



CATHÉDRALE NOTRE-DAME DE PARIS



PHASE 3 – TRAVAUX DE RESTAURATION POST-2024 SOUS-OPERATION n° 1

RESTAURATION DU CHEVET

DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES

DCE_{CHVT}

Philippe VILLENEUVE, Rémi FROMONT
Architectes en Chef des Monuments Historiques



Février 2025

Sommaire

- **FICHE DE RENSEIGNEMENT**

- **RAPPORT DE PRESENTATION**

- Préambule

- 1 – Présentation de l'opération

- 2 – Organisation de chantier

- 3 – Description détaillé des travaux

- Annexe – Nomenclature des espaces

- **CAHIER DES CLAUSES ADMINISTRATIVES PARTICULIERES (C.C.A.P.)**

- **CALENDRIER PREVISIONNEL D'EXECUTION DES TRAVAUX**

- **DECOMPOSITIONS DU PRIX GLOBAL ET FORFAITAIRE (D.P.G.F.) et BORDEREAUX QUANTITATIFS ESTIMATIS (B.Q.E)**

- **CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES COMMUNES (C.C.T.C.) & ADDITIF RISQUES PLOMB ET AMIANTE**

- **CAHIERS DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES (C.C.T.P.) & ADDITIFS RISQUES PLOMB ET AMIANTE**

- **DOCUMENTS GRAPHIQUES ET PHOTOGRAPHIQUES**

- ☐ CAHIER 1 : Planches graphiques générales
 - ☐ CAHIER 2 : Les maçonneries, décors sculptés et vitraux
 - ☐ CAHIER 3 : Les couvertures du chœur et paratonnerre
 - ☐ CAHIER 4 : Détails

- **ANNEXES GENERALES**

- ☐ ANNEXE 1 : Plan d'installation de chantier (P.I.C.)
 - ☐ ANNEXE 2 : Note d'organisation de chantier (N.O.C.)
 - ☐ ANNEXE 3 : Plan de déploiement des coffrets électriques



- ANNEXE 4 : Plan de déploiement des branchements en eau
- ANNEXE 5 : Diagnostic plomb
- ANNEXE 6 : Diagnostic amiante
- ANNEXE 7 : Plan général de coordination (P.G.C.)

■ ANNEXES PARTICULIERES

- ANNEXE 1 : Carlo BLASI, Mathias FANTIN, *Paris – Cathédrale Notre-Dame - Restauration des arcs-boutants du chœur (PRO) et cahier des charges échafaudages*, Rapport structure des bureaux d'étude COMES STUDIO ASSOCIATO et BESTREMA, janvier 2025
- ANNEXE 2 : TABLIER : Etudes d'exécution du tablier- LEBRAS FRERES, mai 2020
- ANNEXE 3 : TABLIER et CINTRES : Vérification des structures provisoires
- ANNEXE 4 : Lot 10_Paratonnerre : Rapport *Etude technique foudre*, ARF NA20200922-01 établi par FRANKLIN FRANCE CENTRE-EST complété par l'étude technique pour les travaux ETF NA20201002-01, 8 octobre 2020.
- ANNEXE 5 : Lot 10_Paratonnerre : Rapport de *Vérification complète concernant le Système de Protection Foudre de la Cathédrale Notre Dame de Paris à Paris (75)* par FRANCE PARATONNERRE n°RC240203 indice 2, 7 février 2024
- ANNEXE 6 : Lot 10_Paratonnerre : Rapport *Prises de Terre Paratonnerres*, n°350001534/35001544 réalisé par FRANKLIN ENERGIE, 23 octobre 2024.
- ANNEXE 7 : Ph. VILLENEUVE, R. FROMONT, ACMH, *Synthèse des sculptures monumentales déposées après incendie – Fleurons chevet*, septembre 2024
- ANNEXE 8 : NOTE SCIENTIFIQUE « *Consolidation - dessalement* » Société SOCRA, mars 2021



Fiche de renseignement

RENSEIGNEMENTS GENERAUX

- . Département
- . Commune
- . Nom de l'édifice
- . Propriétaire
- . Affectataires
- . Époques principales de construction
- . Nature, étendue et date de la protection

Paris
Paris – IV^e arrondissement
Cathédrale Notre-Dame de Paris
État – Ministère de la Culture
Clergé
XII^e et XIII^e siècles, XIX^e siècle
Classement M.H. sur la liste de 1862

