parfois des passées grises, est très majoritaire dans la façade pour le parement comme pour les colonnes et les éléments sculptés, mais il a aussi été utilisé pour les restaurations.

##### Pierres indéterminés.

Les moellons n'ont pas été observés. Le seuil n'est probablement pas d'origine.

#### b) **Notes sur l'appareil et le façonnage (datation indéterminée)**

Les claveaux de la voussure du portail et des baies aveugles sont un mélange de petits claveaux et de claveaux plus grands dans lesquels des faux-joints sont gravés (figure 28 page 7) pour évoquer les joints des petits, certains de ces faux joints sont remplis d'un peu de mortier. Le grand bloc de parement dans la partie inférieure de la travée centrale des arcades porte aussi des joints gravés.

Le tailloir du chapiteau de la 3<sup>ème</sup> colonne diffère sensiblement des autres par sa pierre (figures 22 à 24 page 6) comme par son profil (figure 27 page 7).

Les colonnes et chapiteaux sont d'un seul bloc sauf les 4<sup>èmes</sup> (figure 150 page 44).

Le tailloir du chapiteau de la 4<sup>ème</sup> colonne est moins épais que les autres, il est prolongé vers le bas, côté chapiteau, par une couche de brique (figure 34 page 10).

Les bases de colonnes hautes ont des profils et des natures de pierres différentes.

#### c) **Bûchage de pierres anciennes**

Des parties en saillie ont été éliminées par bûchage :

- Un animal à quatre pattes et queue (peut-être un agneau ?) en haut de la baie aveugle droite (figure 25 page 7). Le haut de la baie aveugle symétrique pourrait aussi avoir porté un relief, les traces d'outils à sa surface semblent plus fraîches que celles du parement environnant, elles sont néanmoins antérieures aux premières photos vers 1900.

- Des modillons qui soutenaient la corniche sous l'arcade (figure 26 page 7).

#### d) **Pierres et briques de remplacements**

##### Pierre de Charly

Le pignon est une réfection en pierre de Charly plus jaune et plus homogène que celle d'origine. Des blocs de parement en bas à droite dans la façade semblent de la même pierre avec au contraire plus de passées grises. L'histoire matérielle présentée plus loin permettent de distinguer deux campagnes de restauration : pignon, corniche, deux colonnes, deux chapiteaux et du parement vers 1900, une partie de la corniche à nouveau en 1962.



6. ← 3<sup>ème</sup> relief en pierre de Charly d'origine 20220913\_163401



7. ↑ Détail grandeur nature du fond du relief en juste après prélèvement de pierre dans une zone qui perdu son épiderme. P9134278rmr



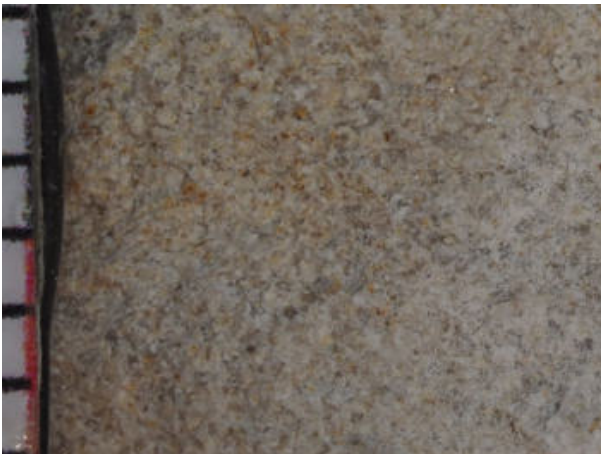
8. ← Détail grossi 10 fois de la cassure fraîche du prélèvement : pierre de Charly (et probablement une formation de gypse lié à l'altération de la pierre, petite boule claire au centre) P1211919



9. ← Prélèvement de pierre du bloc de la 1<sup>ère</sup> colonne et du chapiteau haut à gauche, pierre de Charly supposée d'origine 20220915\_105502



10. ↑ Au centre, cassure fraîche du prélèvement, grandeur nature. P9154719

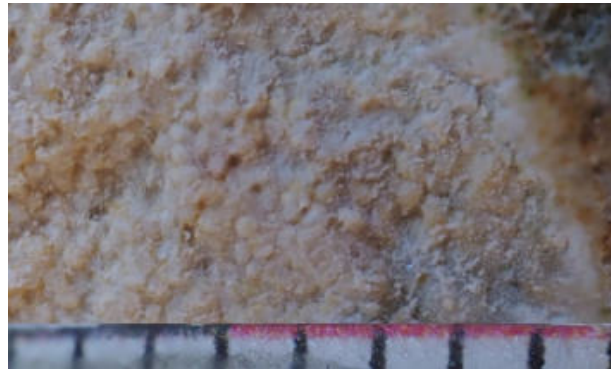
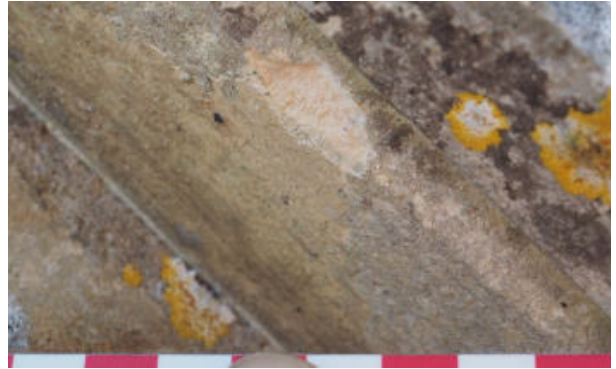


11. ← Détail grossi 10 fois de la cassure fraîche du prélèvement : pierre de Charly P1211909





12. ↑ A droite sur la photo, prélèvement de pierre des dalles de couverture du pignon 20220912\_111901

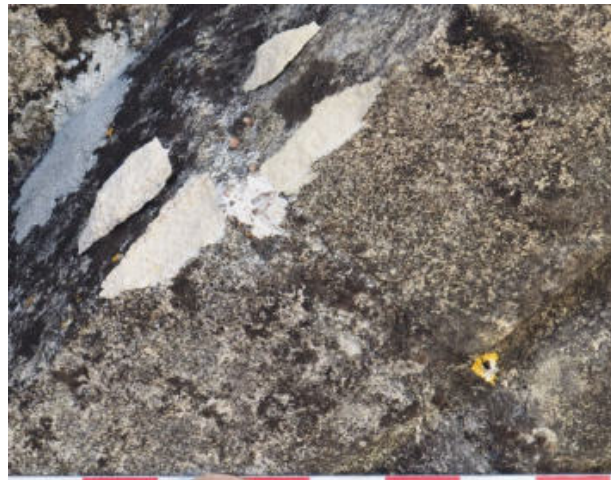


13. →↑ Grandeur nature, cassure fraîche du prélèvement P9124018

14. → Cassure fraîche grossi dix fois : ces dalles sont en calcaire oolithique assez dur. P9124028.



15. ↑ Départ du 5<sup>ème</sup> arc, à droite sur la photo : prélèvements de pierres de restauration, détails ci-après, 20220912\_173616



16. ↑ Détail grandeur nature P9124188



17. ↑ Détail grossi dix fois de la cassure fraîche à gauche figure 16 : calcaire oolithique plus tendre que celui de la figure **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** P9124206



18. ↑ Détail grossi dix fois de la cassure fraîche à droite figure 16 : pierre de Charly P9124224



19. ← En bas à droite, prélèvement de la pierre de parement du pignon 20220912\_113129



20. ↑ Grandeur nature, cassure fraîche du prélèvement. On remarque la désagrégation de la pierre au-dessus. P9124029



21. ← Détail grossi 10 fois de la cassure fraîche du prélèvement : pierre de Charly P9124067



22. ← Tailloir du 3<sup>ème</sup> chapiteau des colonnes hautes. Le profil de ce tailloir diffère un peu de celui des autres, et sa pierre plus grenue est plus propice aux mousses (visible figure 174 page 59) 20220914\_175234



23. ↑ Prélèvement 20220914\_174845



24. ← Grossie dix fois, cassure fraîche du prélèvement : calcaire bioclastique à grain relativement fort. P1211967

### Calcaire bioclastique

Le tailloir du chapiteau de la 3<sup>ème</sup> colonne est d'un calcaire bioclastique assez dur.

### Briques

Des briques rehaussent le tailloir du chapiteau de la quatrième colonne. On en trouve aussi en haut à gauche du pilastre à droite des arcades sous le pignon.

### Calcaire oolithique beige ferme

Les dalles de couverture du pignon sont en calcaire oolithique ferme (figure 14 page 5).

### Calcaire oolithique jaune

Des blocs remplacés dans la console sous le bas du rampant sud du pignon et dans les arcs sont en calcaire oolithique plus jaune et plus tendre que le précédent (figure 17 page 5), c'est un calcaire de Lavoux selon les mémoires de travaux de 1961.



25. ↑ Fantôme de relief figuratif (animal à quatre pattes ?) sous l'arc de baie aveugle à droite du portail 20220916\_145931



26. Le 11<sup>ème</sup> fantôme des 13 modillons bûchés (ou 12<sup>ème</sup> sur 15 ?) sous la corniche, entre la 5<sup>ème</sup> et la 6<sup>ème</sup> colonne. Des restes de mortier de tuileau couvrent aussi bien la partie bûchée, au centre, que l'épiderme d'origine autour. 20220915\_135919



27. ↑ Tailloir du 3<sup>ème</sup> chapiteau des colonnes hautes : profil différent (et pierre différente figure 23) 20220914\_145945



28. ↑ Faux joint gravé dans un claveau à gauche dans la voussure du portail. On note aussi la rubéfaction de la pierre (rougissement sous l'effet d'un feu intense) 20220916\_102425



29. ← Localisation des photos suivantes dans le joint vertical au-dessus du fer à décrocher les sabots à gauche du portail pour localisation des photos ci-après 20220916\_163836



30. ↑ Détail grandeur nature du joint vertical au centre de la figure 29 : perte de rejointoiement découvrant le mortier de pose d'origine. P9164920



31. ← Détail du mortier de pose d'origine grossi dix fois environ P9164929



32. ↑ Vue plongeante sur les tailloirs des chapiteaux de l'ébrasement nord du portail, détail ci-contre. 20220916\_103725



33. → Détail grandeur nature : rejointoiement ancien 20220916\_103822

## 2) Mortiers

### a) **Mortiers d'origine**

#### Mortier de pose d'origine

Sable et chaux aérienne (figures 29 à 31).

#### Mortier de jointoiment d'origine

Aucun reste n'a été repéré (mais peuvent subsister sous des rejointoiments). On peut supposer que le portail au moins était à joints cachés à base de chaux et poudre de pierre.

### b) **Mortiers de restauration**

#### Mortiers de restaurations anciennes

Ces mortiers sont déjà visibles sur des photos antérieures à 1900 :

- Mortiers de tuileau et chaux pour poser les briques entre 4<sup>ème</sup> chapiteau et son tailloir (figure 34 page 10) et pour de nombreux rejointoiments aujourd'hui très partiels, autrefois plus étendus (figure 26 page 7, figures 37 à 40 page 10 ; le tuileau est connu depuis l'antiquité pour apporter un léger caractère hydraulique aux mortiers de chaux, très utile en reprise).
- Mortiers de sable et chaux (figures 32 et 33 , 41 à 43 page 11, 70 page 16).

#### Mortiers d'une restauration vers 1900

Ces mortiers peuvent être datés par des photographies anciennes (figures 109 page 33, figure 110 page 34 )

Mortier de pose de sable et chaux (figure 46 page 12).

Mortier d'enduit, de jointoiment ou rejointoiment, de sable un peu plus fin et chaux (figure 46 page 12).

Plâtre<sup>1</sup> en blocage par plots des reliefs et de la croix du pignon, déposés et reposés (figure 57 page 14 à figure 61 page 14) en jointoiment assez profonds sur les consoles créées sous chaque extrémité des rampants du pignon (figures 51 à 56 page 13) et probablement en pose au moins du chapiteau central de l'ébrasement gauche du portail (figures 2 et 3 page 0)

Mortier rougeâtre (figures 44 et 45 page 11) contenant environ 50 % carbonate de calcium 6% de gypse<sup>2</sup> (ajout de plâtre, ou ciment naturel inconnu ?).

Ciment gris et sable en jointoiment de la croix dans le pignon (figures 47 et 48 page 12) et par endroits plus bas.

Ciment gris-rosâtre et sable sur les reliefs et au-dessous (figures 49 et 50 page 12).

#### Mortiers utilisés lors d'une restauration vers 1962

Ces mortiers sont datés par des photographies anciennes et des attachements figurés (figure 110 page 34, figures 116 à 118 page 37, figures 111 à 113 page 36)

Mortier de sable et chaux très difficile à distinguer du mortier similaire 1900.

Ciment blanc en réfections, en collages et en coulis, uniquement sur les reliefs en bas du pignon (figures 62 à 66 page 15).

→ (suite du texte page 17)

<sup>1</sup> Identifié par spectrométrie infrarouge confirmée par photométrie : prélèvement en photo 20220915\_093730, dont 24 mg (+-1mg) sont broyés dans 24 ml (+-1 ml) d'eau déminéralisée, le mélange agité est laissé reposer 12 heures puis 4ml de surnageant clair sont prélevés, l'ion sulfate est dosé par photomètre Sensafe Exact Micro 20, il faut diluer 5 fois (4 ml (+-0,1ml)+ 16 ml (+-0,2 ml) pour tomber dans la zone de sensibilité, résultat 91 mg/l dans la dilution donc 5 x 91 mg/l = 455 mg/l dans le surnageant, donc 45,5% d'ion sulfate dans le prélèvement, soit 82% de sulfate de calcium bihydraté, composant très majoritaire du plâtre ; le reste est composé d'impuretés, autres sels solubles et eau.

<sup>2</sup> Prélèvement en photo 20220916\_164747, dont 61 mg (+-1mg) sont attaqués par une solution d'acide chlorhydrique dans un calcimètre de Bernard, ils dégagent un volume de gaz correspondant à 30 mg de carbonate de calcium. 84 mg (+-1mg) du même prélèvement sont broyés dans 8,4 ml (+-0,2ml) d'eau déminéralisée et analysés comme note 1, résultat 3,4% d'ion sulfate soit 6,0% de gypse.



34. ↑ Brique couverte de mortiers entre tailloir et chapiteau de la 4<sup>ème</sup> colonne : mortier de tuileau contemporain de la pose ou repose du tailloir, mortier de chaux et sable Cette intervention est antérieure à 1900 .P9124152



35. → Cassure fraîche dans le mortier de tuileau. P9124170

36. → Détail de la cassure fraîche grossie 5 fois environ, on distingue clairement les granulats de tuiles concassées. P9124179



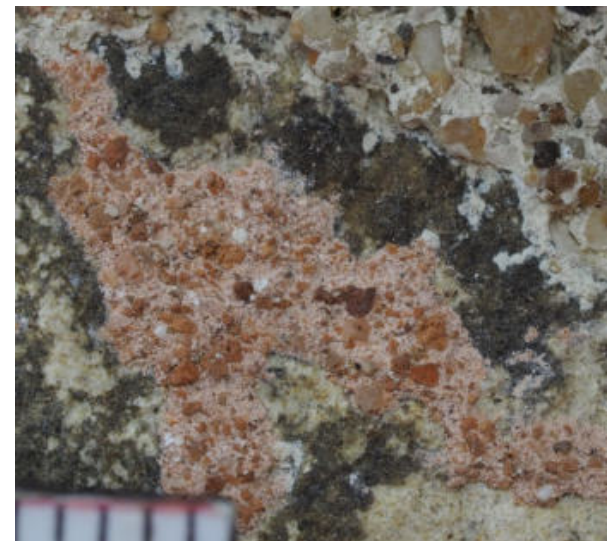
37. ↑ Mortier de tuileau sur le tailloir à droite dans la baie aveugle gauche 20220915\_173829



38. ↑ Détail. 20220915\_173836



39. ↑ Restes de mortier de tuileau tout en haut à droite du portail P9164857



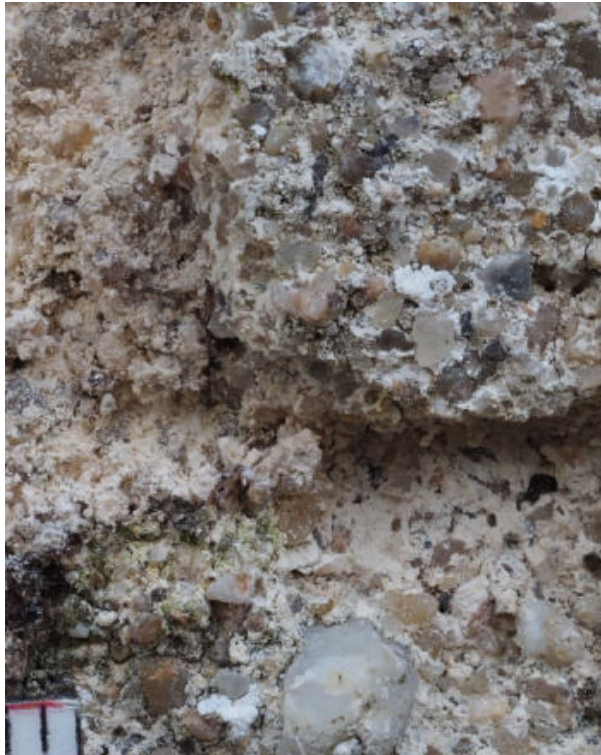
40. ↑ Détail grossi cinq fois environ P9164875



41. ← Talus entre le pilastre nord et la première des colonnes hautes 20220915\_163658



42. ↑ Détail grandeur nature de l'enduit à droite juste au-dessus du talus figure 41 : limite entre, en haut, une mince couche de mortier assez récent (des granulats du mortier sous-jacent dépassent à travers) et, en bas, un mortier plus ancien, au sable moins régulier et moins fin. Bien qu'il ressemble beaucoup au mortier de la restauration vers 1900, le mortier récent est postérieur à 1913 d'après les photos anciennes, il date probablement de 1962 P9154720



43. ← Détail grossi cinq fois environ, mortier plus récent en haut à droite, mortier plus ancien à gauche et en bas. P9154749



44. ↑ Mortier de pose du 2<sup>ème</sup> chapiteau à droite, chapiteau d'origine posé là vers 1900 P9164902



45. ↑ Détail grossi cinq fois environ, ce mortier est très différent des mortiers de tuileau plus anciens des figures 34 à 40, il contient 6% de gypse (ajout de plâtre ? Ciment naturel ?) P9164911



46. ← Mortier de remontage du pignon vers 1900, à gauche dans le joint de la figure 20 page 6. A droite tout près de la mire on distingue un reste de mortier de jointoiment, très similaire mais avec un sable plus fin. P9124120



47. ↑ Jointoiment de sable et ciment en haut à droite de la branche verticale de la croix, grandeur nature : épiderme d'origine à gauche, cassure fraîche en haut au centre, érosion par la pluie avec dégagement des grains de sable plus résistants à droite. Ce mortier date de la restauration vers 1900 (figures 109 page 33, figure 110 page 34 ) P9124078



48. ↑ Détail grossi cinq fois environ. Malgré leur dureté, les grains de silex sont traversés par la cassure, ce qui témoigne de la dureté du liant. P9124088



49. ↑ Haut du cadre du quatrième relief : à droite sur la photo, mortier de sable et ciment gris-rosâtre avec cassure fraîche. Comme le ciment figure 47 ce mortier semble dater de la restauration vers 1900 (figures 109 page 33, figure 110 page 34 ) P9134548



50. ↑ Détail grossi cinq fois environ. Le liant est moins dur que celui du ciment gris figure 48 P9134602





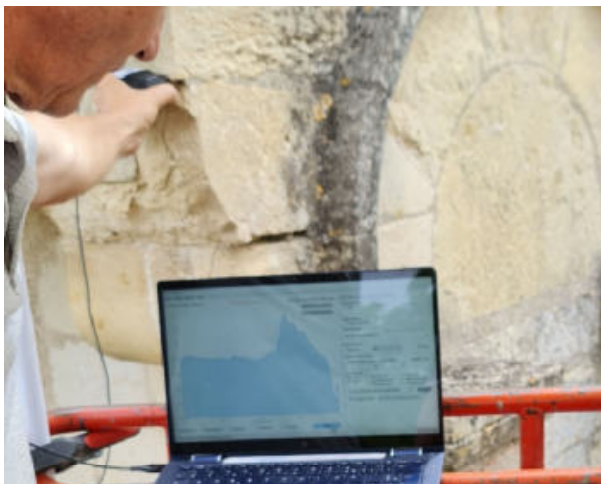
51. ↑ La console sous l'extrémité du rampant nord du pignon. L'eau entrant par le joint ouvert sur le rampant (figure 68 page 16) dissout le gypse du plâtre. Ce gypse cristallise dans pierre autour, souvent humidifiée mais jamais lixiviée, ce qui explique l'altération depuis le début du XXème siècle (figure 110 page 34) 20220913\_134247



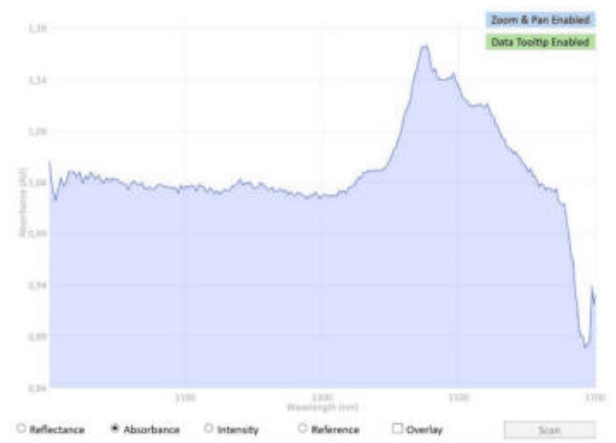
52. ↑ Détail grandeur nature du joint en haut de la figure 51 :). P9134332



53. ↑ Détail grossi cinq fois environ : faciès de dissolution typique du plâtre. P9134350



54. ↑ Acquisition d'un spectre proche infrarouge sur le joint de la figure 52. 20220913\_135417



55. ↑ Le spectre infrarouge obtenu montre à droite un triple pic en escalier qui, dans ce contexte, permet d'identifier le plâtre.