Opération

PHASE 3 - TRAVAUX DE RESTAURATION POST-2024

Sous-opération

SO-1 - Restauration du Chevet

Phase étude

DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES



ANNEXE – Présentation de toutes les sous-opérations liées à la PHASE 3 - TRAVAUX DE RESTAURATION POST-2024

Phase et numéro de sous-opération	Nom de l'opération	Indice
PH3_SO-0	Les installations de chantier	INCH_Ph3
PH3_SO-1	La restauration extérieure du chevet	CHVT
PH3_SO-2	La construction des locaux techniques définitifs	LT
PH3_SO-3	La restauration extérieure de la sacristie	SC
PH3_SO-4	La restauration extérieure du presbytère	PRESB



LISTE DES INTERVENANTS

Maître d'Ouvrage

ETABLISSEMENT PUBLIC CHARGÉ DE LA CONSERVATION ET DE LA RESTAURATION DE LA CATHEDRALE NOTRE-DAME DE PARIS

Établissement public administratif, créé par la loi
n°2019-803 du 29 juillet 2019 et le décret n°2019-
1250 du 28 novembre 2019
2bis, cité Martignac - 75007 Paris

AMO Plomb

ING2E

Sébastien BAUDRY
56, rue de Bercy - 75012 Paris
Tél. : 06 76 23 92 55
E-mail : sebastien.baudry@ing2e.com

Maître d'Œuvre

Philippe VILLENEUVE, Rémi FROMONT, ACMH

Chantier Notre-Dame de Paris
Rue du Cloître Notre-Dame - 75004 Paris
Poste de sécurité - Porte P5
Tél. : 01 87 76 11 63
E-mail : notre-dame@villeneuve-acmh.fr

BET Structures

BESTREMA

Mathias Fantin
334, rue Nicolas Parent - 73000 Chambéry
Tél. : 06 51 53 68 99
E-mail : m.fantin@bestrema.fr

COMES STUDIO ASSOCIATO

Carlo Blasi
Viale L. Ariosto 695 - 50019 Sesto Fiorentino
Firenze - Italie
Tél. : 00 39 055 4201949
E-mail : carlo.blasi@studiocomes.it

Economiste

Cabinet Pilté

Stéphane Pilté
19, rue du Petit Musc - 75004 Paris
Tél. : 01 48 87 99 38
E-mail : contact@cabinet-pilte.com

MOE plomb

ANTEA™ GROUP

Antony Parc I
2-6, place du Général de Gaulle - 92160 ANTONY
Tél. : 06 10 77 54 53
E-mail : maria-rosa.pira@anteagroup.com



OPC

SETEC OPENCY

Immeuble Central Seine

42-52, quai de la Rapée - CS 71230 – 75583 Paris Cedex 12

Tél. : 06 92 92 43 37

E-mail : dominique.bourde@setec.com

CSPS

APAVE Infrastructures et Construction France

Bâtiment Inspection

174, rue de Gautry - CS 70006 - St Cyr en Val

45075 Orléans Cedex 02

Tél. : 06 30 32 97 28

E-mail : vincent.guillet@apave.com



CATHÉDRALE
NOTRE-DAME DE PARIS

TRAVAUX DE RESTAURATION
POST-2024



RAPPORT DE PRÉSENTATION

DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES

Restauration du chevet

Février 2025



Maîtrise d'Ouvrage :

ETABLISSEMENT PUBLIC CHARGÉ DE
LA CONSERVATION ET DE LA
RESTAURATION DE LA CATHÉDRALE
NOTRE-DAME DE PARIS

2 bis Cité Martignac - 75007 Paris

Maîtrise d'Œuvre :

Philippe VILLENEUVE
Rémi FROMONT
Architectes en Chef des Monuments Historiques

Chantier Notre-Dame de Paris
Rue du Cloître Notre-Dame - 75004 Paris
Poste de sécurité - Porte P5
Tél. : 01 87 76 11 63
E-mail : notre-dame@villeneuve-acmh.fr

CATHÉDRALE
NOTRE-DAME DE PARIS

TRAVAUX DE RESTAURATION
POST 2024



PRÉSENTATION DE L'OPERATION

DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES

Restauration du chevet

Février 2025



Établissement public
chargé de la conservation et de la restauration
de la cathédrale Notre-Dame de Paris



Maîtrise d'Ouvrage :

ETABLISSEMENT PUBLIC CHARGE DE
LA CONSERVATION ET DE LA
RESTAURATION DE LA CATHEDRALE
NOTRE-DAME DE PARIS

Maîtrise d'Œuvre : A.C.M.H.

Philippe VILLENEUVE
Rémi FROMONT

Préambule

Le 15 avril 2019, un violent incendie embrasait la cathédrale Notre-Dame de Paris entraînant la disparition, dans les flammes, de la toiture du grand comble et de la flèche, l'effondrement partiel de plusieurs voûtes hautes et le déplaquage de nombreux parements en pierre de taille situés à proximité directe du foyer, du fait des températures extrêmement élevées. Dès le lendemain et pendant les mois qui suivirent le sinistre, l'édifice est sécurisé et une grande opération de reconstruction, destinée à réparer les désordres causés par le feu est lancée avec pour objectif, fixé par le Président de la République Emmanuel Macron, la réouverture au public et la pratique du Culte courant 2024.

Aujourd'hui le chantier de cette vaste opération est en cours. Néanmoins, la restauration de la cathédrale ne sera pas pour autant achevée à l'issue de ces cinq années puisque les parties non touchées par l'incendie n'auront pas été traitées.

Pour autant, avant le 15 avril 2019, plusieurs rapports rédigés par Philippe VILLENEUVE, ACMH en charge de la cathédrale, alertaient sur l'état de dégradation très important des élévations extérieures, posant des problématiques de sécurité (risque de chute de pierre) et de perte progressive des formes et de la matière historique et plus particulièrement de tout le décor et bestiaire faisant l'identité de l'édifice.

•

L'Etablissement Public souhaite poursuivre l'impulsion générée par l'après-sinistre pour reprendre le programme de restauration tel qu'il avait été défini avant 2019 en poursuivant les travaux, sans discontinuité après l'achèvement de l'opération de Reconstruction, permettant de mener à bien la restauration complète de la cathédrale.

Afin de conserver la dynamique développée entre 2019 et 2024 (mobilisation forte des différents intervenants, et notamment des entreprises Monuments Historiques), et éviter une dévaluation trop importante du reliquat de la souscription nationale, non dépensé au cours du chantier de Reconstruction, la maîtrise d'ouvrage souhaite que l'ensemble soit réalisé dans les délais les plus brefs possibles.

•

Après les travaux de reconstruction et de réparation des dégâts de l'incendie, l'Etablissement Public souhaite mener les travaux de traitement des pathologies urgentes de la cathédrale, avec un démarrage desdits travaux souhaités dès le second trimestre 2025.

Dans ce cadre, le programme de cette phase 3 comprend, la sous opération dont le présent dossier est l'objet concerne la restauration extérieure du chevet.

Ces travaux, déjà urgents avant que ne survienne l'incendie, avaient fait l'objet de plusieurs études, qui ont été interrompues par les travaux de reconstruction.



La présente étude se situe dans la continuité des études précédentes pour la reconstruction de la Cathédrale Notre-Dame de Paris et concerne la restauration des maçonneries, arcs boutants et décors sculptés, des couvertures en pierre plates et en plomb des parties basses, et des vitraux des réserves et des façades en retour à l'Est des transepts.

Elle présente les interventions de :

- La restauration des maçonneries des parements du chœur et des façades Est des transepts, au niveau des baies hautes, tribunes et chapelles ;
- La restauration des décors sculptés ;
- La restauration des arcs-boutants et culées, dont une partie en reconstruction, accompagné des évolutions des installations et moyens d'accès liés ;
- La restauration des couvertures des tribunes et terrasses hautes en dalles de pierre ;
- La réfection des couvertures en plomb des réserves du chœur, ainsi que le recollement et l'évacuation des eaux pluviales ;
- La restauration des vitraux et serrureries des réserves du chœur ;
- Les travaux de reprises de décors peints situés à l'extérieur du chevet ;
- La remise en état du dispositif du paratonnerre.