56. ← Spectre d'absorption dans le très proche infrarouge d'un sulfate de calcium bihydraté pur (produit de laboratoire) obtenu avec le spectromètre NIR-SG1 d'Allied Scientifics utilisé figure 54. Le « triple pic » constitué d'un premier pic à 1449 nm suivi de deux « marches » vers 1492 et 1538, sans être propre au gypse (plâtre après la prise) et à la bassanite (plâtre en sac, avant la prise), permet de les identifier dans ce contexte (la couleur du spectre est arbitraire).



57. ← L'extrémité inférieure gauche de la croix du fronton, détail ci-après 20220914\_123827



58. ↑ Détail grandeur nature. Au centre sur la photo une perte de mortier de sable et chaux laisse apparaître un matériau blanchâtre. La pierre à gauche est désagrégée et fissurée. P9144612



59. ← Détail grossi cinq fois environ : au creux du joint on reconnaît un faciès de dissolution du plâtre comme figure 53 page 13. Les dommages dus au gypse autour sont moins importants figure 57 que figure 51 page 13 car la pierre avoisinante est lixiviée par la pluie. La pierre à gauche figure 58 est toutefois sensiblement désagrégée, probablement par le gypse provenant du plâtre. P9144630



60. ↑ Identification de plâtre en bas à droite du relief central (fragment prélevé dans le joint et posé sur le spectromètre) 20220915\_094041



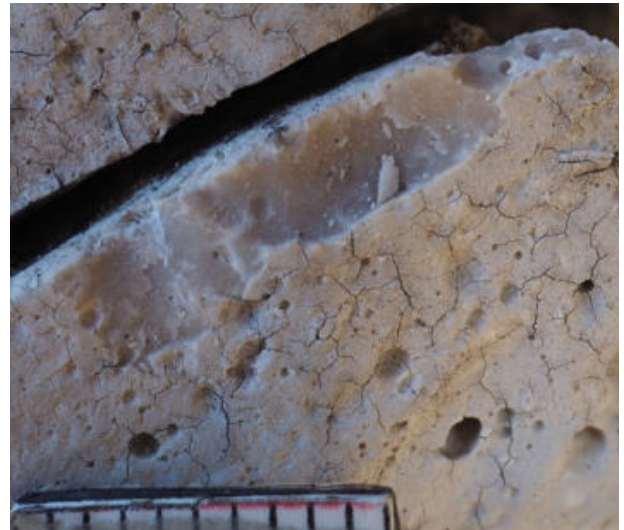
61. ↑ Sondage en bas à droite du 1<sup>er</sup> relief : derrière le mortier de sable et chaux on distingue un plot de plâtre utilisé pour un blocage rapide P9134404



62. ↑ 4<sup>ème</sup> relief, détails ci-après P9124141



63. →↑ *Détail grandeur nature d'une réfection de ciment blanc, avec cassure fraîche un peu à droite du centre de la photo. P9124142*



64. → *Détail avec cassure fraîche, grossi cinq fois environ. Aucune charge n'est visible dans la matrice de ciment blanc vitreux très dur. P9124151*



65. ↑ 5<sup>ème</sup> relief, le même ciment blanc que figures 62 à 64 (vitreux et très dur) a été utilisé pour des collages et des coulis dans des fissures, détail ci-contre 20220914\_171705



66. ↑ *Vue en contre-plongée du cadre du 5<sup>ème</sup> relief, grossi deux fois environ : fissure ancienne partiellement remplie de ciment blanc avec de nombreuses bulles d'air. La poursuite de l'altération par les sels solubles a continué d'ouvrir la fissure, créant de nouvelles fissures plus étroites entre pierre et ciment blanc 20220914\_171804*



67. ↑ Bas du rampant nord 20220914\_094200



68. ↑ Un cochet de fer retient la dalle inférieure, le joint est largement ouvert côté droit, comme beaucoup de joints des deux rampants. 20220914\_094218



69. ← 2<sup>ème</sup> chapiteau, on distingue les bouchages de mortier sur trois trous de goujons. 20220915\_100555



70. ↑ En retirant le bouchon de mortier on découvre des restes de d'un goujon de bois pourri (bouchon de mortier remis en place après photo). 20220915\_100741



71. ← Grandeur nature, cheville de bois et clou de fer en haut du portail 20220916\_114258

### 3) Métal, bois

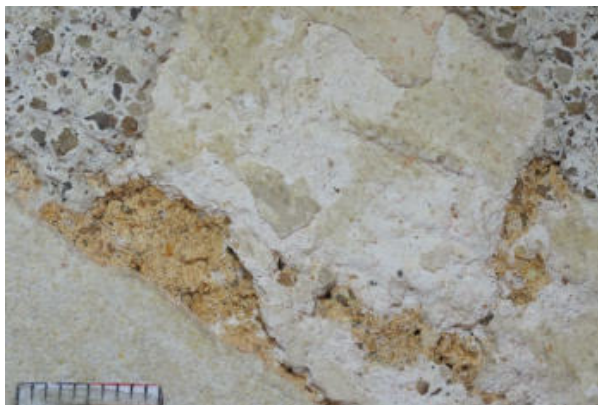
Le 2<sup>ème</sup> chapiteau a fait l'objet d'une réparation par trois goujons de bois (figures 69 et 70) avant 1900. Leurs bouchages sont déjà visibles sur les photos du Médéric Mieusement en 1893 figure 107 page 32. En dépit de la pourriture de ces goujons l'élément est maintenu par les mortiers et ne présente pas de danger dans son état actuel (les goujons devront cependant être remplacés assez rapidement).

Des clous plantés dans des chevilles de bois témoignent de l'accrochage ancien de décors temporaires pour des fêtes ou des cérémonies (figure 71).

Des cales de pose en bois sont aussi visibles dans les mortiers de quelques joints (exemple figure 33 page 8).

### 4) Peintures, badigeons

Les restes de plusieurs badigeons de chaux sont visibles dans le portail, tous assez anciens car couverts par au moins un mortier de tuileau (figures 72 à 74). La teinte ocre de l'épiderme de partie ancienne pourrait être un reste de préparation de polychromie (figures 78 à 81 page 20).



72. ← Grossi 2 fois, joint extérieur du 3<sup>ème</sup> claveau d'intrados à droite en partant du bas de la voûte du portail, détail ci-contre à P9164830








73. ↑ Grandeur nature, restes de badigeons couverts de restes de mortier de tuileau et de mortier de chaux P916477



74. ← Détail grossi cinq fois environ. P9164821



**Légende**

- |   |  |   |
|---|--|---|
|  fissures superficielles     |  cassures, fissures profondes |  rubéfaction |
|  désagrégation, pulvérulence |  pertes de matière importante |   |

75. ↑ Relevé des altérations (O Rolland et Estelle Castelli) sur fond de relevé de la constitution figure 5 page 2. Non représentés : les dépôts superficiels (visible sur les photos par secteurs à la fin de ce rapport) et l'érosion relativement uniforme, selon l'exposition et la durée d'exposition, due à la dissolution de la calcite par la pluie.

### III) Altérations

#### 1) Fissuration superficielle, désagrégation, pulvérulence

##### Description

Le bas de la façade et en particulier le portail montrent des dommages très importants typiques de l'action de sels solubles:

- Alvéolisation des colonnes et des parements des ébrasements, en particulier côté nord (figure 76), exposé au sud-ouest donc aux pluies mais aussi au soleil donc à l'évaporation, donc à la concentration des sels solubles remontant du sol par capillarité.
- Exfoliation des deux chapiteaux intérieurs côté nord (figures 77 à 81).
- Fissuration de parties en saillie au-dessus, à hauteur de la voussure (figures 82 à 85 page 21)

Des dommages très importants également dus aux sels se produisent beaucoup plus haut dans la façade, avec des aspects différents :

- Désagrégation profonde et pertes de matière très importantes sur les consoles sous les extrémités des rampants (figure 51 page 13, figure 86 page 22).
- Fissuration et désagrégation moins profonde sur des parties sculptées dans les creux sous des parties en saillie ou « semi-abritées » : reliefs (figure 58 page 14, figure 65 page 15) et le 4<sup>ème</sup> et le 5<sup>ème</sup> chapiteau (figures page). Le 2<sup>ème</sup> et le 3<sup>ème</sup> chapiteau sont dans un état plus évolué, les parties en saillie sont déjà tombées...

##### Prélèvements et analyses de sels

Des prélèvements ont été envoyés accompagnés d'une note avec photos au laboratoire spécialisé ERM pour :

- Deux identifications de sels solubles par diffractions de rayons X (DRX).
- Huit dosages des ions des ions sulfate, nitrate, chlorure, phosphate, sodium, magnésium, calcium et potassium selon la norme sels solubles sur huit prélèvements (choisis après le relevé sur site, a priori deux efflorescences objets des DRX ci-dessus et prélèvements pierre en surface, 0 à 1 mm, et en profondeur, 40 à 50 mm, à trois emplacements de pierre altérée).

Le seul sel soluble identifié en DRX est le gypse.

Les résultats des dosages d'ions de sels solubles sont résumés pas le tableau ci-dessous.

	chlorure	sulfate	nitrate	phosphate	calcium	magnésium	sodium	potassium	total
ERM1DRXD 0-1 mm	inf 0,05%	5,59%	0,10%	inf 0,05%	5,64%	inf 0,05%	inf 0,02%	0,03%	11,53%
ERM1D 1-10 mm	inf 0,05%	0,15%	0,06%	inf 0,05%	1,27%	inf 0,05%	inf 0,02%	0,02%	1,67%
ERM1D 40-50 mm	inf 0,05%	inf 0,05%	inf 0,05%	inf 0,05%	1,13%	inf 0,05%	inf 0,02%	inf 0,02%	1,42%
ERM2D 0-1 mm	1,10%	inf 0,05%	0,07%	inf 0,05%	1,15%	inf 0,05%	0,05%	0,03%	2,55%
(ERM2 1-10 mm)									
ERM2D 40-50 mm	0,60%	0,12%	0,06%	inf 0,05%	1,33%	0,02%	0,02%	0,02%	2,22%
ERM3DRXD 0-1 mm	2,20%	1,57%	0,70%	inf 0,05%	2,69%	i.0,02%	0,14%	0,09%	7,46%
ERM3D 1-10 mm	1,80%	0,16%	0,55%	inf 0,05%	1,48%	inf 0,05%	0,09%	0,07%	4,25%
ERM3D 40-50 mm	1,40%	inf 0,05%	0,23%	inf 0,05%	1,24%	inf 0,05%	0,09%	0,04%	3,15%



76. ↑ Alvéolisation de la pierre de l'ébrasement gauche du portail à hauteur des colonnes. P9164957 recadrée



77. ↑ Le chapiteau central (copie de 1900, ici à gauche) et intérieur, (supposé d'origine, ici à droite) sont les plus touchés par l'exfoliation probablement liée à un plâtre de pose 1900 du chapiteau central P9164949 recadrée



78. ↑ Détail grandeur nature de l'exfoliation en haut du chapiteau intérieur gauche P9164971



79. ↑ Détail grossi cinq fois environ P9164980



80. ↑ Détail tout en bas au centre figure 78, grossi dix fois environ ; on distingue les petites formations de sels blanchâtres P9165015



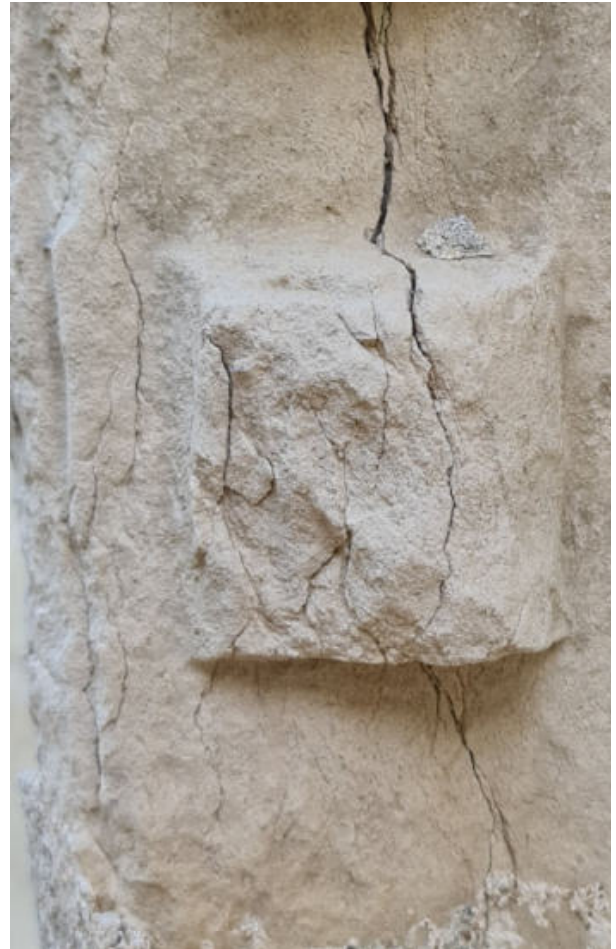
81. ↑ Détail en bas à droite figure 78, grossi dix fois environ : restes d'épiderme brunâtre et pierre abîmée par les sels. P9165024





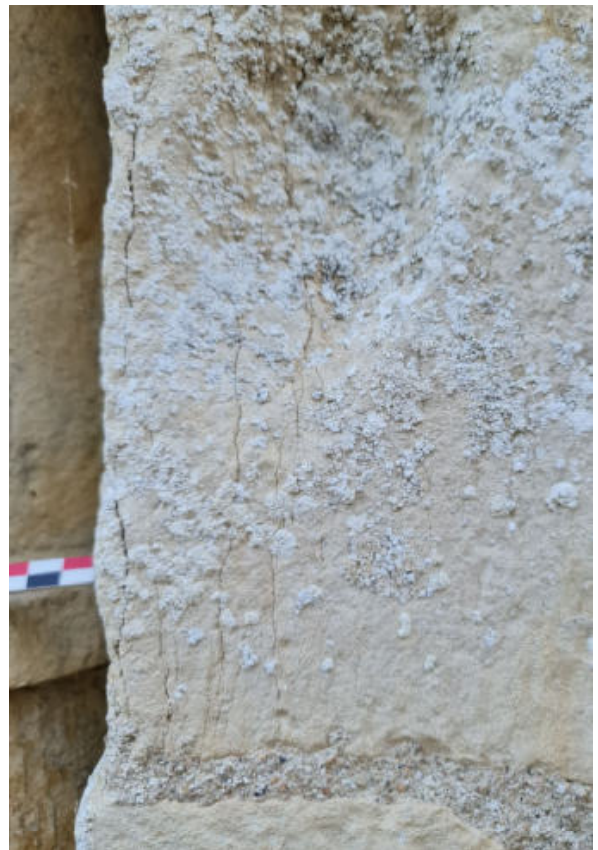
82. ↑ 1<sup>er</sup> claveau d'archivolte à gauche : fissures et désagrégation 20220915\_181502

83. → Détail grandeur nature 20220915\_181520



84. ↑ Chapiteau et parement à gauche du portail 20220915\_182135

85. → Détail des fissures sur le parement 20220915\_182144





86. ← Console sous le rampant côté sud du pignon ; les blocs en façade, ici à gauche, ont été remplacés en 1962. Les autres blocs sont aussi abimés que les blocs symétriques figure 51 page 13. Le plâtre à l'origine de la désagrégation n'a pas été éliminé lors de la restauration 1962, dissous par l'eau des nombreuses infiltrations (figure 87), il continue d'abîmer la pierre. 20220913\_170647



87. ↑ L'un des nombreux joints ouverts sur les rampants, ici en haut du rampant nord (ils sont encore plus nombreux au sud), ce trou coïncide avec la zone d'altération par les sels en haut à gauche de la croix (relevé figure 75 page 18, même type d'altération que figure 20 page 6) 20220913\_160356



88. ↑ Détail des fissures multiples qui tendent à séparer les parties en saillie des parties plus massives du 4<sup>ème</sup> chapiteau. 20220914\_165301



89. ↑ Vue plongeante sur le 5<sup>ème</sup> chapiteau, même type de fissures, 20220915\_135527



90. ← Trou creusé par la dégradation de pyrite en haut à gauche dans la voussure du portail. 20220916\_104145

91. → Détail grandeur nature 20220916\_104209



## Origine des sels

### Haut de la façade

Les prélèvements de la série ERM1 (rapport ERM en document joint à la fin de ce rapport), sous un bandeau au-dessus du relief central (figure 92 page 24) montrent dans la pierre superficielle désagrégée que l'ion sulfate et l'ion calcium sont très majoritaires, les autres ions de sels solubles sont peu abondants ; tous les ions de sels solubles sont rares en profondeur. Sulfate et calcium sont là très majoritairement sous forme de gypse (sulfate de calcium bihydraté) détecté par diffraction de rayons X. Le gypse, peu soluble, ne se concentre que dans les parties où l'eau chargée d'ions sulfate et calcium s'évapore régulièrement pendant longtemps.

Le plâtre de la restauration 1900 joue nécessairement un rôle majeur comme source de gypse dans la désagrégation de la pierre des parties semi-abritées en hauteur sur la façade (figure 58 page 14, figure 65 page 15).

Dans les consoles en bas des rampants, (figures 51 à 53 page 13, figure 86 page 22) il est particulièrement clair que l'eau qui s'introduit par les joints ouverts sur le rampant dissout le gypse du plâtre. Ce gypse cristallise et s'accumule peu à peu dans la pierre ou l'eau s'évapore, zone où il est souvent humidifié mais jamais lixivié, conditions parfaites pour détruire la pierre, ce qui explique l'altération importante de cette dernière depuis le début du XXème siècle (voir histoire matérielle figure 110 page 34).

Le gypse provenant du plâtre n'est cependant pas la seule source de sels dans les parties haute : l'eau de pluie contient une part faible mais non nulle d'ions de sels solubles, 1000 fois moins que l'eau de mer environ (et avec, à proportion, beaucoup moins d'ions sodium, beaucoup plus d'ion calcium et nitrate, figure 94; les nitrates sont en forte augmentation depuis le milieu du XXème siècle) mais avec le temps des infiltrations s'évaporant dans des parties jamais lixiviées peuvent apporter des quantités de sels importantes. Les nombreux joints ouverts et les infiltrations d'eau de pluie dans les rampants du pignon pourraient suffire, même sans plâtre, à expliquer les dommages sur les parements juste au-dessous (figure 87). La surface horizontale des tailloirs est propice aussi à l'infiltration d'eau de pluie qui pourrait expliquer l'altération des chapiteaux aux formes les plus fouillées au-dessous (figures 88 et 89). A toutes les hauteurs, la dégradation de pyrite naturellement présente dans la pierre peut aussi être une source de gypse (figures 90 et 91).

### Bas de la façade

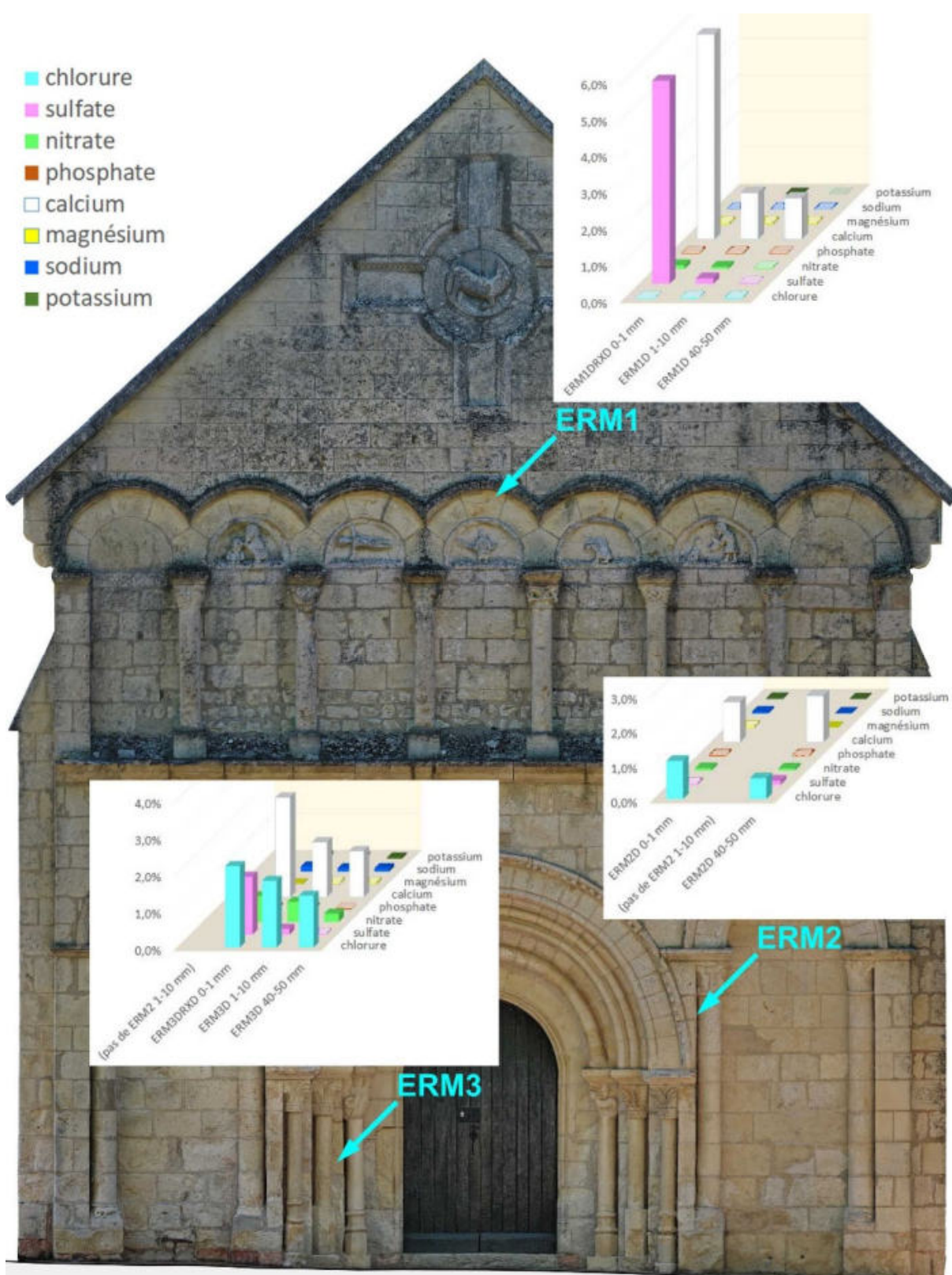
La contamination saline est très différente dans la partie basse de la façade.