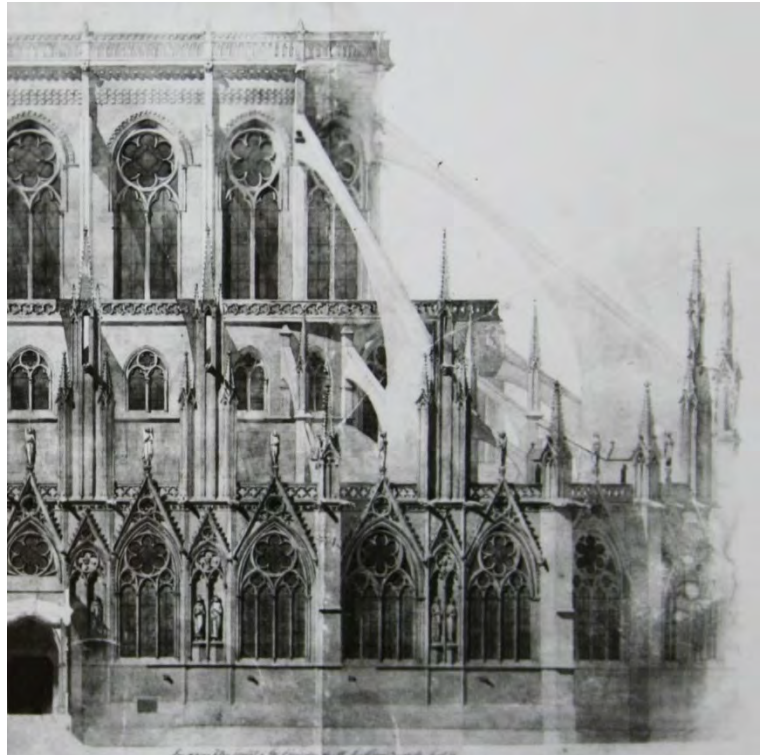
Ce dossier de consultation des entreprises présente par type d'ouvrage, un rappel des différents travaux menés depuis l'incendie, avant une présentation de l'ouvrage et de l'état sanitaire, ainsi qu'une description des interventions projetées.

Cette étude est complétée d'un rapport structurel concernant la restauration des arcs boutants, et la description des évolutions des installations et moyens d'accès. Les conditions de contrainte plomb font l'objet d'un rapport joint.

Cette étude comprend un cadre opérationnel définissant un allotissement ainsi qu'un calendrier détaillé.

1

Les chapelles



- 1- Définition des limites de l'opération
- 2- Description architecturale
- 3- Synthèse de l'Etat sanitaire
- 4- Interventions projetées
- 5- Moyens d'accès
- 6- La contrainte plomb



Sommaire

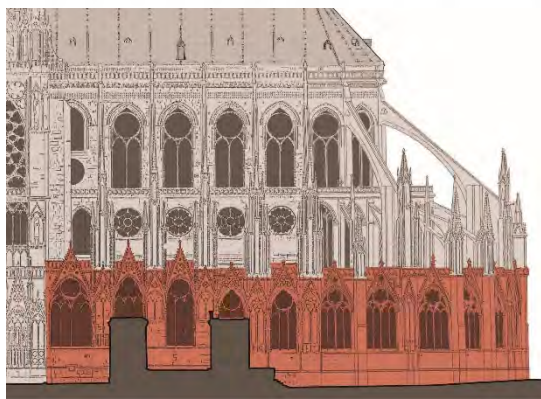
1 - DEFINITION DES LIMITES DE LA PRESENTE OPERATION.....	7
2 - DESCRIPTION ARCHITECTURALE.....	8
LES CHAPELLES DU DEAMBULATOIRE	9
<i>Type 1</i>	9
<i>Type 2</i>	9
3 - SYNTHESE DE L'ETAT SANITAIRE.....	11
PREAMBULE ET GENERALITES.....	11
ETAT SANITAIRE DES MAÇONNERIES	11
<i>Analyse des causes des altérations</i>	12
LES CHAPELLES DU CHŒUR.....	13
4 - INTERVENTIONS PROJETEES.....	15
TRAVAUX PREALABLES, EN COURS OU REALISES	15
<i>Travaux d'urgence - sécurisation</i>	15
<i>Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction</i>	15
PARTI DE RESTAURATION	16
INTERVENTIONS PROJETEES	17
<i>Déplombage et nettoyage</i>	17
<i>Restauration des maçonneries</i>	17
<i>Restauration des éléments sculptés</i>	20
<i>Restauration des peintures murales</i>	21
<i>Installation du paratonnerre</i>	21
5 - LES MOYENS D'ACCES ET PROTECTIONS DIVERSES.....	23
<i>Les moyens d'accès</i>	23
<i>Les protections</i>	23
6 - LA CONTRAINTE PLOMB.....	24