Les prélèvements des séries ERM2 et ERM3 (rapport ERM en document joint à la fin de ce rapport), dans le parement à droite du portail et dans son ébrasement gauche (figure 92 page 24) montrent beaucoup plus d'ions chlorure et nitrate qu'en haut de la façade. Ces ions de sels très solubles sont plus concentrés en profondeur que l'ion sulfate.

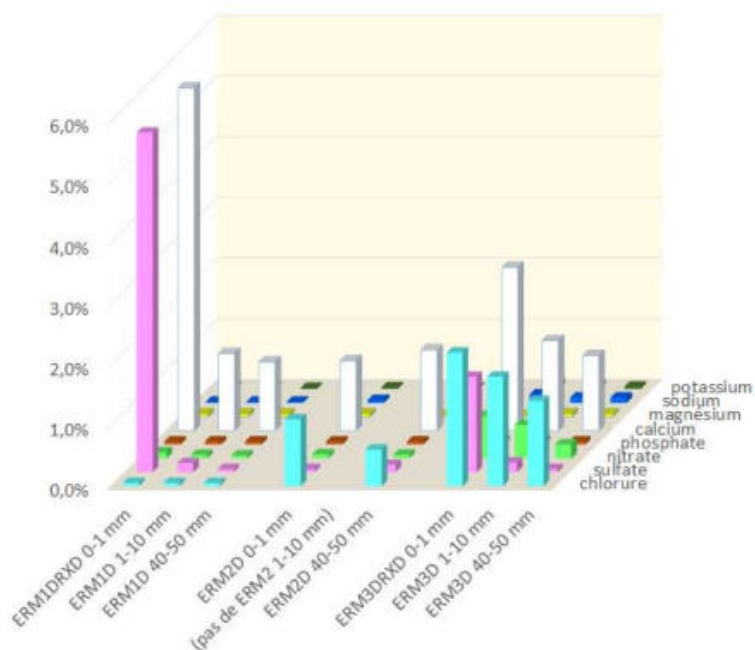
Ce sont les remontées d'eau capillaire du sol qui sont ici la source majeure de contamination. On peut supposer toutefois que le chapiteau central de l'ébrasement gauche a été posé au plâtre vers 1900 et que l'état critique des deux chapiteaux intérieurs gauches s'explique par cette double contamination (figures 2 et 3 page 0, figures 76 à 81 page 20)

L'ion sodium est un peu plus abondant en bas que dans le haut de la façade mais il n'est pas assez abondant pour permettre à l'ion chlorure de cristalliser entièrement avec lui, c'est aussi l'ion calcium, en plus de l'ion sodium, qui balance électriquement l'ion chlorure (figures 96 et 97). C'est un point important pour la conservation des éléments sculptés : le chlorure de sodium ou halite (composant très majoritaire du sel de mer) est un sel destructeur qui cristallise dès que l'humidité relative passe sous 75%, ce qui arrive régulièrement dans les conditions climatiques de Jussy-Champagne. Le chlorure de calcium ou antarctite est un sel déliquescent qui, lui, ne cristallise qu'au-dessous de 32% d'humidité relative, ce qui n'arrive que très rarement ici ; ses ions restent donc dans la pierre sous forme d'une saumure qu'ils forment avec l'eau qu'ils peuvent prendre même à un air sec. Il n'est en général pas lui-même un sel destructeur mais il permet aux sels destructeurs de se déplacer. Une fois contaminé par ce type de mélange, il ne suffit pas d'interrompre les remontées capillaires pour stopper l'altération puisque les sels déjà présents peuvent continuer à se déplacer très longtemps dans la saumure.

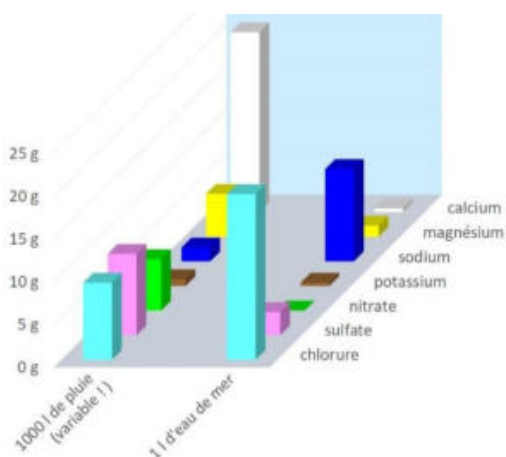
→(suite du texte page 27)



92. ↑ Prélèvements et graphiques des dosages du laboratoire ERM présentés tous à la même échelle. Dans chaque graphique, la première série correspond au prélèvement superficiel de 0 à 1 mm, la seconde correspond à un prélèvement un peu plus profond (1 à 10 mm, non-analysé pour la série ERM2), la troisième correspond à un prélèvement profond, de 40 à 50 mm. Les barres dont la face supérieure est couverte d'un ton pastel indiquent des valeurs très faibles, sous les seuils de sensibilité. Pour ERM1, l'ion sulfate et l'ion calcium sont seuls très abondants et seulement en surface, il s'agit de gypse, le composant très majoritaire du plâtre. Pour ERM2 seul l'ion chlorure et l'ion calcium sont abondants, en surface comme en profondeur. En bas pour ERM3 c'est l'ion chlorure et l'ion calcium qui sont les plus abondants, l'ion sulfate est très présent aussi en surface, l'ion nitrate est assez présent.

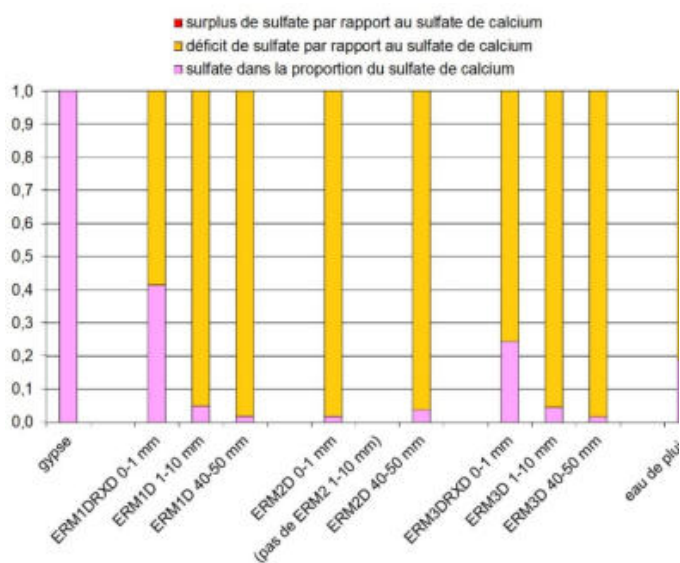


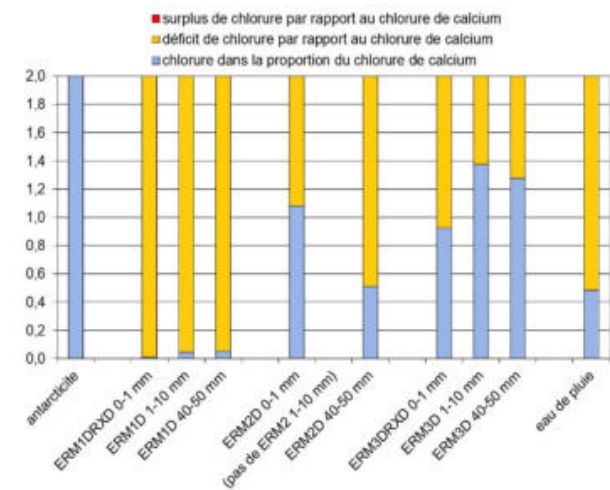
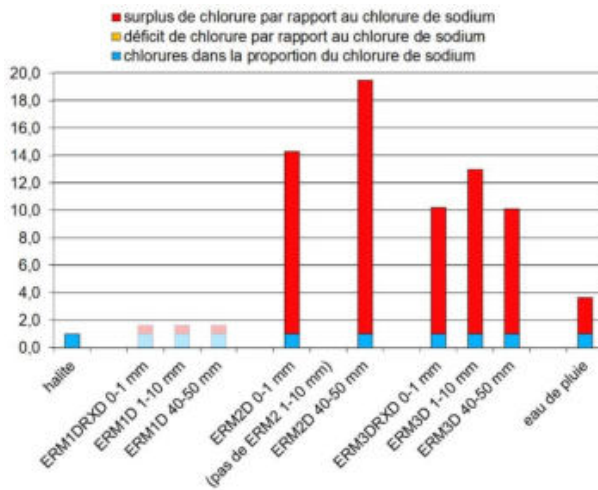
93. ← Mêmes résultats que figure 92 présentés côte à côte pour faciliter la comparaison : ion sulfate associé à l'ion calcium est très abondant en surface pour la série ERM1, l'ion chlorure également associé en partie à l'ion calcium est très abondant dans les séries ERM2 et ERM3. L'ion nitrate lui aussi associé en partie à l'ion calcium, n'est abondant que dans ERM3



94. ← Comparaison des quantités d'ions de sels solubles contenues dans 1000 litres d'eau de pluie moyenne (à gauche) et un litre d'eau de mer moyenne (à droite). Les concentrations dans l'eau de pluie sont assez variables : l'ion sulfate peut varier assez sensiblement localement selon le contexte géologique ; il a été beaucoup plus abondant localement en Europe avec les combustibles fossiles du milieu du XIX<sup>ème</sup> jusqu'à la fin des années 1970 ; l'ion nitrate varie fortement localement et saisonnièrement selon l'activité agricole, il est beaucoup plus abondant dans les territoires agricoles européens depuis le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle.

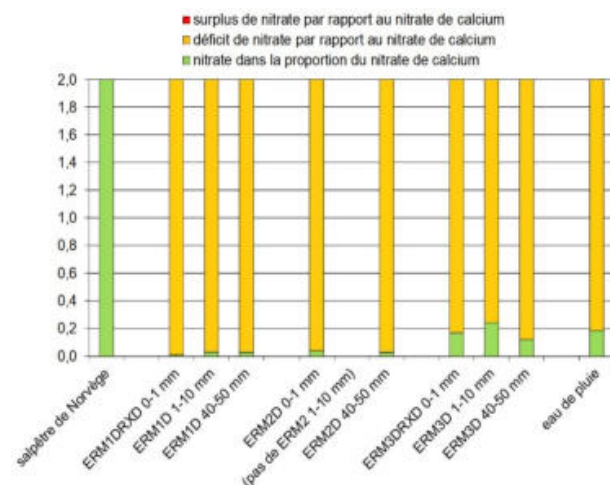
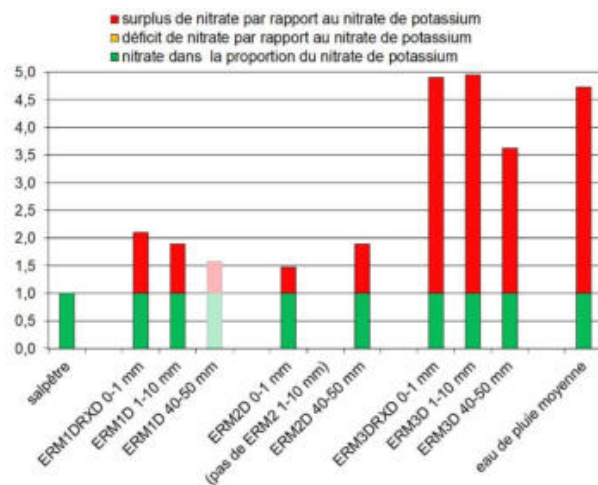
95. → Tirés des analyses figure 92, rapports nombre d'ions sulfate / nombre d'ions calcium des prélèvements comparés à celui du gypse (1/1, dans la 1<sup>ère</sup> barre) et à celui de l'eau de pluie moyenne (dernière barre). L'ion calcium soluble est assez abondant pour permettre à l'ion sulfate de cristalliser entièrement avec lui dans tous les prélèvements. Dans la série ERM1 en haut de la façade, on peut supposer que l'ion calcium en excès est surtout balancé électriquement par l'ion carbonate et hydrogencarbonate (non dosé, dépend fortement des conditions locales et temporaires dans le laboratoire pour les petites valeurs en jeu ici) ; dans les séries ERM2 et ERM3 en bas de la façade il semble balancé également par l'ion chlorure et l'ion nitrate (figures 96 à 99).





96. ↑ Tirés des analyses figure 92, rapports nombre d'ions chlorure / nombre d'ions sodium des prélèvements comparés à celui de la halite (1/1, dans la 1<sup>ère</sup> barre) et celui de l'eau de pluie moyenne (dernière barre). L'ion sodium n'est pas assez abondant pour permettre à l'ion chlorure de cristalliser entièrement avec lui. On peut supposer que l'ion chlorure est balancé électriquement par l'ion calcium. Les barres pastel sont des rapports non significatifs en raison des seuils de sensibilité

97. ↑ Mêmes analyses, rapports nombre d'ions chlorures / nombre d'ions calcium comparé à celui de l'antarctite (2/1, dans la 1<sup>ère</sup> barre) et celui de l'eau de pluie moyenne (dernière barre). L'ion calcium soluble est trop abondant pour cristalliser entièrement avec l'ion chlorure, surtout pour ERM1. Les valeurs sous les seuils de sensibilité de la série ERM1 sont significatives puisqu'il s'agit ici de déficit d'ion chlorure et non de surplus (le rapport réel est encore plus petit, le déficit de chlorure encore plus grand).



98. ↑ Mêmes analyses, rapport nombre d'ions nitrate / nombre d'ions potassium des prélèvements comparés à celui du salpêtre (1/1, dans la 1<sup>ère</sup> barre) et à celui de l'eau de pluie moyenne (dernière barre ; attention, les variations locales et saisonnières sont importantes). L'ion potassium n'est pas assez abondant pour permettre à l'ion nitrate de cristalliser entièrement avec lui. La barre pastel est un rapport non significatif en raison du seuil de sensibilité.

99. ↑ Mêmes analyses, rapport nombre d'ions nitrates / nombre d'ions calcium comparé à celui du salpêtre de Norvège (2/1, dans la 1<sup>ère</sup> barre) et celui de l'eau de pluie moyenne (dernière barre). L'ion calcium soluble est trop abondant pour cristalliser entièrement avec l'ion nitrate. La valeur de l'ion nitrate de ERM1D 0-50 mm, sous le seuil de sensibilité, est ici significative comme figure 97.

C'est probablement le mélange de ces sels déliquescents avec le gypse du plâtre de pose 1900 du chapiteau central gauche qui explique l'exfoliation de ce chapiteau et du chapiteau d'origine voisin

L'ion potassium n'est jamais assez abondant pour cristalliser entièrement avec l'ion nitrate sous forme de salpêtre (figure 98) ; comme l'ion chlorure, l'ion nitrate est balancé électriquement aussi par l'ion calcium, un sel déliquescent au-dessus de 52% d'humidité relative Il est moins abondant en haut du portail (ERM2) qu'en bas (ERM3).

## **2) Cassures, fissures profondes, gélifraction**

C'est sans doute le gel qui est à l'origine des cassures profondes sur les chapiteaux et les colonnes hautes (figure 100 ) et plus encore sur la corniche au-dessous. Les chapiteaux et colonnes ne semblent plus touchés depuis longtemps par la gélifraction peut-être en raison d'une modification des écoulements, peut-être par la simple disparition des parties imbibées par l'eau. Au contraire, la gélifraction semble toujours active sur la corniche dont certaines pierres ont été remplacées deux fois au cours du XXème siècle.

De nombreux fragments de pierre ont été collectés récemment au pied de la façade ces dernières années, ils semblent provenir pour la plus grande part de la corniche.

Toutes ces cassures peuvent ensuite à se compliquer de fissures plus superficielles dues aux sels solubles (figure 101).

La simple charge est à l'origine de la cassure de quelques blocs de parement.

## **3) Érosion par la pluie**

La dissolution de la calcite par la pluie est importante sur toutes les parties exposées, en particulier les parties les plus anciennes, les reliefs notamment. Des parties plus résistantes constituent des témoins qui indiquent une érosion atteignant endroit plusieurs millimètres d'épaisseur sur les parties anciennes les plus exposées.

## **4) Rubéfaction de pierres du portail**

La pierre du portail est rougie par les radiations infrarouges d'un feu au niveau de la porte d'entrée (incendie accidentel ou feu d'assiègement ? Figure 28 page 7)

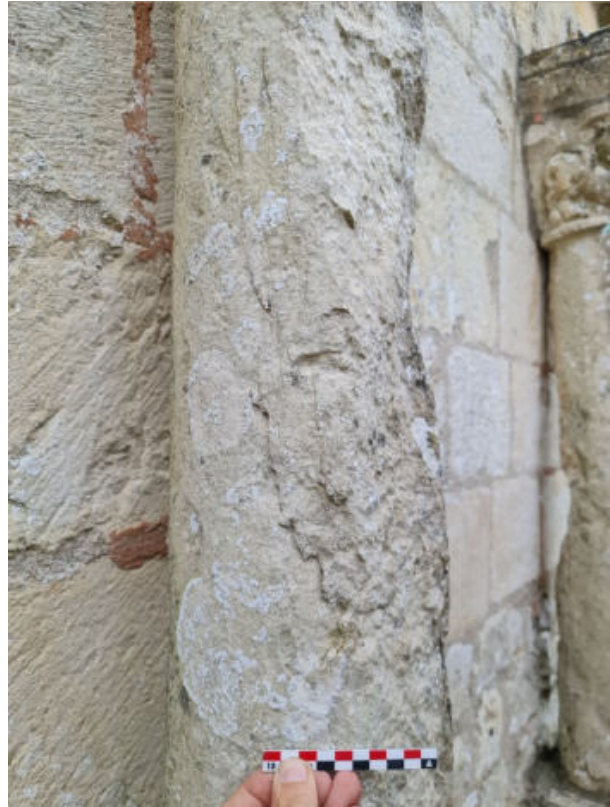
## **5) Graffiti**

Le graffiti « Nicolas Bonni le Fils 1744 » gravé derrière la colonne centrale gauche indique que cette colonne était déjà absente à cette date (figure 103).

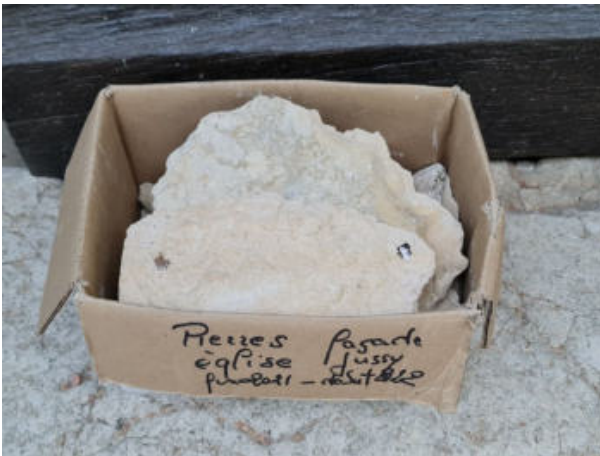
Les parties basses portent d'assez nombreux graffitis non décrits ici.