1 - Définition des limites de la présente opération

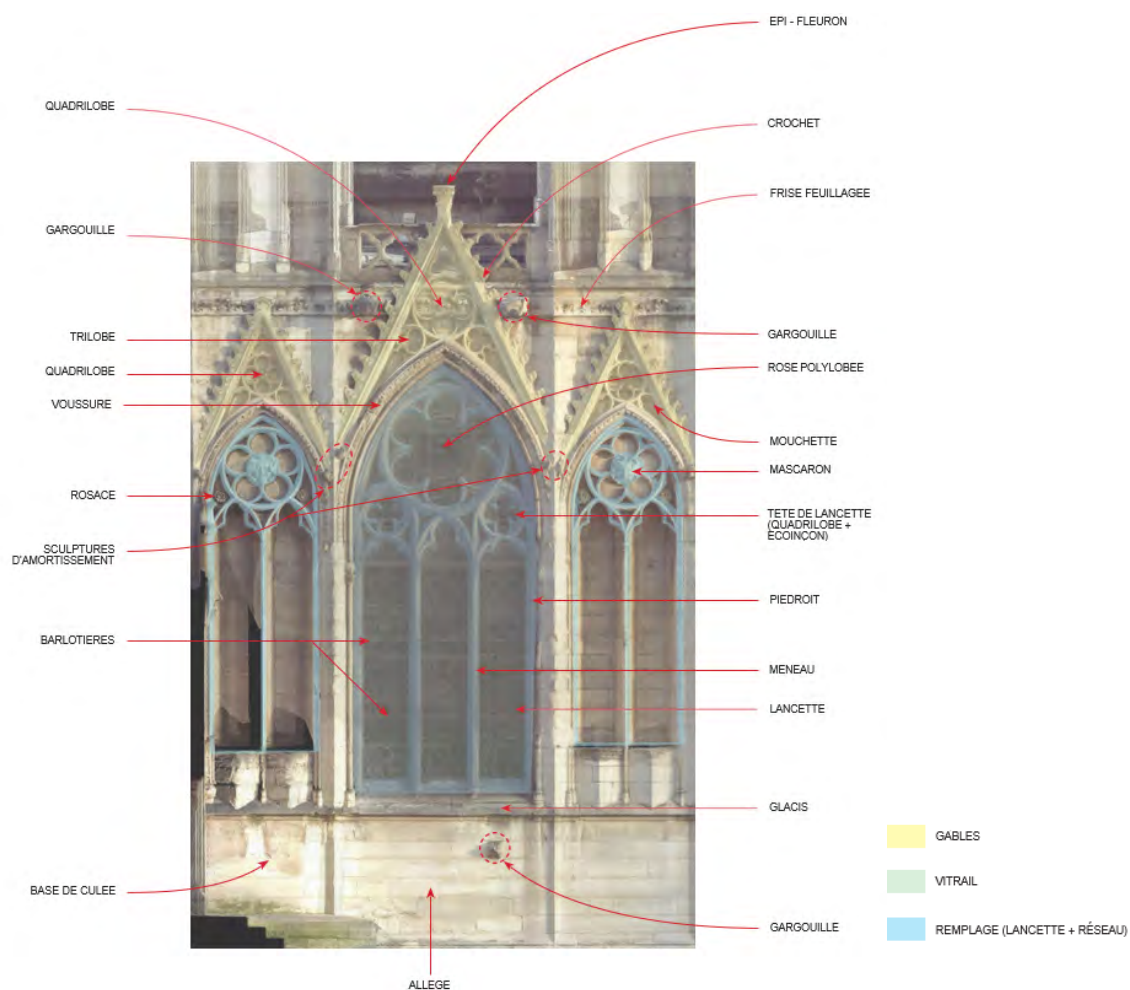
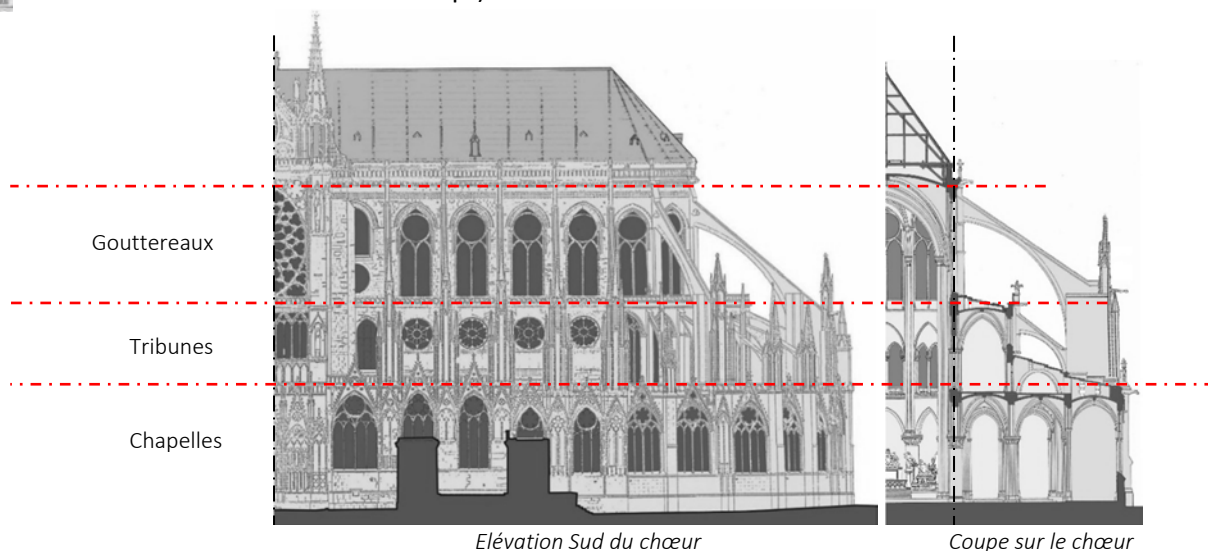
Une partie des maçonneries du chevet a fait l'objet des travaux de restauration lors de la phase de reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019. Il s'agit essentiellement des parties hautes et n'est par conséquent pas à prendre en compte. Ces travaux ont concerné :

- Les gardes corps du chemin de ronde qui ont été entièrement restaurés jusqu'au niveau de la frise de corniche, ainsi que les fleurons.
- Les pierres de jambage et de remplage des baies haute ont fait l'objet de remplacement et nettoyage, à l'occasion des travaux de restauration des vitraux des baies hautes.
- La couverture en dalle de pierre des chapelles a fait l'objet d'important travaux de restauration.
- Les pinacles situés au Nord (files F13, F15, F17 et F19) ont fait l'objet d'un remplacement d'urgence, dans leur partie supérieures.



2 - Description architecturale

Le chœur, dont le plan est constitué de deux travées sexpartites et d'une abside à cinq pans, offre, sur trois niveaux successifs, des élévations qui se développent en rayonnant autour du chevet. Au premier niveau, les chapelles du déambulatoire présentent ainsi 23 travées, celui des tribunes, 18 travées (sans les retours côté Est), et celui des gouttereaux, 15 (sans les retours Est des croisillons du transept).



Les chapelles du déambulatoire

La partie inférieure des élévations des travées correspond aux chapelles du chœur, construites entre les culées des arcs-boutants. Deux typologies de travées, correspondant à deux époques de construction distinctes, peuvent être identifiées.

Type 1

Entre 1250 et 1270, dans la continuité des chapelles de la nef, dont la construction vient de s'achever, des chapelles sont bâties entre les contreforts du chœur, au droit des quatre premières travées Nord (T15, T17, T19 et T21) et des trois premières travées Sud (T18, T20 et T22).

L'élévation de ces chapelles se compose d'un mur d'allège sur soubassement, surmonté d'un larmier filant sur toute la longueur de l'élévation, au-dessus duquel est percée une baie. Celle-ci se compose, en partie haute, d'une rose polylobée, et en partie basse, de deux lancettes sous-divisées en deux lancettes plus petites et d'un trilobe. Cette baie, dotée d'une voussure aux motifs végétaux, est surmontée d'un gâble passant, orné en son centre d'un quadrilobe ajouré autour duquel trois petites roses sont sculptées. A la naissance de chaque rampant rehaussé de crochets, une gargouille rejette les eaux de ruissellement accumulées entre le mur et le gâble. Un garde-corps à arcatures trilobées, posé sur une corniche formant larmier et soulignée par une frise sculptée de crochets, couronne l'élévation.