100. ↑ Pertes de matière très importantes derrière la 3<sup>ème</sup> colonne, 2<sup>ème</sup> à gauche sur cette photo. C'est probablement le gel qui explique ces pertes 20220915\_114142

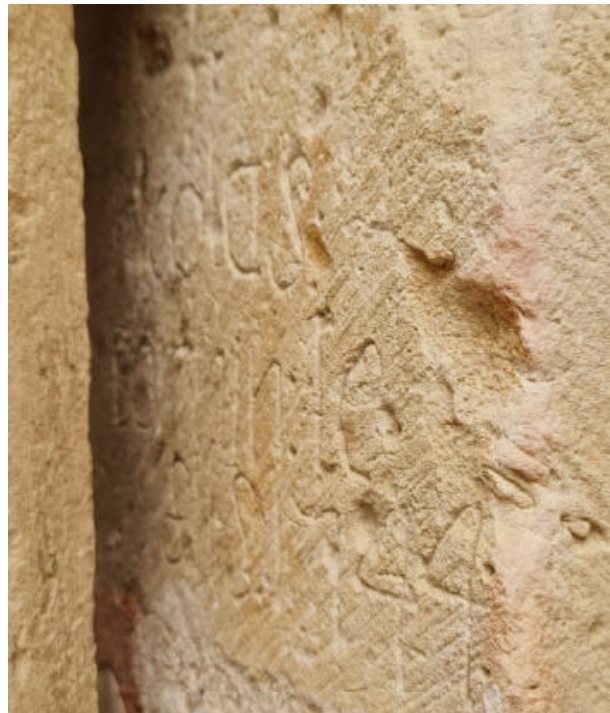


101. ↑ Perte de matière très importante et fissures sur l'avant de la 2<sup>ème</sup> colonne. Les sels solubles aggravent et étendent ici des fissures initialement dues au gel. On remarque les lichens blanchâtres. 20220915\_112325



102. ↑ Fragments collectés au pied de la façade ces dernières années 20220915\_081625

103. ↑ Graffiti « Nicolas Bonni le Fils 1744 » derrière la deuxième colonne 20220916\_170748j





## 6) Dépôts superficiels, recouvrements biologiques

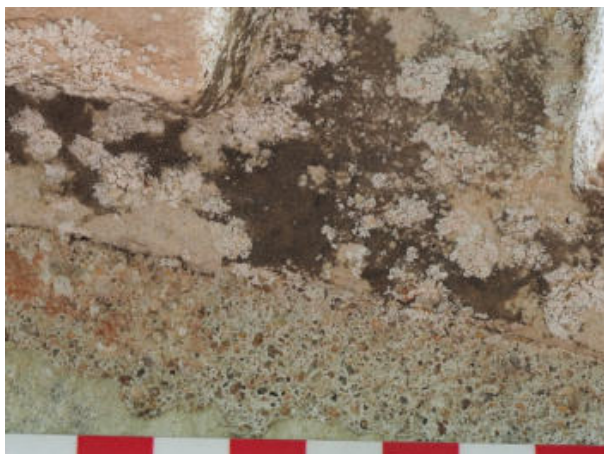
### a) Croûtes noires

Les croûtes noires typiques de la pollution atmosphérique urbaine soufrée due aux combustibles fossiles des XIX<sup>ème</sup> et XIX<sup>ème</sup> siècles sont très discrètes, minces et peu étendues, comme on peut s'y attendre dans cet environnement rural et à assez éloigné de la ville de Bourges, ville au passé assez industriel mais dont la pollution atmosphérique portée par les vents dominants (secteur sud-ouest) passe pour l'essentiel un peu au nord de Jussy-Champagne.

### b) Recouvrements biologiques

Les lichens recouvrent la plus grande part des surfaces exposées. Des mousses couvrent des parties horizontales, en particulier le tailloir du 3<sup>ème</sup> chapiteau en raison d'une nature de pierre différente (figure 22 page 6, figure 174 page 59). L'observation des photos anciennes et récentes montre que ces recouvrement sont en léger recul pour une raison non élucidée.

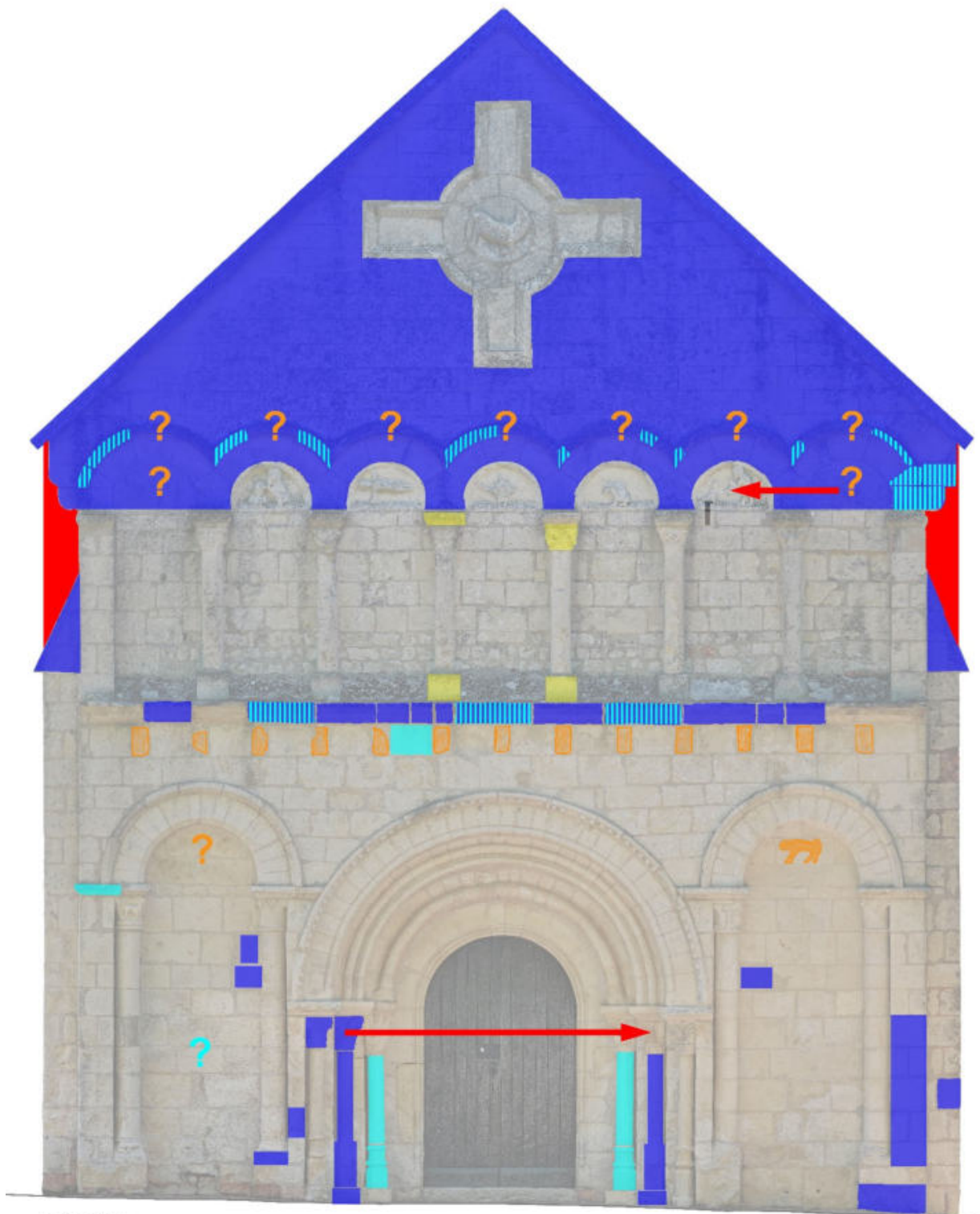
Des taches sombres dans le portail sont difficiles à interpréter : anciens nids d'hirondelles ou noircissement de couches picturales ? (figures 104 et 105).



104. ↑ *Détail d'une des taches sombres dans le haut du portail (ici tout en haut un peu à droite) P9164884*

105. → *Agrandi dix fois environ. P9164893*





### Légende

■ élimination avant 1900

■ réfection vers 1900

■ réfections 1961

■ suppression vers 1900

→ déplacement vers 1900

106. ↑ Relevé des modifications avérées (O Rolland et Estelle Castelli). Les éléments sur la corniche, dont les bases de colonnes, le 4<sup>ème</sup> chapiteau et les arcades qui abritaient probablement les reliefs, ont pu faire aussi l'objet de modification importantes antérieures à 1900

## IV) Éléments d'histoire matérielle

Les éléments ci-dessous proviennent de la Médiathèque du Patrimoine et de la Photographie (MPP)<sup>3</sup>, de photos privées<sup>4</sup>, ou de l'observation :

**XII<sup>ème</sup> siècle ? construction**

**Date(s) indéterminée(s) :**

- Première(s) transformation(s) importante(s) de la façade avec l'élimination de nombreux éléments (bandeaux et arcades sous un probable talus au-dessus des reliefs, deux reliefs en plus des cinq actuels en bas du pignon, modillons sous la corniche, colonne centrale et chapiteau dans chacun des deux ébrasements, reliefs dans les baies aveugles, voir ci-dessous : 1893, vestiges, absence). L'exposition plus importante à l'eau des chapiteaux et, plus encore, des colonnes et de la corniche, augmente leur sensibilité au gel, avec des pertes anciennes importantes sur ces éléments (figure 154 page 45).
- Remplacement ou au moins modification du profil de la corniche.
- Remplacement probable du chapiteau de la 4<sup>ème</sup> colonne haute, seul chapiteau d'un bloc séparé de celui de sa colonne. Celui de la 2<sup>ème</sup> colonne est réparé.
- Incendie devant la porte entraînant une rubéfaction de la pierre de la voûte du portail (accident ? assiègement ? ).

**1744** Le graffiti « Nicolas Bonni le Fils 1744 » gravé derrière la colonne centrale gauche indique que cette colonne était absente à cette date (figure 103).

**1893** et peu après, Médéric Mieusement et Camille Enlart successivement prennent des clichés de la façade (figure 107 à 109) ; on observe un état très différent de celui d'aujourd'hui : le pignon ancien en maçonnerie montre d'intéressants vestiges (bandeau et peut-être baies ou niches sous la croix), absence d'élément porté par les colonnes supérieures, d'arcs ou autre protection au-dessus des reliefs, dernier relief à droite, côtés de la façade verticaux du sol au toit, absence d'un chapiteau et colonnette de part et d'autre au centre des ébrasements du portail. Les pertes importantes sur la croix, les chapiteaux et les colonnes hautes sont toutes déjà visibles. La corniche sous les colonnes supérieures est assez abîmée, ses modillons au-dessous sont déjà à l'état de vestiges, comme le relief sous l'arc de la baie aveugle à droite du portail. Les trous de goujons du 2<sup>ème</sup> chapiteau des colonnes hautes (figure 146 page 43) sont déjà là.

**Vers 1900** travaux décrits ci-dessous à propos de la photos de 1912.

**11 octobre 1910** un courrier déplore les travaux récents « sous prétexte de restaurer le pignon de cette façade [...] on a reculé le parement de l'épaisseur des arcatures qui décoraient la partie médiane de la façade, de telle sorte qu'aujourd'hui les chapiteaux et colonnes ne portent plus rien et sont exposés à une ruine certaine »<sup>5</sup>.

**13 juillet 1911** inscription sur la liste des monuments classés.

**1912**, une photo de Lucien Roy montre la façade transformée (figure 110 page 34): le pignon est en pierre de taille neuve (mais déjà colonisé par des lichens), les vestiges dans l'ancien pignon ont disparu, le relief droit a été rapproché des autres, tous ont été partiellement abrités par des arcs qui vont vite énormément augmenter les dommages dus aux sels sur les parties en position « semi abritées » au-dessous. Les bords extérieurs du mur de façade ont été éliminés en haut pour transformer ces parties en contreforts surmontés d'une console soutenant le bas du rampant en grandes dalles de pierre, les pierres abîmées de la corniche ont été  
→ (suite du texte page 39)

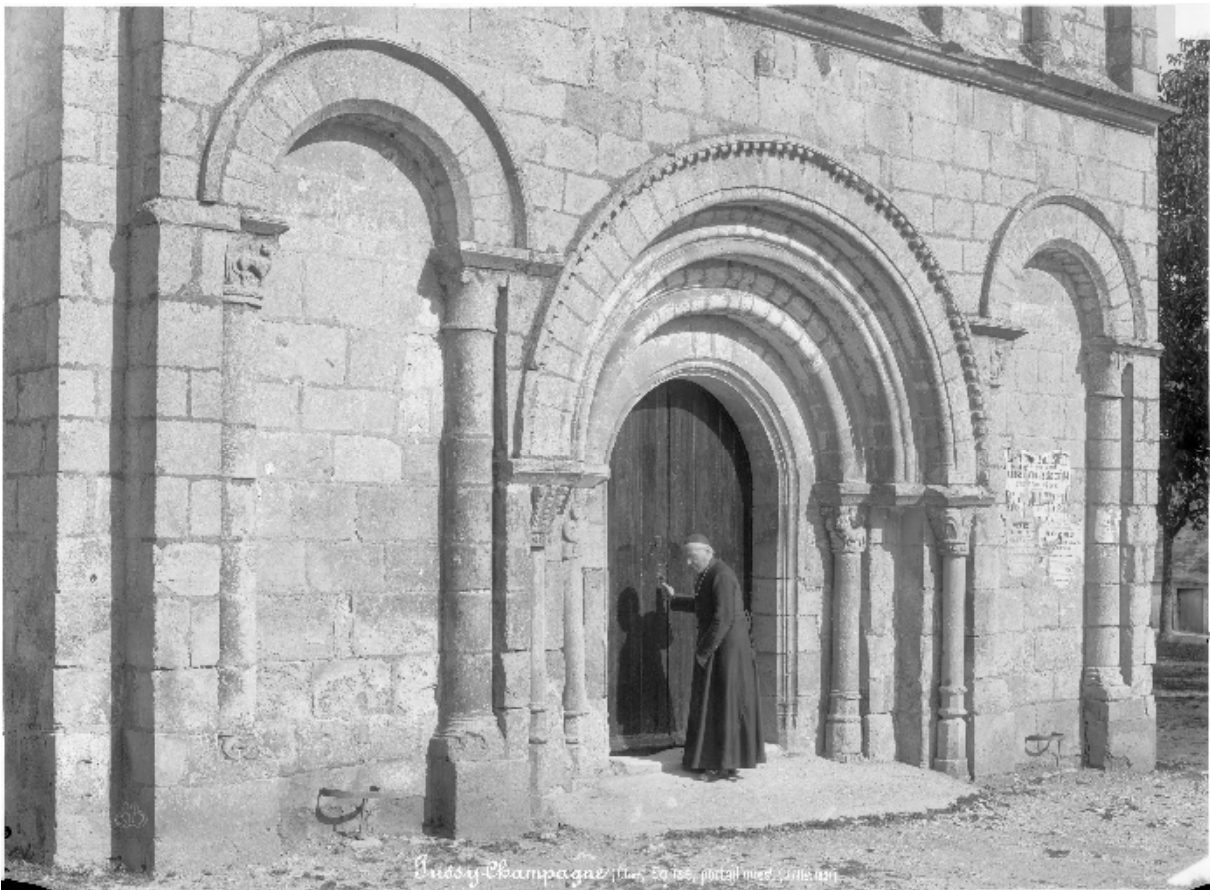
<sup>3</sup> Les photos des pièces des dossiers cotes 0081/018/0063 et 0081/018/2013 de la Médiathèque du Patrimoine et de la Photographie (MPP) m'ont été communiquées par Covalence Architectes. Les photographies de la base de Mérimée du ministère de la Culture m'ont été communiquées par la MPP (commande 329-Jussy-Champagne du 7/11/2022)

<sup>4</sup> Photos de Bernard Ducateau transmises par courriel du 10/9/2021.

<sup>5</sup> Les reliefs étaient en fait encore moins abrités depuis longtemps. Exposés à la pluie, ils étaient soumis à l'érosion par dissolution de la calcite mais relativement protégés des sels solubles par la lixiviation.



107. ↑ 1891, Médéric Mieusement M, Portail de la façade ouest source MPP mh001453



108. ↑ 1891, Médéric Mieusement M, Portail de la façade ouest source MPP mh001452 (l'affiche à droite indique « ARMÉE DE TERRE [...]lasse de 1880 »)



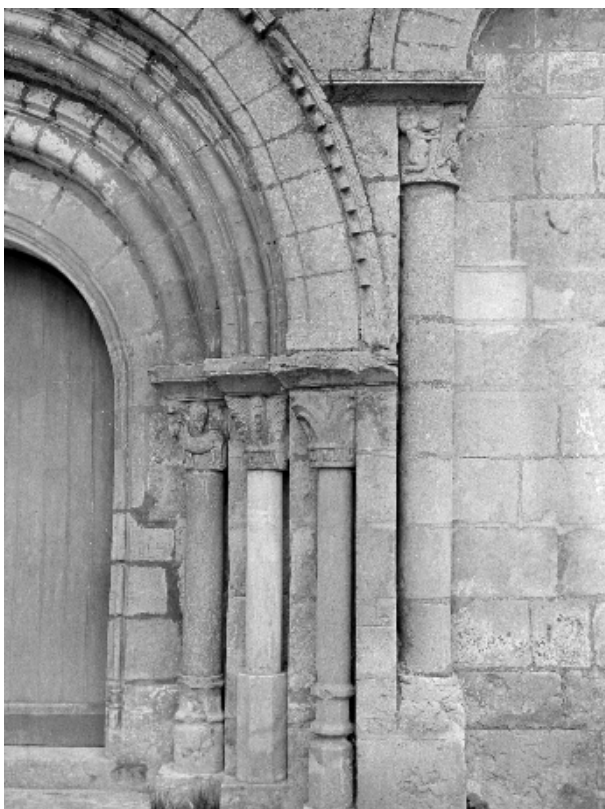
109. ↑ Peu avant 1900, peu après la précédente Camille Enlart source MPP mh032964 (l'affiche à droite indique « RESERVE ET DISPONIBILITE De l'Armée Active, APPEL A L'AUTOMNE DE 1895 ») Peu de différences avec la précédentes (perte d'un fragment de mortier au coin supérieur droit du bras droit de la croix, agrandissement du trou dans la maçonnerie à droit de cette croix, végétation nouvelle au pied de la seconde des six colonnes hautes). Cette photo renseigne assez bien sur l'état des colonnes hautes et de leurs chapiteaux (comparaison avec l'état actuel figure 154 page 45).



110. ↑1912, Lucien Roy, façade source MPP 10I06352. le pignon est en pierre de taille neuve, les vestiges dans l'ancien pignon ont disparu, le mortier au ciment autour de la croix est très clair mais des lichens ont eu le temps de se développer sur le parement neuf, le relief droit a été rapproché des autres, les bords extérieurs du mur de façade ont été éliminés en haut pour les transformer en contreforts surmontés d'une console qui soutient le bas du couverture du rampant en grandes dalles de pierre, les pierres abîmées de la corniche ont été remplacées mais les deux blocs à droite qui étaient les seuls encore en bon état figure 109 sont ici les deux seuls un peu abîmés. Deux colonnettes et bases neuves occupent le milieu des ébrasements, le chapiteau extérieur de l'ébrasement gauche a pris place au centre de l'ébrasement droit, un chapiteau neuf l'a remplacé, un autre chapiteau neuf a pris place au milieu de l'ébrasement gauche, des pierres de parement ont été remplacées en bas à gauche du portail et en bas à droite de la façade, un rejointoiement sombre est visible en bas du portail, la pente devant le seuil a été éliminée, les recouvrements sombres en bas à gauche de la façade ont été éliminés.



111. ↑ 16/9/2022. Les colonnettes intérieures ont été remplacées, le prolongement du tailloir du chapiteau gauche de la baie aveugle gauche a été remplacé, les autres remplacements sont plus discrets (parties d'archivoltes au-dessus des reliefs, blocs dans le bord gauche du mur de façade). Les dommages dus aux sels ont nettement évolué sur les parties inférieures, en particulier sur les parties remplacées vers 1900. P9164945 (redressée)



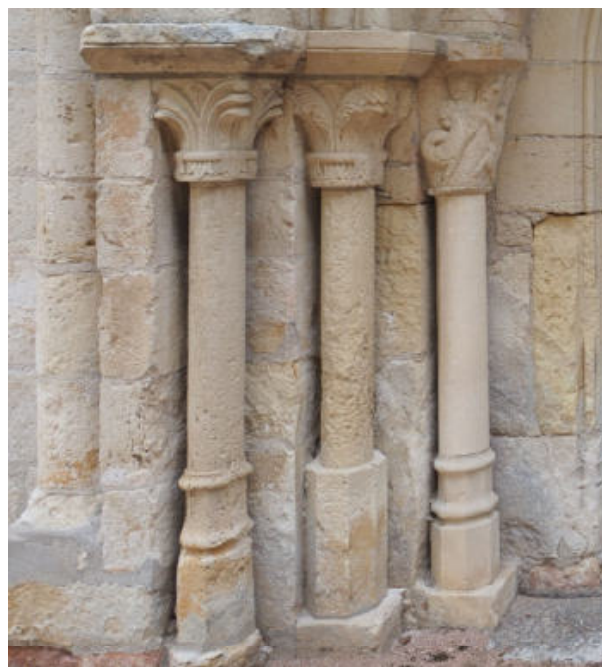
112. ↑ 1912, Lucien Roy, source MPP, portail ouest détail 10I06353 recadré



113. ↑ 15/9/2022, la colonnette intérieure, sa base et son socle ont été remplacés en 1962, les pertes sont importantes sur le bandeau à billettes du rouleau d'archivolte et sur la base de la colonnette centrale posée vers 1900, elle devait être bien moins abîmées en 1962 puisqu'elle n'a pas été remplacée. Photo Estelle Castelli

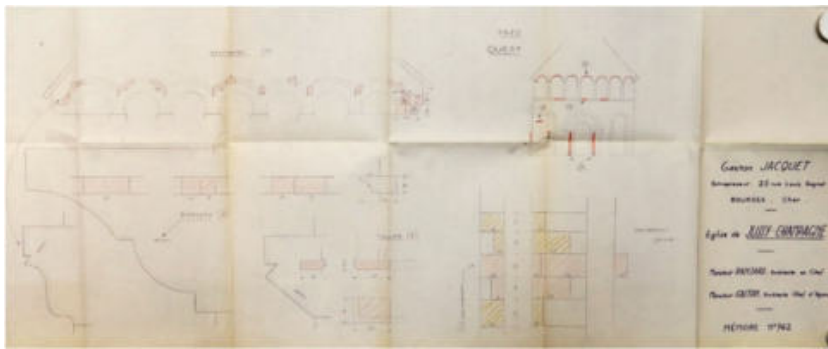


114. ↑ Avant 1932, Georges Estève, source MPP 10I06352 recadré. agrandissement sur l'ébrasement du portail ouest