Gâble de la chapelle T12 (Type1)

Type 2

Entre 1296 et 1320, sous l'impulsion de l'évêque Simon de Bucy qui construit la chapelle d'axe pour accueillir sa sépulture, toutes les travées de l'abside et les travées droites restantes du chœur se voient, à leur tour, dotées de chapelles (T00 à T14).

Lors de cette campagne de construction, le modèle d'élévation établi quelques décennies plus tôt connaît une variation. Si le principe de composition reste similaire, les motifs ornementaux des principaux éléments sont modifiés. Ainsi, tous les trilobes (partie haute des lancettes des baies et garde-corps) sont remplacés par des quadrilobes et des figures historiées sont ajoutées à la naissance des voussures des baies. Le gâble est accolé à la façade, les deux gargouilles en

partie basse des rampants, n'ayant plus d'utilité, ne deviennent plus que de simples ornements. La partie triangulaire du gâble, moins élancée, est, quant à elle, ajourée par un réseau complexe composé d'un quadrilobe inscrit dans un oculus, encadré par trois trilobes et deux mouchettes dans deux écoinçons inférieurs. Enfin, le fleuron ornant la partie sommitale du gâble est remplacé par un chapiteau polygonal à feuillages, sans doute destiné à recevoir une statue.



Gâble de la chapelle T18 (Type2)

On relève 3 exceptions dans la régularité des travées du chevet : la porte rouge (T17) et les travées (T16 et T20) ouvrant sur les galeries du cloître.

•

3 - Synthèse de l'état sanitaire

Préambule et généralités

La cathédrale a fait l'objet d'une vaste restauration menée au XIX^{ème} siècle, qui a touché toutes ses parties. Depuis, de nombreuses interventions, plus ponctuelles, ont été effectuées. Chacune y a apporté les matériaux, les méthodes et les partis de restauration propres à son époque.

Ces différentes interventions sur un monument qui reste malgré tout parfaitement médiéval, ont également provoqué en s'accumulant, et parfois en interférant les unes avec les autres, des désordres qui ont modifié les qualités des matériaux et provoqué des altérations plus ou moins graves et dangereuses pour la stabilité ou la conservation du monument.

La dernière campagne d'envergure menée sur la cathédrale fut la restauration du massif occidental, en vue des célébrations pour l'entrée dans le troisième millénaire (quoique les élévations Est et Nord de la tour Sud n'aient pas été traitées). La flèche constituait le dernier programme mis en œuvre, auquel allaient succéder celui du chevet et de la sacristie...

Avant l'incendie, en effet, une étude approfondie sur le chevet avait été menée. Elle avait notamment porté sur une culée et un arc boutant, ainsi que le mur gouttereau correspondant, estimés représentatifs des multiples pathologies repérées sur l'édifice. Cette étude a permis de déterminer la nature des différentes pierres, des joints et des mortiers de pose mis en œuvre par des prélèvements et des analyses, d'identifier les pathologies et d'en trouver les causes. Cette étude est donc toujours d'actualité et sert de référence à toute l'étendue du monument.

L'incendie survenu le 15 avril 2019 a interrompu les études alors en cours et a dirigé l'attention et les travaux vers les parties qui avaient été endommagées, qui ont été menées lors de la phase II.

Les chapelles du chevet n'ont pas été touchées par les suites de l'incendie. Cependant, les 5 années de chantier ont retardé les travaux d'entretien habituels et ont pu provoquer ou accélérer certaines pathologies.

Etat sanitaire des maçonneries

Les chapelles du chevet de la cathédrale présentent un état sanitaire général relativement mauvais.

Dans le cadre du DCE1 de la phase II, de légers travaux de reprise de solins des bas de pentes des gâbles ont été entrepris, afin de permettre l'assèchement des maçonneries pour les restaurations des décors peints intérieurs. Le reste des maçonneries n'a pas été traité et a dû par endroits subir des dégâts liés aux travaux de la phase II (bouchement de gargouille, altérations liées aux installations de chantier, etc...)