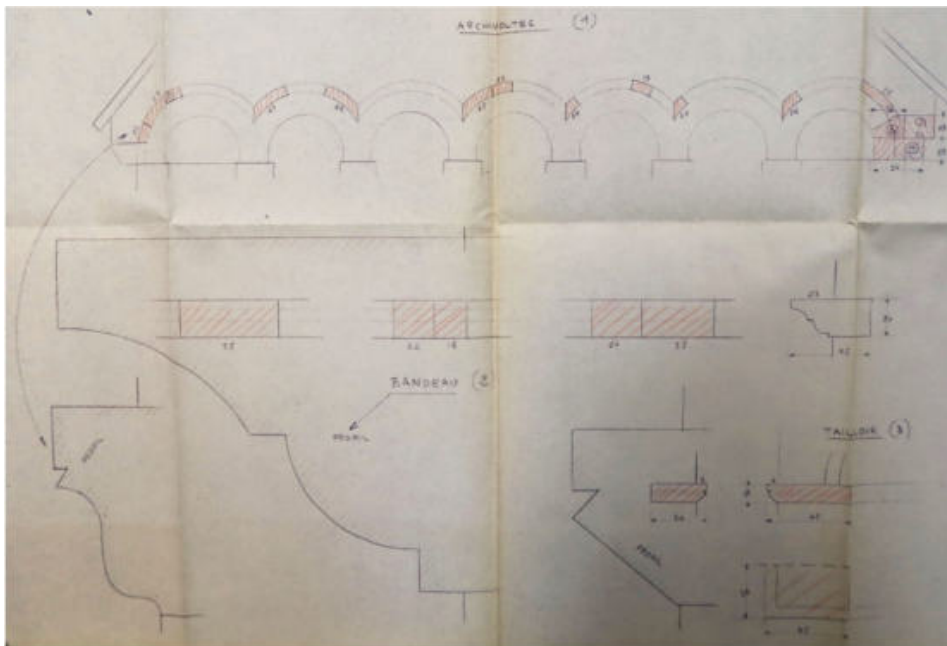


115. ↑ 16/9/2022 évolution des dommages dus aux sels en particulier sur les chapiteaux, dont celui d'origine à droite, et sur la colonnette centrale. La colonnette intérieure a été remplacée en 1961. P916497

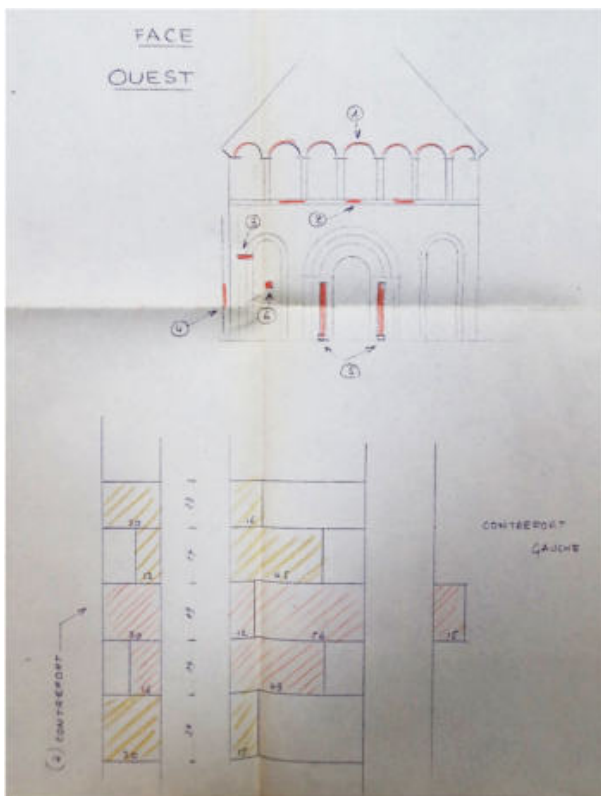




116. ← 1961 Gaston Jacquet  
 attachement figuré, mémoire  
 762 cote 0081-018-0063.  
 Détails ci-dessous. Photo  
 Maëvy Steinkampf de  
 Covalence-Architectes  
 IMG\_5014



117. ← Détail de  
 l'attachement  
 figure 116. La  
 console sous  
 l'extrémité droite  
 du rampant sud du  
 pignon, ici en  
 rouge, n'est pas en  
 rouge figure 118  
 mais elle est en  
 partie refaite  
 (figure 86 page  
 22).



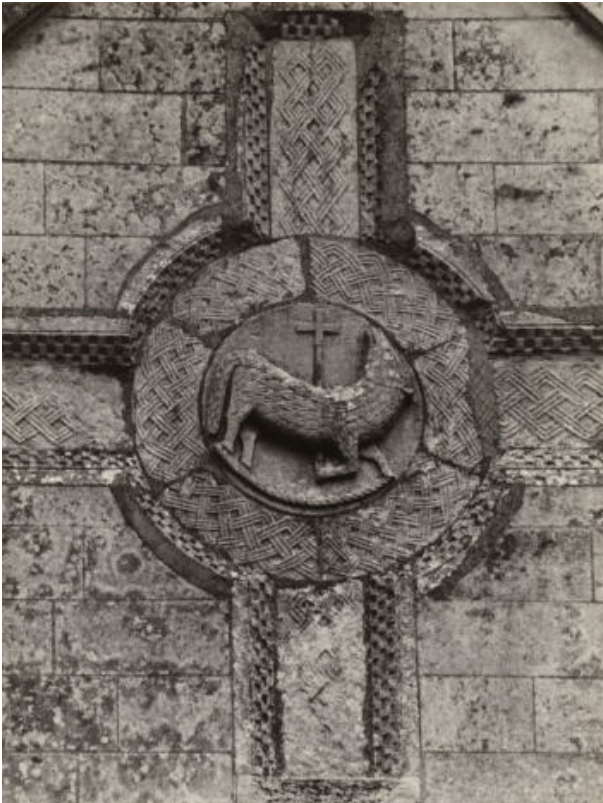
118. ← Autre détail de l'attachement figure 116.  
 La console qui apparaît en rouge figure 117  
 n'apparaît pas ici en rouge. Le bloc de parement  
 numéroté 6 au milieu de la baie aveugle à  
 gauche du portail est en rouge, mais la  
 comparaison de photos anciennes avec l'état  
 actuel montre qu'il n'a probablement pas été  
 remplacé.



119. ↑ Agrandissement de la photo de Médéric Mieusement en 1891 figure 107 page 32



123. ↑ Agrandissement de la photo de Lucien Roy en 1912 figure 110 page 34.



120. ↑ Avant 1987 Edouard Bostijn 8915t000937

121. → ↑ 29/7/2017, photo Bernard Ducateau IMG\_2648 recadrée . On observe un léger recul des lichens depuis la photo d'Edouard Bostijn.

122. → 16/9/2022 pas d'évolution visible à ce niveau de détail. P9164938.



remplacées, deux colonnettes et bases neuves occupent le milieu des ébrasements, le chapiteau extérieur de l'ébrasement gauche a pris place au centre de l'ébrasement droit, un chapiteau neuf l'a remplacé, un autre chapiteau neuf a pris place au milieu de l'ébrasement gauche, des pierres de parement ont été remplacées en bas à gauche du portail et en bas à droite de la façade, un rejointoiement sombre est visible en bas du portail.

**Avant 1932**, une photo de Georges Estève montre l'évolution rapide des dommages dus aux sels solubles autour des reliefs en bas du pignon (figure 139 page 42 ), ces dommages sont dus au plâtre utilisé en blocage et au bandeau en arcature créé en 1900, abri assez profond pour empêcher la lixiviation par la pluie mais pas assez pour empêcher l'humidification de ces parties.

**Été 1961**, mémoire n°762 de travaux de maçonnerie de Gaston Jacquet tailleur de pierre à Bourges, sous la maîtrise d'œuvre de Michel Ranjard, ACMH, remis le 2 septembre 1961 avec attachements figurés (figures 116 à 118 page 37) : travaux juin 1961 restauration de la façade ouest :

- Fourniture et pose de pierre de taille de Charly (0,156 m<sup>3</sup>) pour remplacement de 3 morceaux de bandeaux [corniche] et 1 morceau de « taillon » [tailloir?]. Fourniture et pose de pierre de taille de Lavoux (0,321 m<sup>3</sup>, il s'agit de la pierre de la figure 17 page 5) pour 11 « reprises de pierre archivoltte » [arcades des reliefs] , 3 sommiers et départs d'archivolte [idem], 3 blocs dans le contrefort gauche, 2 « carrodages » [ peut-être les deux blocs de la console droite sous le bas du rampant droit du pignon?], 2 colonnettes [intérieures] du portail central, 2 bases, 2 socles [mêmes colonnettes]
- Pierre vieille non fournie pour 3 [blocs] contrefort, 2 chapiteaux sur colonnettes neuves [chapiteaux intérieurs dont les colonnettes ont été remplacées], 2 [blocs] en « incrustement isolé » [non localisé], 2 en « incrustement contigu » [non localisé] 6 en « incrustement morceaux isolés» 10 en « incrustement morceaux contigus » ,
- Recoupement et réfection de parement [layage de ravalement?] avec façon d'une gorge au [long] des archivoltes conservées ». Cette gorge semble avoir eu le mérite d'un peu mieux protéger les parties au-dessous (figure 140 page 42).

Mémoire de travaux de sculpture de Gaston Jacquet : scellement des 11 fragments détachés de 5 personnages en bas-relief (figures 62 à 66 page 15), raccords divers.

**1986 ou peu avant**, des photos d'Edouard Bostijn montrent que les reliefs des arcades ont perdu beaucoup de matière depuis le début du XXème siècle. Elles permettent aussi de constater un recul sensible, inexpliqué, du recouvrement biologique par la suite (figures 120 page 38 ).

**29-30/07/2017** Bernard Ducateau prend des photographies des éléments sculptés de la façade, ces photos permettent de constater de nouvelles pertes depuis 1986.

**14-16/9/2022**, les nouvelles photographies comparées aux photos 2017, la perte de petits fragments sur les cinq reliefs (figures 126 à 143 pages 40 à 43) et d'un fragment important sur le 4<sup>ème</sup> chapiteau 150 et 151 page 44. Comparées aux photographies du début du XXème siècle, ces photos montrent l'évolution très importantes des dommages dus aux sels sur les reliefs, les chapiteaux, et les ébrasements du portail.



124. ↑ 1<sup>er</sup> relief, agrandissement de la photo de Médéric Mieusement en 1891 figure 107 page 32 pour comparaison avec la photo suivante.



125. ↑ Avant 1987 Edouard Bostijn, source MPP. 8915t000940. Pertes très importantes sur le cadre



126. ↑ 29/7/2017, 1er relief, photo Bernard Ducateau IMG\_2789 recadrée. La flèche verte pointe un petit fragment perdu après cette photo.



127. ↑ 16/9/2022, même relief, la flèche rouge pointe un petit fragment perdu depuis le 29/7/2017. P9164934



128. ↑ 2<sup>ème</sup> relief, Agrandissement de la photo de Médéric Mieusement en 1891 figure 107 page 32 pour comparaison avec la photo suivante.



129. ↑ Avant 1987 Edouard Bostijn, source MPP. 8915t000940. Pertes très importantes sur le cadre depuis la photo de la figure 128



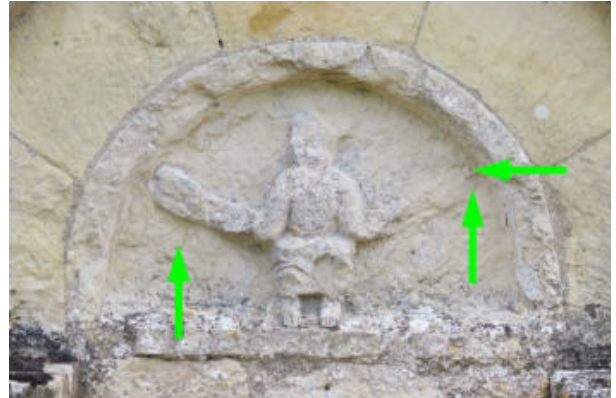
130. ↑ 29/7/2017 photo Bernard Ducateau IMG\_2666. Pertes sur la jambe gauche, recul des lichens.



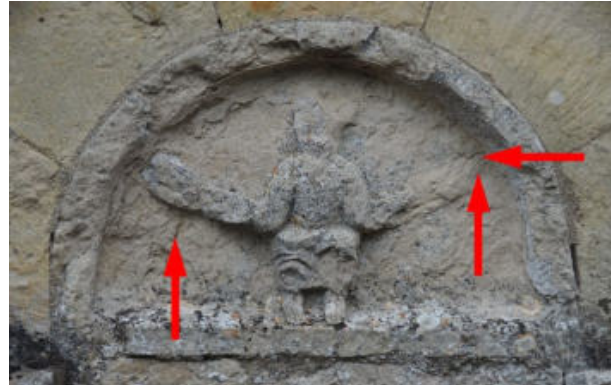
131. ↑ 16/9/2022, les flèches rouges pointent des fragments perdus depuis le 29/7/2017. P9164933



132. ↑ 3<sup>ème</sup> relief Agrandissement de la photo de Médéric Mieusement en 1891 figure 107 page 32 pour comparaison avec la photo suivante.



133. →↑ Le 29/7/2017 photo Bernard Ducateau IMG\_2664. Pertes très importantes depuis 1891 : cadre, bras gauche, jambe gauche Les flèches vertes pointent des fragments perdus après cette photo.



134. → 16/9/2022, les flèches rouges pointent des fragments perdus depuis le 29/7/2017. P9164932



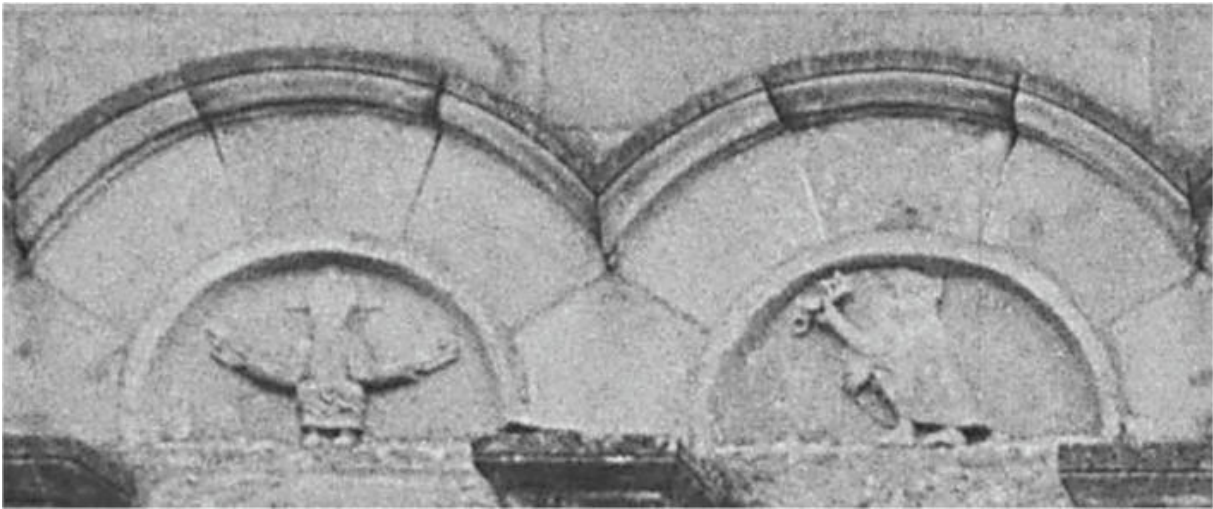
135. ↑ 4<sup>ème</sup> relief Agrandissement de la photo de Médéric Mieusement en 1891 figure 107 page 32 pour comparaison avec la photo suivante.



136. →↑ 4<sup>ème</sup> relief le 29/7/2017 photo Bernard Ducateau IMG\_2667. Perte très importante depuis 1891 : clé et main droite de saint Pierre. La flèche verte pointe un fragment perdu après cette photo.



137. → 16/9/2022, même relief, la flèche rouge pointe un fragment perdu depuis le 29/7/2017 P9164931



138. ↑ Agrandissement de la photo de Lucien Roy en 1912, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> relief peu après la restauration



139. ↑ Avant 1932, Georges Estève, source MPP 10I06352 recadré (la photo de la façade entière n'est pas présentée dans ce rapport). En moins de vingt ans, la situation semi-abritée des claveaux et des reliefs a entraîné des dommages considérables dus aux sels solubles.



140. ↑ 16/9/2022, agrandissement de la figure 111 page 35. La modification du profil du bandeau des arcades par Jacquet en 1961 semble avoir mieux protégé les parties au-dessous, car le layage de ravalement 1961 est peu abîmé si on compare l'évolution de la figure 139 à celle-ci à l'évolution des figures 138 à 139. En dépit du manque de photos vers 1960, on peut supposer que la plus grande part des dommages aux reliefs est survenue avant 1961, même si ces reliefs continuent de s'abîmer.



141. ↑ 5<sup>ème</sup> relief agrandissement de la photo de Médéric Mieusement en 1891 figure 107 page 32 pour comparaison avec la photo suivante.



142. →↑ 29/7/2017 photo Bernard Ducateau IMG\_2668. Pertes importantes depuis 1891 : cadre, vestiges de têtes des personnages à gauche. La flèche verte pointe un fragment perdu après cette photo.



143. → 16/9/2022, même relief, la flèche rouge pointe un fragment perdu depuis le 29/7/2017 P9164930



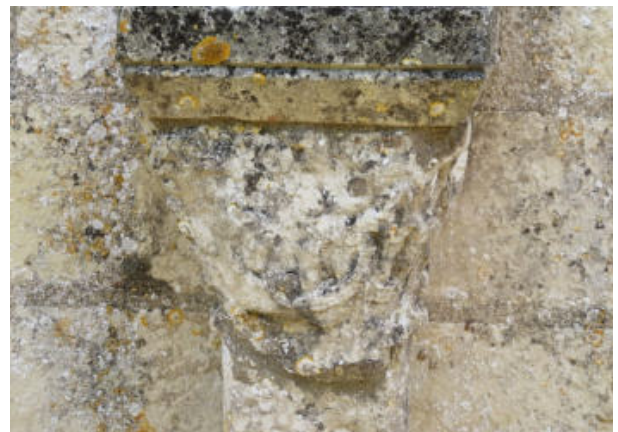
144. ↑ 1<sup>er</sup> chapiteau des colonnes hautes, agrandissement de la photo de Médéric Mieusement en 1891 figure 107 page 32



145. ↑ 29/7/2017 photo Bernard Ducateau A4. Pertes importantes depuis 1891 sur la partie droite.



146. ↑, agrandissement de la photo de Médéric Mieusement en 1891 figure 107 page 32 pour comparaison avec la photo suivante.



147. ↑ 29/7/2017 photo Bernard Ducateau C2 : peu de pertes depuis 1891.



148. ↑, agrandissement de la photo de Médéric Mieusement en 1891 figure 107 page 32



149. ↑ 29/7/2017 photo Bernard Ducateau C2. Pertes importantes depuis 1891 : perte d'un volume important en bas à droite .



150. ↑ 30/7/2017 4<sup>ème</sup> chapiteau, photo Bernard Ducateau D1



151. ↑ 14/9/2022, le chapiteau a perdu un grand fragment côté droit. Léger recul des lichens 20220914\_165234



152. ↑, agrandissement de la photo de Médéric Mieusement en 1891 figure 107 page 32 pour comparaison avec la photo suivante.



153. ↑ 29/7/2017 photo Bernard Ducateau E1: peu de pertes depuis 1891

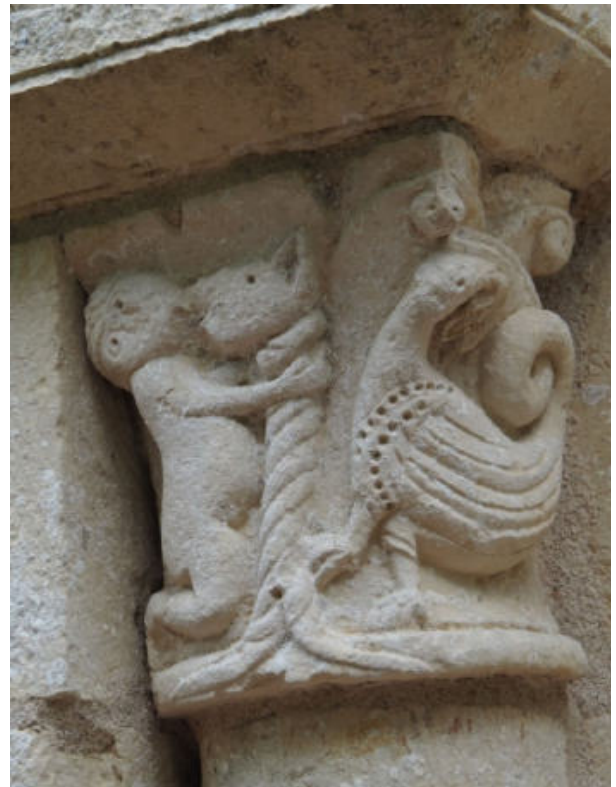




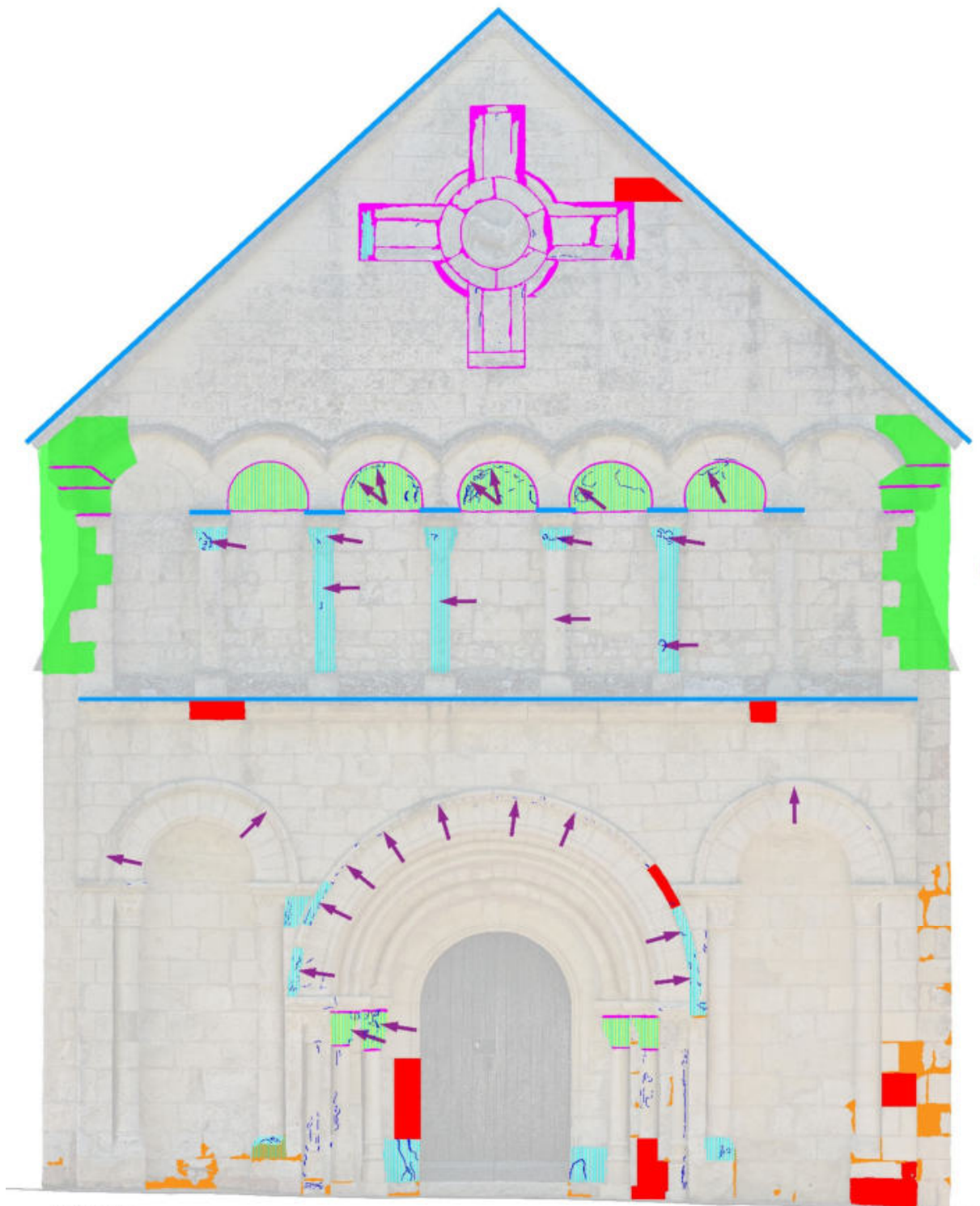
154. ↑ *Photomontage des colonnes de la photo de Camille Enlart peu avant 1900, figure 109 page 33, sur un recadrage de la photo de la façade du 16/9/2022 figure 111 page 35 : contrairement au cas des reliefs, les pertes sur les colonnes sont pour l'essentiel anciennes. Ces pertes évoluent encore sous l'effet des sels (figure 101 page 28), mais moins vite qu'elles n'ont évolué sous l'effet des épisodes de gélifraction (par la conjonction d'épisode de gel intense peu après une période d'imbibition) auxquels elles se sont trouvées soumises il y a longtemps par l'élimination des arcades qu'elles portaient.*



155. ↑ *Avant 1987 E Bostijn 8915t000938*





156. ↑ *16/9/2022. Net recul des lichens*




### Légende


 ciment à éliminer

 recherche et élimination de plâtre


 consolidation

 consolidation - dépose- (bains)- repose

 goujonnages, collages

 micromortier et solins

 reconstruction

 remplacement de pierres

 couvertine de plomb

157.↑ Relevé de la proposition de traitement. Nettoyage et ragréage ne sont pas représentés, les surfaces peuvent être assez variables selon le niveau visé. Les remplacements de pierre peuvent être adaptés selon l'aspect souhaité. Seuls les deux chapiteaux intérieurs gauches du portail doivent impérativement être dessalés par bains. Les sculptures et les colonnes hautes relèvent d'un traitement par un conservateur-restaurateur, les autres parties relèvent du tailleur de pierre ou du couvreur.

## V) Conclusions et proposition de traitement

### A) CONCLUSIONS

L'aspect général de la façade d'origine a été sensiblement modifié par une ou plusieurs interventions anciennes à préciser, avec la suppression des arcades soutenues par les colonnes hautes, de modillons sous la corniche sous les colonnes hautes et de reliefs en haut des baies aveugles.

Ces premières modifications ont entraîné des pertes anciennes importantes sur les chapiteaux et surtout sur les colonnes hautes et la corniche en raison d'une exposition accrue au risque de gel.

L'aspect général a encore été lourdement modifié par une restauration autour de 1900, connue elle par des photos, avec le remplacement de l'ancien pignon maçonné par un nouveau en pierre de taille, la création d'un bandeau de protection au-dessus des reliefs et de consoles sous les extrémités des rampants du nouveau du pignon, le déplacement de deux éléments sculptés d'origine et la création de deux colonnes et chapiteaux manquants dans le portail.

Cette intervention malheureuse pour l'esthétique et l'authenticité du monument s'est avérée l'être aussi pour la conservation. Le plâtre utilisé imprudemment est devenu une source de gypse aux conséquences dévastatrices dans toutes les parties semi-abritées, c'est à dire humidifiées par la pluie ou par des infiltrations mais non lixiviées par la pluie. En particulier pour les consoles créées sous les rampants, touchées par des infiltrations mais aussi pour les reliefs d'origine que le bandeau insuffisant créé au-dessus a placés en zones semi-abritées.

Une intervention en 1961 a surtout remplacé des pierres abîmées sans modifier l'aspect. Elle a un peu amélioré les conditions de conservation des reliefs par le léger creusement des parements et la taille d'une gorge qui les a un peu mieux abrités.

Les éléments sculptés et moulurés anciens sont tous conservés mais une majorité d'entre eux se sont beaucoup abîmés depuis 1900 et la conservation de l'ensemble est aujourd'hui compromise :

- Le gel ne semble plus toucher les chapiteaux et les colonnes depuis leurs pertes anciennes, mais il continue de détruire les pierres de la corniche. Les fissures anciennes sont peu à peu aggravées par l'action de sels solubles.
- La conservation des éléments sculptés des parties hautes en position «semi-abritées » est aujourd'hui menacée par le gypse provenant principalement du plâtre, mais aussi, à plus long terme par les sels apportés petit à petit par la pluie.
- La conservation des éléments sculptés et moulurés des parties basses en position semi-abritée ou abritée est menacée de longue date par l'accumulation progressive de gypse et de sels beaucoup plus solubles provenant du sol par remontée d'eau capillaire. Certains de ces sels sont déliquescents, ils ne cristallisent jamais dans les conditions du portail mais facilitent le déplacement des sels destructeurs.

### B) PROPOSITION DE TRAITEMENT

Pour améliorer les conditions de conservation il faut :

- Fixer ou consolider les parties pouvant tomber.
- Empêcher les infiltrations d'eau dans les parties semi-exposées pour les protéger des sels solubles.

- Eliminer autant que possible le plâtre de la restauration 1900.
- Empêcher les infiltrations d'eau dans les parties exposées au gel.
- Limiter les remontées de solutions salines dans les parties inférieures de la façade et en particulier les éléments les plus précieux (sculptures, moulures, blocs portant des traces d'outils ou des graffitis particuliers, éventuels restes de jointoiment d'origine etc.)
- Si possible extraire les sels solubles des éléments les plus contaminés, en particulier les chapiteaux du portail.

Pour améliorer l'aspect il semble souhaitable de :

- Revenir à un aspect plus proche de l'aspect ancien connu en effaçant les modifications apportées aux extrémités supérieures du mur de façade. L'élimination des consoles au bas des rampants devra être mise à profit pour éliminer le plâtre éventuellement rendu accessible.
- Eliminer les dépôts superficiels les plus gênants.

La restitution d'arcades plus profondes, c'est-à-dire avançant au-dessus des colonnes, est possible mais elle n'est pas étudiée ici. Elle pose plusieurs problèmes : authenticité (aucun document connu à ce jour, vestiges disparus avec l'ancien tympan), visibilité des reliefs, résistance des colonnes affaiblies par le gel et de la corniche privée des modillons qui la soutenaient.

Concrètement les traitements de conservation-restauration pourraient consister dans les opérations suivantes :

## **1) Traitement des sculptures et des colonnes hautes (travail du conservateur-restaurateur)**

### **a) Application de produit consolidant**

Sur les parties à conserver fragilisées par les sels solubles, et seulement sur ces parties, application de consolidants au silicate d'éthyle en deux phases : d'abord l'application d'un produit avec promoteur d'adhérence silice – calcite type Remmers KSE 300 HV, immédiatement suivie de l'application d'un produit avec élastifiant non hydrofugeant type Remmers KSE 300 E. La pierre doit être relativement sèche et à une température comprise entre 10 et 20°C. Le temps de prise est d'environ 4 semaines. Le caractère hydrophobe de la pierre juste traitée s'estompe progressivement avec la prise du produit.

### **b) « Facings » ou maintiens provisoires pour dépose**

Sur les éléments fragiles à déposer, les deux chapiteaux intérieurs gauches et éventuellement les reliefs, toutes les parties pouvant tomber doivent être maintenues soit par des collages décrits plus loin soit par des « facings » ou maintiens provisoires de bandes de papier japon collées par un gel de Klucel G ou équivalent (hydroxypropylcellulose) dans l'éthanol, retirées après ramollissement à l'éthanol après la dépose.

### **c) Elimination du ciment**

Le ciment pose des problèmes dans de nombreux cas : peu perméable, il favorise l'ascension des remontées capillaires et dirige les solutions chargées de sels vers la pierre ; très dur, il entraîne des cassures de la pierre lors des mouvements du bâti, même très petits ; peu soluble et résistant à l'érosion, il peut entraîner un creusement accru de la pierre le long du petit barrage qu'il finit par former dans les ruissellements d'eau de pluie ; enfin son aspect est souvent très différent de celui de la pierre et des mortiers anciens.

Ici, il devra être éliminé au moins en bas de la façade pour réduire l'ascension des remontées capillaires. Il devra aussi être éliminé au moins en partie pour rechercher et éliminer le plâtre comme décrit ci-dessous.

Sur le parement l'élimination du ciment peut être réalisée par le tailleur de pierre. Au contact des parties sculptées ou moulurées elle doit être réalisée par le conservateur-restaurateur avec des outils spécialisés (burins de gravure tungstène avec affutage diamant régulier plusieurs fois par jour). Il sera parfois préférable de laisser le ciment en place, son élimination pouvant créer plus de dommage que de le laisser en place, notamment le ciment blanc sur les reliefs.

Ce ciment devra être remplacé, après les étapes ci-dessous, par des mortiers plus compatibles (ragréage et rejointoiement).

#### **d) Élimination du plâtre, déposes**

Le plâtre est une source de sels solubles partout où il est exposé à l'eau d'infiltration (parties hautes de la façade) ou de remontées capillaires (partie basse de la façade), ou aux saumures formées par les sels déliquescents (parties basses et, en parties hautes, zones d'évaporation prolongées de l'eau de pluie). Il doit être éliminé dans toutes ces parties.

L'idéal serait de déposer et reposer tous les éléments avec des calages au plâtre pour éliminer ce dernier.

Pour les chapiteaux en bas l'opération est indispensable et assez simple (elle a déjà été réalisée en 1900 et 1962). Elle sera juste compliquée ici par l'état des deux chapiteaux les plus abîmés. Cette dépose ne pourra être réalisée sur ceux-ci qu'après l'application de produit consolidant et de « facings » ou maintiens provisoires.

Pour les reliefs l'opération est un peu plus lourde. Si le plâtre se limite à des plots qui peuvent être repérés il pourrait être éliminé sans dépose (ce qui ne peut être vérifié que par des sondages assez nombreux dans les joints de ciment).

Pour la croix du pignon l'opération serait lourde voire très lourde s'il faut démonter le parement au-dessus. Cependant c'est pour cette partie qu'elle est la moins urgente, les dommages étant localisés surtout à l'extrémité gauche de la croix, le gypse étant emporté par lixiviation. Si le plâtre n'est employé là que par plots pour des calages ponctuels (ce qui ne peut être vérifié que par des sondages assez nombreux dans les joints de ciment) on pourra se limiter à l'élimination des plots de plâtre repérés, voire à l'élimination du plâtre seulement dans les zones où il semblera incertain d'arriver à le protéger de l'eau par un mortier.

Pour les éléments à dessaler par bains (au moins les deux chapiteaux les plus abîmés) la repose ne peut se faire évidemment qu'après dessalement. Pour les autres elle doit être réalisée dès que le plâtre est éliminé. Cette repose est décrite plus loin.

#### **e) Nettoyage**

Le nettoyage peut être réalisé sans préconsolidation.

##### **1. Élimination des lichens et des mousses**

L'utilisation de biocides à base d'eau de Javel ou à base d'ammoniums quaternaires est à proscrire ici, la première est une source de chlorure de sodium, sel destructeur, les seconds sont aussi une source d'ion chlorure et sont des agents mouillants puissants, à éviter sur une façade où l'eau est le principal facteur d'altération. Les couvertines prévues limiteront beaucoup les colonisations après restauration.

- Parement : le brossage peut être réalisé par le tailleur de pierre.
- Sculptures, moulures : ramollissement à la vapeur et élimination à la spatule.

##### **2. Taches sombres**

Les taches sombres pourront peut-être être éliminées à la vapeur ou par microsablage (buse 2 mm de diamètre intérieur maximum, pression 2 bars maximum, abrasif 30 microns maximum). Si ce n'est pas le cas elles peuvent être atténuées par une patine couleur pierre à base de chaux aérienne et pigments naturels.

## f) Dessalements par bains, protection contre les sels

La porométrie de la pierre de Charly est très fine, la seule mesure disponible<sup>6</sup> indique un diamètre moyen d'accès aux pores de 0,6 micron. Aucune des compositions de compresses actuellement connues ne permettrait de la dessaler par advection (c'est à dire en absorbant l'eau de la pierre au cours du séchage par capillarité ; schématiquement, la capillarité ne fonctionne que si les pores de la compresse deviennent lors séchage plus fins que ceux de la pierre). Seul un dessalement par bains pourrait permettre de retirer efficacement les sels.

Le temps d'un dessalement par bains est cependant très long : plus d'une année voire deux pour des objets de l'épaisseur des objets concernés<sup>7</sup>.

Le gypse déjà présent dans la pierre est instable dans toutes les conditions déjà évoquées pour le plâtre (eau d'infiltration, capillarité, sels déliquescents).

Ces conditions sont inévitables pour les chapiteaux du portail déjà gorgés de sels déliquescents, il est donc très souhaitable de dessaler par bains au moins les deux plus touchés par les sels.

Ces conditions devraient être évitées par l'élimination du plâtre et la protection contre les infiltrations pour les reliefs dans les parties hautes, sauf pour ceux, non identifiés, qui seraient déjà trop contaminés par des sels déliquescents concentrés par évaporation d'infiltrations d'eau de pluie (c'est peut-être le cas de l'extrémité gauche de la croix). Il n'est pas certains que ces conditions favorables puissent être maintenues : une infiltration suffira à mobiliser le gypse déjà présent. En dépit de ces incertitudes il est plus raisonnable de ne pas dessaler par bains ces reliefs en raison du temps qui serait nécessaire et de leur état d'altération moins avancé. Le dessalement par bains doit donc suivre cet ordre de priorité :

- Deux chapiteaux intérieurs gauche du portail : prioritaires.
- Deux chapiteaux intérieurs droits du portail : leur dessalement par bains peut attendre l'observation sur une longue durée et une future campagne de restauration mais il faut rechercher et éliminer le plâtre éventuel, pur ou en mélange (mélange suspecté dans un mortier rougeâtre imitation tuileau) et les isoler des remontées capillaires. Les chapiteaux extérieurs semblent moins menacés.
- Reliefs : leur dessalement par bains peut attendre une future campagne de restauration mais il faut rechercher et éliminer le plâtre 1900 (usage avéré en blocages au moins ponctuels).

Le dessalement par bains est réalisé de la manière suivante :

- Si des parties peuvent se détacher des objets elles sont maintenues par un tour de tulle synthétique fermé par une épingle en fil d'acier inoxydable.
- Les objets sont placés dans un bac sur des cales de polystyrène extrudé
- Le bac est rempli lentement d'eau déminéralisée, environ 5 fois le volume de l'objet.
- L'eau est agitée en permanence par une pompe pendant toute la durée du dessalement.
- Le bac est maintenu dans un noir total pour éviter les algues vertes.
- Le dessalement est suivi par mesures régulières de la conductivité électrique du bain car celle-ci est proportionnelle à la concentration des sels dans l'eau. La concentration des sels dans l'eau des pores de l'objet va diminuer pour s'équilibrer lentement avec celle du bain. Plus les concentrations sont proches et plus la vitesse du dessalement diminue, il faut donc remplacer l'eau du bain lorsque la courbe de sa conductivité électrique en fonction du temps fléchit nettement. Une pratique empirique éprouvée consiste à renouveler l'eau du bain lorsque la pente du dernier quart de cette courbe devient inférieure au quart de la pente moyenne. Trois bains sont en général nécessaires.

<sup>6</sup> Rapport ERM 22165 CM 231 : caractérisation de matériaux du patrimoine, portail et chapiteau du narthex, église Notre-Dame, Germigny l'Exempt (18).

<sup>7</sup> Les moyens d'accélérer le dessalement sont la surpression, les champs électriques ou électrolyse, et l'osmose inverse. Toutes présentent des dangers importants pour les pierres calcaires.

### **g) Application de produit consolidant après dessalement**

Une nouvelle consolidation comme la précédente est nécessaire après le dessalement par bains et séchage. En effet les sels qui détruisent la pierre participent dans le même temps à sa cohésion : c'est le gypse qui retient les écailles de pierre qu'il soulève.

### **h) Sculpture sur pierre neuve**

Ces prestations peuvent éventuellement être confiées au tailleur de pierre.

Un claveau de l'archivolte à billettes du portail doit être remplacé.

Pour les chapiteaux ou éventuels autres éléments dessalés, si l'attente de la fin des dessalements par bains doit absolument être évitée, une option peut-être le remplacement des originaux par des éléments sculptés sur pierre neuve, les originaux étant dessalés et ensuite conservés à l'abri. Une autre option, peut-être difficile dans la structure administrative et la sensibilité française, pourrait être de remplacer provisoirement les originaux par des copies puis, après la repose des originaux sauvés, de vendre ces copies dans le cadre d'une opération de mécénat convenue dès le départ (le mécène conservant ces copies et leur histoire).

### **i) Goujonnages, collages, cerclages**

Les goujons de bois du 2<sup>ème</sup> chapiteau sont à remplacer par des goujons inertes (acier inox dévissable gainé de Téflon ou composite) scellés par une résine époxyde Hilti HIT RE 500 V4 ou équivalent (résine époxyde à basse dilatation thermique et hydrique certifiée pour les scellements dans la pierre ou le béton fissuré).

Les autres parties pouvant tomber sont à goujonner de la même façon ou, pour les plus petites, à coller par points de résine Akepox 5020 couleur pierre ou équivalent (résine époxyde certifiée pour les collages de pierre en extérieur). Dans la pratique, une partie des collages peuvent être réalisés avant les déposes pour simplifier celles-ci et limiter les facings ou consolidations provisoires décrits plus haut.

Les colonnes fissurées sur une grande longueur devront probablement être cerclées à mi-hauteur avec fixation du cerclage à l'arrière. La décision concernant cette option devrait cependant attendre l'effet de la consolidation, des goujonnages et des collages.

### **j) Coulis de micromortier**

Micromortier formulé type PLM I de CTS France ou équivalent (très basse teneur en sels solubles, très fin, fluide, rétenteur d'eau à la mise en œuvre, capillaire et relativement tendre après la prise) teinté de pigments naturels en poudre (type terre de Sienne naturelle et terre d'Ombre naturelle ou équivalent). L'infiltration de coulis de micromortiers doit rétablir au moins en partie les propriétés mécaniques et capillaires des pierres fissurées.

Ce micromortier pourra être déposé à la seringue et cathéter sur les fissures les plus fines préalablement saturées en eau, c'est la succion capillaire de la pierre qui tire le coulis dans la fissure. Les fissures larges doivent être préalablement bouchées par un ragréage (ci-dessous) muni de tuyaux d'infiltration. Les fissures intermédiaires peuvent être infiltrées au cathéter en obstruant la fissure par un mouchoir en papier qui va absorber l'eau du coulis et le figer en surface pendant que l'infiltration peut se poursuivre dans la fissure derrière ce bouchage de coulis figé.

### **k) Solin, ragréage**

Ragréage par mortier à base de pierre de Charly neuve concassée (4 volumes) et chaux hydraulique NHL 3,5 (1 volume, la relative dureté de cette chaux ne pose aucun problème en emploi sur un bloc de pierre et avec un sable de pierre, cas très différent de celui d'un mortier de sable et chaux en liaison ou en enduit) additionnée de pigments naturels en poudre (type terre de Sienne naturelle et terre d'Ombre naturelle ou équivalent) mouillé d'eau additionnée de

3% maximum d'émulsion acrylique AC33. Le niveau de ragréage est à décider avec l'architecte maître d'œuvre ; il doit au moins permettre de maintenir solidement les parties séparées ou exfoliées ; il peut aussi plus ou moins restituer les parties disparues ; un traitement en « fausse cassure » peut éviter d'amollir les formes.

#### **l) Repose des éléments déposés pour élimination du plâtre ou pour dessalement**

Pour éviter que les éléments du bas du portail déposés ne soient recontaminés (s'ils ont été dessalés par bain) ou contaminé plus encore par les sels (s'ils n'ont pas été dessalés par bains), ils doivent être isolés par une feuille de plomb de 2,5 mm dans le joint. Le plomb n'est pas utile pour les autres éléments plus haut dans la façade éventuellement déposés.

La repose se fait immédiatement après l'élimination du plâtre pour les éléments non dessalés déposés pour élimination du plâtre, après dessalement pour les éléments dessalés par bains.

La repose utilisera un mortier de sable est chaux légèrement hydraulique (NHL 2)

#### **m) Rapport**

Rapport avec photos par élément avant, pendant et après traitement, techniques, nom et quantité des produits utilisés, date d'application des produits consolidants.

## **2) Opérations relevant d'autres corps de métiers (tailleur de pierre, couvreur)**

Outre les opérations ci-dessus qui relèvent de conservateurs-restaurateurs de sculptures, d'autres opérations indispensables relèvent d'autres corps de métiers :

#### **a) Remplacements de pierres, reconstruction des extrémités supérieures du mur de façade**

Des pierres doivent être remplacées en pierre de Charly. L'étendue de ces remplacements peut être modulée selon l'aspect final visé, les graffitis à conserver etc.

Les pierres des consoles créées vers 1900 sous le bas des dalles de couverture des rampant sont très altérées, chargées de sels, et elles contiennent encore beaucoup de plâtre. Leur élimination indispensable est l'occasion de reconstruire les extrémités supérieures des deux côtés du mur de façade formant contrefort.

Les pierres de la corniches sont très abimées par le gel mais elles en seront protégées et poseront aussi moins de problème d'aspect si elles sont couvertes de plomb.

#### **b) Elimination du ciment du parement en bas de la façade, rejointoiement**

Un mortier de sable et chaux aérienne offre toutes les qualités pour la conservation des éléments anciens. La chaux dolomitique doit être évitée car les sulfates présents dans le monument pourraient former avec l'ion magnésium de cette chaux un sulfate de magnésium ou epsomite, sel bien plus soluble que le gypse et assez destructeur.

#### **c) Couvertines :**

Les dalles des rampants du pignon, les tailloirs des chapiteaux des colonnes hautes et la corniche doivent être protégés des infiltrations par des couvertines en plomb.



Le DTU en vigueur est inadapté puisqu'il accepte le plâtre et interdit les chaux hydrauliques sous le plomb. On ne compte plus les parties de monuments français détruites par le gypse du plâtre utilisé sous le plomb puis transporté par l'eau d'infiltrations. Pour créer une légère pente sur la corniche, il faudra, soit retailler la pierre, soit utiliser un mortier de chaux hydraulique, en dépit du DTU (il faut des précautions particulières pour éviter la fissuration du mortier lors de la mise en forme du plomb et, contrairement au plâtre traditionnellement mis en œuvre peu avant par le couvreur, la mise en œuvre doit se faire des semaines à l'avance, de préférence par le tailleur de pierre plus coutumier de ce type de mortier).

## **C) ESTIMATION DES TEMPS ET DES COÛTS DU TRAITEMENT DE CONSERVATION-RESTAURATION, PROGRAMMATION**

### **1) Programmation**

La mise en œuvre des mortiers est impossible en période de gel. Celle des consolidants au silicate d'éthyle demande une pierre sèche à une température supérieure à 10°C et inférieure à 20°C, sans pluie au moment de l'application et si nécessaire abritée du soleil<sup>8</sup>. La pierre ne peut ensuite être mouillée pendant plusieurs semaines (effet perlant tant que la prise du silicate d'éthyle avec l'humidité de l'air n'est pas achevée).

Compte tenu de ces impératifs techniques, le délai global d'intervention pour le traitement des sculptures et des colonnes, hors temps de dessalement par bains est de :

- s'il démarre entre mi-avril et début octobre : trois mois minimum.
- s'il démarre entre début octobre et mi-avril : le délai court depuis le démarrage jusqu'à la fin juin au moins (car la consolidation ne peut se faire qu'à partir du début mai, la mise en œuvre des coulis et mortiers doit alors attendre fin mai )

Le dessalement par bains est de toute manière plus long que le délai d'échafaudage (plus d'un an voire deux, non prédictible plus précisément dans l'état actuel des connaissances). La repose des éléments dessalés devra se faire après la dépose de l'échafaudage, les emplacements des blocs dessalés pouvant soit rester vides soit recevoir un bloc ou un mortier d'attente. Un panneau doit expliquer au public le traitement en cours.

### **2) Temps et coûts**

Le tableau ci-dessous estime les temps et les coûts du traitement de conservation-restauration, il n'inclut par l'échafaudage, la taille de pierre, la couverture, la maîtrise d'œuvre, l'eau, l'électricité et les installations de chantier.

Certaines opérations sont optionnelles.

Le coût d'une intervention de conservation-restauration dépend très fortement du niveau de précaution et de qualification des intervenants. L'estimation ci-dessous repose sur l'hypothèse d'une intervention avec un niveau de précaution élevé, réalisée par des intervenants qualifiés diplômés d'une formation conservation-restauration des œuvres sculptées.

---

<sup>8</sup> Remmers recommande 8°C à 25°C ou 10°C à 20°C selon les produits, sa documentation ne parle pas d'humidité, elle parle de supports secs. Mais l'humidité de l'air est indispensable à la prise du produit. Wacker recommande pour son consolidant au silicate d'éthyle concentré SILRES BS OH 100, chimiquement assez proche, une température de 10° à 20°C et de 40 à 80% d'humidité relative dans certains de ses documents mais dans d'autres il ne recommande d'abriter de la pluie que pendant deux à trois jours et une humidité relative minimale de 40%.

Traitement des sculptures et des colonnes hautes (travail du conservateur-restaurateur)

	heures		fournitures				Total hors options	Total avec options
	nombre	prix	unité	nombre	prix unitaire	prix		
	tarif	1	80,00 €					
a)	Application de produits consolidants	12	960,00 €				960,00 €	960,00 €
	produits consolidants			kg	60	18,00 €	1 080,00 €	1 080,00 €
b)	"Facings" ou maintiens provisoires avant dépose							
	2 chapiteaux intérieurs gauches du portail	2	160,00 €				160,00 €	160,00 €
	option 5 reliefs	5	400,00 €				400,00 €	400,00 €
c)	Elimination du ciment des parties sculptées	40	3 200,00 €				3 200,00 €	3 200,00 €
d)	Elimination du plâtre, déposes							
	4 chapiteaux, dépose	4	320,00 €				320,00 €	320,00 €
	recherche et élimination sur les reliefs sans dépose	20	1 600,00 €				1 600,00 €	1 600,00 €
	supplément option dépose de 5 reliefs	40	3 200,00 €					3 200,00 €
	recherche et élimination sur la croix et chapiteaux sans dépose	40	3 200,00 €				3 200,00 €	3 200,00 €
e)	Nettoyage de l'ensemble des parties sculptées							
	vapeur et spatule sur recouvrements biologiques	80	6 400,00 €				6 400,00 €	6 400,00 €
	vapeur ou microsablage sur taches sombres	6	480,00 €				480,00 €	480,00 €
f)	Dessalement par bains							
	2 chapiteaux intérieurs gauches du portail	6	480,00 €				480,00 €	480,00 €
	eau déminéralisée			litres	300	0,15 €	45,00 €	45,00 €
	option 2 chapiteaux droit du portail	6	480,00 €					480,00 €
	eau déminéralisée pour l'option ci-dessus			litres	300	0,15 €	45,00 €	45,00 €
	option 5 reliefs	30	2 400,00 €					2 400,00 €
	eau déminéralisée pour l'option ci-dessus			litres	3750	0,15 €	562,50 €	562,50 €
g)	Application de produits consolidants							
	2 chapiteaux intérieurs gauches du portail	2	160,00 €				160,00 €	160,00 €
	produits consolidants			kg	2	18,00 €	36,00 €	36,00 €
	option 2 chapiteaux droit du portail s'ils sont dessalés	1	80,00 €					80,00 €
	produits consolidants pour l'option ci-dessus			kg	1	18,00 €	18,00 €	18,00 €
	option 5 reliefs s'ils sont dessalés	5	400,00 €					400,00 €
	produits consolidants pour l'option ci-dessus			kg	20	18,00 €	360,00 €	360,00 €
h)	Sulpture sur pierre neuve	30	2 400,00 €				2 400,00 €	2 400,00 €
	claveau d'archivolte à billettes	4	320,00 €				320,00 €	320,00 €
	fourniture et pose de la pierre de Charly			forfait	1	300,00 €	300,00 €	300,00 €
	option copie de 2 chapiteaux en dessalement	20	1 600,00 €					1 600,00 €
	fourniture et pose pierre de Charly pour l'option ci-dessus			forfait	2	300,00 €	600,00 €	600,00 €
	option copie de 3 chapiteaux en dessalement	30	2 400,00 €					2 400,00 €
	fourniture et pose pierre de Charly pour l'option ci-dessus			forfait	3	300,00 €	900,00 €	900,00 €
	option copie de 5 reliefs en dessalement	100	8 000,00 €					8 000,00 €
	fourniture et pose pierre de Charly pour l'option ci-dessus			forfait	5	600,00 €	3 000,00 €	3 000,00 €
i)	Goujonnages, collages, cerclages	30	2 400,00 €					2 400,00 €
	résines, goujons, cerclages			forfait	1	800,00 €	800,00 €	800,00 €
j)	Coulis de micromortier	40	3 200,00 €				3 200,00 €	3 200,00 €
k)	Solins, ragréage	80	6 400,00 €				6 400,00 €	6 400,00 €
l)	Repose des éléments déposés							
	2 chapiteaux intérieurs gauche du portail dessalés	16	1 280,00 €				1 280,00 €	1 280,00 €
	feuille de plomb			m²	2	250,00 €	500,00 €	500,00 €
	supplément de retour sur chantier			forfait	1	1 200,00 €	1 200,00 €	1 200,00 €
	2 chapiteaux intérieurs droit du portail	16	1 280,00 €				1 280,00 €	1 280,00 €
	feuille de plomb			m²	2	250,00 €	500,00 €	500,00 €
	option repose de 5 reliefs non dessalés	40	3 200,00 €					3 200,00 €
	supplément option repose de 5 reliefs dessalés			forfait	1	1 200,00 €	1 200,00 €	1 200,00 €
m)	Rapport	40	3 200,00 €				3 200,00 €	3 200,00 €
	tirages			forfait	1	200,00 €	200,00 €	200,00 €
	total HT						40 101,00 €	70 946,50 €
	TVA 20,00%						8 020,20 €	14 189,30 €
	Total TTC						48 121,20 €	85 135,80 €
	total heures hors options	473						
	total heures avec options	745						
	total HT						40 101,00 €	70 946,50 €
	TVA 20,00%						8 020,20 €	14 189,30 €
	Total TTC						48 121,20 €	85 135,80 €
	total heures hors options	473						
	total heures avec options	745						

N'inclut pas : échafaudage, installations de chantier, taille de pierre, couverture, électricité, maîtrise d'œuvre.

## Annexe : photos de secteurs

Photo de la façade : figure 111 page 35.



158. ← 16/9/2022  
P9164938



159. ← 16/9/2022  
P9164939



160. ↑ 1<sup>er</sup> relief 16/9/2022 P9164930



161. ↑ 2<sup>ème</sup> relief 16/9/2022 P9164931



162. ↑ 3<sup>ème</sup> relief 16/9/2022 P9164932



163. ↑ 4<sup>ème</sup> relief 16/9/2022 P9164933



164. ↑ 5<sup>ème</sup> relief 16/9/2022 P9164934



165.↑ Chapiteau gauche de la baie aveugle gauche 16/9/2022 P9164951



166.↑ Chapiteau droit de la baie aveugle gauche P9164953



167.↑ Chapiteau gauche de la baie aveugle droite 16/9/2022 P9164954



168.↑ Chapiteau droit de la baie aveugle droite 16/9/2022 P9164955



169. ↑ 16/9/2022 P9164947



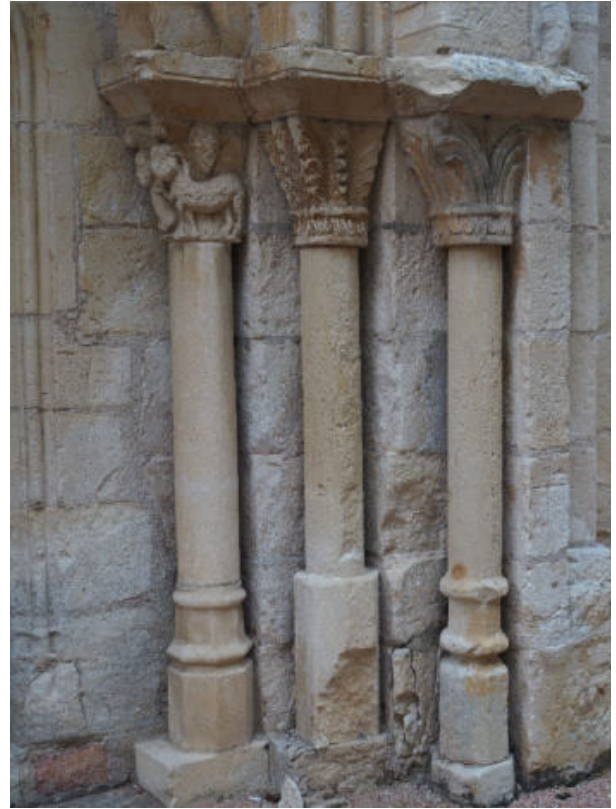
170. ↑ 16/9/2022 P9164949



171. ↑ 16/9/2022 P9164950



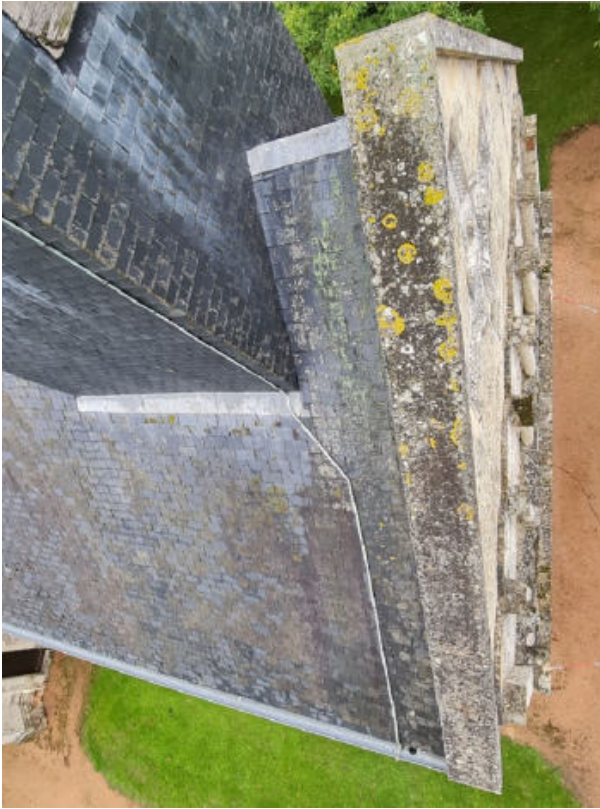
172. ↑ 16/9/2022 P9164956.



173. ↑ 16/9/2022 P9164960



174. ↑ 20220914\_131416s



175. ↑ *Pente gauche 20220914\_095040*



176. ↑ *Pente droite 20220914\_094951*



## Document joint : rapport ERM



Siège Social

Technopole Grand Poitiers – H-TAG  
24, boulevard du Grand Cerf  
86000 POITIERS

Bureaux et Laboratoire

Bâtiment B8-B35, 1er étage  
7, rue Albert Turpain  
86000 POITIERS

☎ 05 49 46 18 11  
www.erm-poitiers.fr

**Église de Jussy-Champagne  
Façade occidentale  
Etude de conservation et de restauration  
(18)**

---

**Dosages de sels solubles et analyses par  
diffraction de rayons X**



*Commanditaire :* Bénédicte DUCATEAU, maire de Jussy-Champagne  
Mairie de Jussy-Champagne  
1, place de l'église  
18130 Jussy-Champagne

*V/Réf commande :* DEV21-229 – signé le 28/06/2022

*N/Réf :* **MAT 22 233 – Lot d'échantillons 22231**

Janvier 2022

Rédacteur :

T. DABAT

Vérificateur :

C. MORIN

**Diffusion du rapport :**

- Bénédicte DUCATEAU, maire de Jussy-Champagne - **1 exemplaire numérique**
- Olivier ROLLAND, conservateur-restaurateur de sculptures - **1 exemplaire numérique**

## **SOMMAIRE**

<b>Introduction .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Prélèvements.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Méthodes d'analyse en laboratoire .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Analyse quantitative de sels solubles.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Analyse minéralogique par diffraction de rayons X .....</b>	<b>4</b>
<b>3 Résultats.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Dosages des sels solubles .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2 Caractérisation des efflorescences salines par diffraction des rayons X .</b>	<b>5</b>
<b>4 Synthèse .....</b>	<b>7</b>
<b>5 Annexe : Fiche de prélèvement .....</b>	<b>7</b>

## Introduction

Ce rapport fait suite à la demande d'analyses en date du 29 septembre 2021 d'Olivier Rolland, conservateur-restaurateur de sculptures, afin de caractériser la contamination saline de la façade occidentale de l'église de Jussy-Champagne.

## 1 Prélèvements

Les prélèvements ont été réceptionnés et enregistrés le 09/11/22 sous la référence 22231. Le tableau ci-dessous présente les huit échantillons et les analyses effectuées. La fiche de prélèvement, fournie par M. Olivier Rolland est jointe en annexe.

Référence ERM	Référence commanditaire	Dosage de sels solubles	Diffraction de rayons X
22231-1	ERM1 DRXD 0-1 mm	Sulfates Nitrates Chlorures Phosphates Sodium Magnésium Calcium Potassium	Oui
22231-2	ERM1 D 1-10 mm		-
22231-3	ERM1 D 40-50 mm		-
22231-4	ERM2 D 0-1 mm		-
22231-5	ERM2 D 40-50 mm		-
22231-6	ERM3 DRXD 0-1 mm		Oui
22231-7	ERM3 D 1-10 mm		-
22231-8	ERM3 D 40-50 mm		-

**Tableau 1** : Référencement des échantillons et analyses effectuées.

## 2 Méthodes d'analyse en laboratoire

### 2.1 Analyse quantitative de sels solubles

L'extraction des sels solubles a été réalisée selon le protocole ERM respectant la norme européenne EN 16455 : « Conservation du patrimoine culturel - Extraction et détermination de la teneur des sels solubles dans la pierre naturelle et les matériaux associés utilisés dans le patrimoine culturel ». Les échantillons à réception sont broyés dans un mortier en agate puis séchés à l'étuve à 60°C, de manière à éviter des problèmes de modifications de la structure cristalline de certaines phases. En standard, l'extraction des sels solubles s'effectue à partir d'une prise d'essai de 100 mg du matériau sec mis en contact dans de l'eau distillée. La solubilisation des phases s'effectue avec un rapport solution/solide donné, par agitation mécanique durant 24 heures minimum. Le dosage des anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) s'effectue dans le filtrat par chromatographie ionique (DIONEX ICS-1000) avec une colonne analytique AS 9 HS tandis que le dosage des cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$ ) a été effectué par spectrométrie d'absorption atomique (Perkin Elmer PinAAcle 900F).

## 2.2 Analyse minéralogique par diffraction de rayons X

La diffraction de rayons X est réalisée sur poudre désorientée pour la caractérisation de la nature minéralogique des constituants cristallisés :

Diffractomètre : Bruker D8 Advance A25

Goniomètre vertical : détecteur rapide de type LynxEye.

Tube de rayons X : anode de cuivre (radiation Cu K())

Conditions d'analyse : 40 kV, 40 mA.

Domaine angulaire balayé : 5 – 65 ° 2θ à une vitesse de balayage de 0,375 ° 2θ/min.

L'identification des minéraux est réalisée par comparaison des résultats expérimentaux avec les informations fournies par la base de données de l'ICDD (International Center for Diffraction Data), qui reprend le fichier J.C.P.D.S. (base de données du "Joint Committee on Powder Diffraction Standards"), et avec la base de données I.C.S.D. (Inorganic Crystal Structure Database). Cette base de données recense la position et l'intensité des pics caractéristiques de plus de 50 000 composés inorganiques cristallisés.

Les phases minérales identifiées sur les diffractogrammes sont définies par leur nom, la fiche de référence JCPDS, leur formule chimique théorique et leur abondance. L'abondance est un indice empirique lié à l'intensité relative des raies de diffraction du minéral, observées sur le diffractogramme (approche semi-quantitative).

## 3 Résultats

### 3.1 Dosages des sels solubles

Le tableau 2 présente les dosages d'anions et de cations, exprimés en g/kg de matière sèche à 60 °C et en pourcentage massique de l'échantillon analysé. Les tableaux 3 et 4 présentent les recommandations des valeurs seuils de concentration en anions et en cations, respectivement.

Référence Prélèvements	Prof (mm)	Chlorures		Sulfates		Nitrates		Phosphates		Sodium		Potassium		Magnésium		Calcium	
		g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%
22231-1 ERM1	0-1	<0,5	<0,05	55,9	5,59	1,0	0,10	<0,5	<0,05	<0,2	<0,02	0,3	0,03	<0,2	<0,02	56,37	5,64
22231-2 ERM1	1-10	<0,5	<0,05	1,5	0,15	0,6	0,06	<0,5	<0,05	<0,2	<0,02	0,2	0,02	<0,2	<0,02	12,71	1,27
22231-3 ERM1	40-50	<0,5	<0,05	<0,5	<0,05	<0,5	<0,05	<0,5	<0,05	<0,2	<0,02	<0,2	<0,02	<0,2	<0,02	11,31	1,13
22231-4 ERM2	0-1	1,1	0,11	<0,5	<0,05	0,7	0,07	<0,5	<0,05	0,5	0,05	0,3	0,03	<0,2	<0,02	11,55	1,15
22231-5 ERM2	40-50	0,6	0,06	1,2	0,12	0,6	0,06	<0,5	<0,05	0,2	0,02	0,2	0,02	0,20	0,02	13,34	1,33
22231-6 ERM3	0-1	2,2	0,22	15,7	1,57	7,0	0,70	<0,5	<0,05	1,4	0,14	0,9	0,09	0,21	0,02	26,91	2,69
22231-7 ERM3	1-10	1,8	0,18	1,6	0,16	5,5	0,55	<0,5	<0,05	0,9	0,09	0,7	0,07	<0,2	<0,02	14,75	1,48
22231-8 ERM3	40-50	1,4	0,14	<0,5	<0,05	2,3	0,23	<0,5	<0,05	0,9	0,09	0,4	0,04	<0,2	<0,02	12,44	1,24

**Tableau 2 :** Teneurs en chlorures, sulfates, nitrates, phosphates, sodium, potassium, magnésium et calcium extraits en g/kg de matière sèche à 60 °C et en pourcentage massique des prélèvements analysés (en rose : teneurs supérieures aux valeurs limites couramment admises pour les anions, en vert : même chose pour les cations associés, en gris : valeurs négligeables).

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

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

\*WTA : Association Scientifique et technique pour l'entretien et la préservation du bâtiment (Allemagne) (directive WTA 13.3.01 / E),

\*\* Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques : « Ouvrages de maçonneries », Juin 2006, édité par le Ministère de la Culture et de la Communication – Direction de l'architecture et du patrimoine – Sous-direction des monuments historiques et des espaces protégés – Mission ingénierie et références techniques, 219p.

Teneurs en anions recommandées		Teneurs en cations en association simple (%)			
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
Chlorures	< 0,10 %	0,06	0,11	0,03	0,04
Nitrates	< 0,50 %	0,19	0,31	0,10	0,16
Sulfates	< 0,10 %	0,03	0,03	0,03	-
	< 5 %	-	-	-	2,08

**Tableau 4** : Concentrations en cations les plus fréquents en association simple correspondant aux valeurs de recommandation pour les anions exposées ci-dessus.

**REMARQUE GENERALE** : Ces valeurs indicatives ne sont que des valeurs moyennes et varient en fonction de la nature des sels présents, de celle des matériaux et notamment de leur espace poral.

### 3.2 Caractérisation des efflorescences salines par diffraction des rayons X

Deux échantillons ont été analysés par diffraction de rayons X : 22231-1 (ERM1 DRXD 0-1 mm), en partie haute, et 22231-6 (ERM3 DRXD 0-1 mm), en partie basse. Les phases identifiées sur les diffractogrammes de poudre totale désorientée (figure 1 et 2), leurs compositions théoriques et leurs abondances qualitatives sont présentées dans le tableau 5.

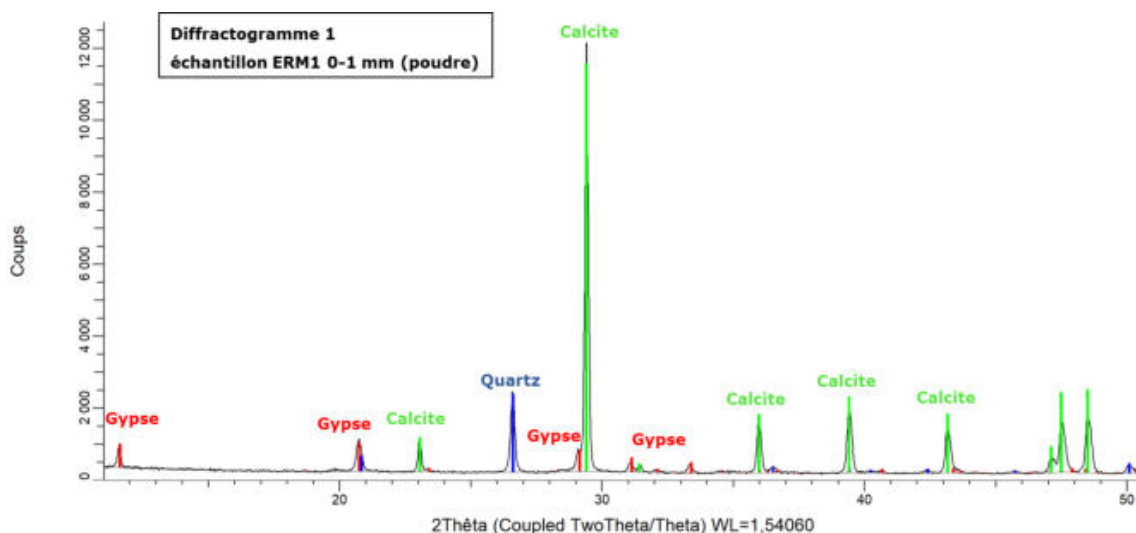


Figure 1 : Diffractogramme de poudre totale désorientée de l'échantillon 22231-1 (ERM1 DRXD 0-1 mm).

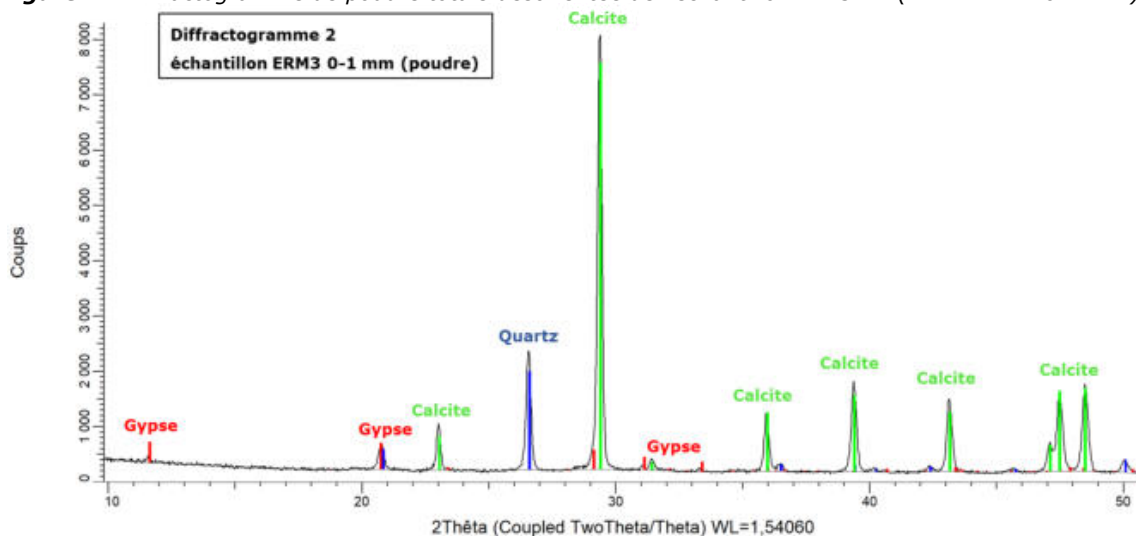


Figure 2 : Diffractogramme de poudre totale désorientée de l'échantillon 22231-6 (ERM3 DRXD 0-1 mm).

Référence échantillon	Minéraux identifiés	Formule du modèle	Référence	Abondance
22231-1 ERM1 DRXD 0-1 mm	Calcite	CaCO <sub>3</sub>	COD 9000965	+++
	Gypse	CaSO <sub>4</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	COD 9013164	+
	Quartz	SiO <sub>2</sub>	COD 9010146	+
22231-6 ERM3 DRXD 0-1 mm	Calcite	CaCO <sub>3</sub>	COD 9000965	+++
	Gypse	CaSO <sub>4</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	COD 9013164	Traces
	Quartz	SiO <sub>2</sub>	COD 9010146	+

Tableau 5 : Nature, abondance et composition chimique théorique des minéraux identifiés.

Les minéraux identifiés sont similaires pour les deux échantillons : principalement de la calcite, un peu de quartz et du gypse en quantité limité pour la partie haute (ERM1) et sous forme de traces pour la partie basse (ERM3).

## 4 Synthèse

Les analyses mettent en évidence une contamination saline très limitée en partie haute (ERM1), avec seulement des cristallisations de gypse détectées mais associées à des taux de sulfates solubles légèrement au-delà des seuils de recommandation. Cette contamination est cependant très superficielle et les taux de sels solubles sont bas à partir de 1 mm de profondeur.

Au niveau du point de prélèvement ERM2, seuls les taux de chlorures et de sodium sont préoccupants : ils se situent de part et d'autre des seuils des recommandations respectifs, avec une proportion massique proche de la stœchiométrie. Cela correspond à des conditions favorables à la cristallisation d'halite (NaCl), un sel hygroscopique nocif pour le parement. Contrairement aux autres prélèvements, aucun sulfate n'est détecté en surface.

Au niveau du point de prélèvement ERM3, le plus bas, la contamination saline la plus élevée est détectée, décroissante de la surface vers la profondeur : les concentrations en sodium et en chlorures sont anormales jusqu'à au moins 5 cm, tandis que celles en nitrates et en potassium le sont jusqu'à 1 cm de profondeur seulement. Les quelques sulfates détectés correspondent probablement aux cristaux de gypse détectés en diffraction des rayons X. Aucun autre sel cristallisé n'est détecté par ailleurs, indiquant des conditions probablement humides lors des prélèvements.

Fait à Poitiers, le 05 janvier 2022

Responsable de l'étude :

**Thomas Dabat**



## 5 Annexe : Fiche de prélèvement

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

*La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 12 pages. La reproduction partielle ne peut être réalisée qu'avec l'accord préalable de la société ERM.*



Montlouis sur Loire, 7 novembre 2022

Olivier ROLLAND, restaurateur de sculptures  
3 rue du Gué, 37270 Montlouis  
SIRET 379514 391 00034  
tél. 02 47 45 14 56; fax 02 47 45 14 60; mobile 06 80 42 87 74  
e.mail: olivierrolland@wanadoo.fr

SARL ETUDES-RECHERCHES-MATERIAUX  
Bât. 8 - 1er étage  
7 rue Albert Turpain  
86000 POITIERS

## **18, Jussy-Champagne, église, façade occidentale étude de conservation et restauration Prélèvements transmis au laboratoire ERM**

Ce courrier ne constitue pas un bon de commande, merci de vous assurer qu'ERM a reçu la commande des analyses demandées (devis DEV21-229\_Jussy-Champagne église).

La façade ouest de l'église de Jussy Champagne est une façade romane remaniée à plusieurs périodes. Les éléments sculptés du registre supérieur ont été déposés et reposés autour de 1900 avec des blocages au plâtre.

Les photos et leurs légendes ci-après présentent des prélèvements réalisés par Olivier Rolland les septembre 2022 et transmis à ERM par courrier du 7 novembre 2022 (partant le 8) pour :

- 8 dosages selon la norme sels solubles des ions sulfate, nitrate, chlorure, phosphate, sodium, magnésium, calcium et potassium.
- 2 identifications par diffraction de rayons X des sels solubles cristallisés.
- Rapport.

Les analyses à réaliser sont indiquées par le nom des prélèvements :

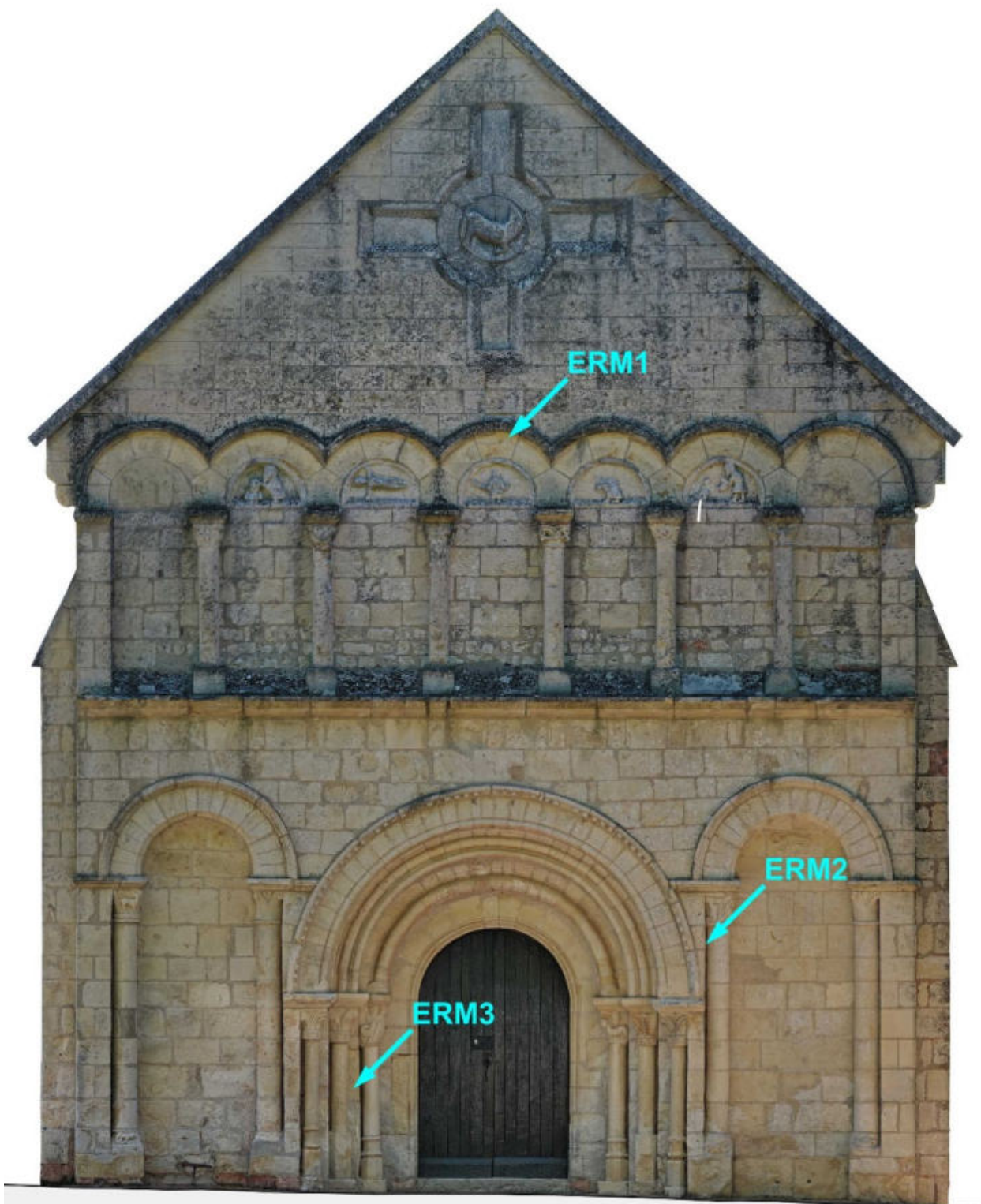
- DRXD indique un prélèvement sur lequel doit être d'abord réalisé une identification par diffraction de rayons X des sels solubles cristallisés puis les dosages selon la norme sels solubles des ions sulfate, nitrate, chlorure, phosphate, sodium, magnésium, calcium et potassium.
- D indique un prélèvement sur lequel doivent être réalisés les dosages selon la norme sels solubles des ions sulfate, nitrate, chlorure, phosphate, sodium, magnésium, calcium et potassium

Si ERM le permet, je souhaite mettre en totalité le rapport ERM en document joint à mon propre rapport, je m'occuperai donc du tirage papier.

Copie :

Irène JOURD'HEUIL, Conservateur des Monuments historiques, DRAC Centre-Val de Loire, Conservation Régionale des Monuments historiques, 6 rue de la Manufacture, 45043 Orléans cedex

Juliette Lutz et Maëvy Steinkampf, Covalence architectes, 136 rue de Bagnolet 75020 Paris



1. ↑ Localisation des prélèvements (fond graphique Raphael Drizard – Architecte A-F ANTE FACTUM : relevé & architecture

## Prélèvements de la série ERM1

Claveau au-dessus du relief centra, à droite sous le bandeau, pierre altérée par les sels couverte de petites exfoliations plus ou moins boursouflées.

### **ERM1 DRXD 0-1 mm**

Pierre de 0 à 1 mm de profondeur prélevée au ciseau droit

### **ERM1 D 1-10 mm**

Au centre du précédent, pierre de 1 à 10 mm de profondeur prélevée par perçage.

### **ERM1 D 40-50 mm**

En poursuivant le perçage du précédent, pierre de 40 à 50 mm de profondeur.



2. ↑ *Emplacement des prélèvements de la série ERM1.* 20220916\_174800



3. ↑ *Avant prélèvement.* 20220916\_174825



4. ↑ *Après prélèvement* 20220916\_175413

## Prélèvements de la série ERM2

Parement entre rouleau d'archivolte du portail et la colonne à droite, bloc sous le joint au niveau du bas du chapiteau, près du joint inférieur, pierre ayant subi des pertes anciennes importantes, après élimination d'une petite écaille de pierre instable.

### **ERM2 D 0-1 mm**

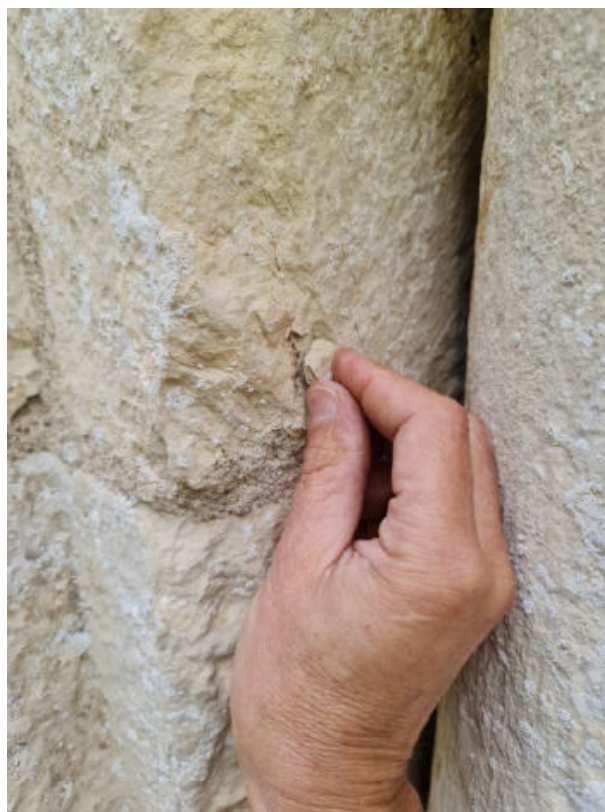
Pierre de 0 à 1 mm de profondeur (mesurée après élimination de l'écaille instable) prélevée au ciseau droit.

### **ERM2 D 40-50 mm**

En poursuivant le perçage du précédent, pierre de 40 à 50 mm de profondeur.



5. ↑ *Emplacement des prélèvements de la série ERM2 20220916\_182222*



6. ↑ *Une écaille de pierre instable a préalablement été retirée, c'est à l'emplacement découvert que les prélèvements ont été réalisés comme précédemment. 20220916\_182353*

## Prélèvements de la série ERM3

### **ERM3 DRXD 0-1 mm**

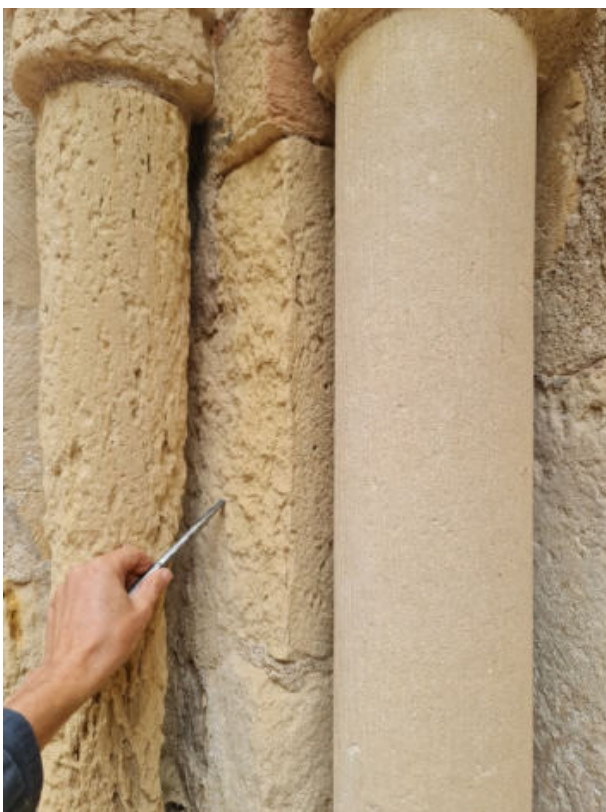
Pierre de 0 à 1 mm de profondeur prélevée au ciseau droit

### **ERM3 D 1-10 mm**

Au centre du précédent, pierre de 1 à 10 mm de profondeur prélevée par perçage.

### **ERM3 D 40-50 mm**

En poursuivant le perçage du précédent, pierre de 40 à 50 mm de profondeur.



7. ← 20220916\_184041



8. ↑ 20220916\_184059