Les pathologies constatées sur les murs des chapelles du chevet sont relativement diverses, et sont les mêmes que celles constatées sur l'ensemble du monument :

Altérations de surface : sur la surface des pierres, on retrouve différentes pulvérulence et érosions, et desquamations qui sont des phénomènes évolutifs qui à terme entraînent la destruction de la pierre. Liées à la fois à l'exposition aux intempéries et au vent et à la composition de certains mortiers ayant servi pour les joints, ces pathologies sont omniprésentes sur les maçonneries des chapelles du chevet.



Altérations mécaniques : les altérations mécaniques présentes sur la cathédrale sont toutes également présentes sur les chapelles. Ainsi, on peut constater différentes fissures, fractures ou lacunes résultant de mouvements ou encore causées par l'exposition aux intempéries. Ces pathologies sont principalement présentes dans les parties ouvragées des maçonneries, notamment les sculptures et autres décors ornant les chapelles.

Altérations chromatiques : Des altérations chromatiques sont présentes sur les maçonneries des chapelles. On peut constater la présence de croûtes noires, issues essentiellement de la pollution atmosphérique. Également, des colonisations microbiologiques peuvent être observées sur certaines parties des maçonneries, notamment celles situées du côté Nord, ou encore sur les surfaces ouvragées des décors. Un certain nombre de traces de ruissellement sont également visibles sur les maçonneries.

Analyse des causes des altérations

Les principaux désordres affectant les maçonneries de la cathédrale sont dus à plusieurs raisons : d'une part, les multiples campagnes de restauration de la cathédrale, et, d'autre part, l'usure des matériaux liée aux conditions et phénomènes climatiques, ainsi qu'à l'orientation et l'exposition de certaines parties de l'édifice.

Les campagnes successives de restauration ont multiplié les techniques et méthodes de mise en œuvre ainsi que les différents matériaux utilisés.

On note notamment que la composition des mortiers de pose et de joint est relativement variée, et que la plupart de ceux mis en œuvre au XIX^{ème} siècle comportent une grande quantité de plâtre, qui en présence d'eau accélère l'apparition de sels.

Les restaurations menées au cours du XX^{ème} siècle quant à elles ont souvent mis en œuvre un mélange de chaux et de ciment (mortier bâtard), voire de ciment avec du sable.

La forte teneur en sels de tels mortiers, leur dureté et leur imperméabilité supérieures à celle des pierres environnantes qui, de fait, sont les seules voies possibles à leur migration et à leur précipitation, ont accéléré les phénomènes de dégradation des pierres.

Également, la multiplicité des natures de pierres employées dans les différentes campagnes de restauration a pu entraîner diverses pathologies. Notamment, on a pu constater l'accélération de certains désordres, en raison de duretés ou porosités différentielles au sein d'un même parement.

D'anciens traitements de consolidation ont également été constatés sur les parements, confirmés par le journal des travaux de Viollet-le-Duc. Cette silicatisation générale des parements a eu lieu entre 1853 et 1862.

Ce traitement, appliqué probablement sur l'ensemble des parements au XIX^{ème} siècle, n'est aujourd'hui plus que partiellement présent sur les zones abritées et encrassées. De par sa composition, ce procédé entraîne l'hydrofugation de la pierre en créant sur le parement un film étanche et peut être source de sels polluants. Il est donc finalement néfaste à la bonne conservation des parements.

Malheureusement, il n'existe actuellement aucune solution permettant d'éliminer un traitement de consolidation : intimement lié à l'épiderme de la pierre, ce traitement ne peut être retiré sans abîmer la surface du support.

Enfin, les intempéries sont largement responsables de la plupart des dégradations observées.

Les intempéries, le ruissellement ou la stagnation des eaux de pluie, les vents, parfois les tempêtes, l'humidité ou la sécheresse, le gel, le brouillard... tous ces éléments interfèrent dans la conservation du monument.

Les vents dominants et les pluies sont orientés suivant l'axe Sud-Ouest. Une corrélation entre l'action des vents dominants et les pluies orientés Sud-ouest, et le degré d'usure des parements est clairement identifiable : les élévations Sud du chevet et les faces Ouest des arcs-boutants présentent des altérations plus importantes (pierres desquamées, lessivées, etc.) que celles exposées au Nord et à l'Est (pierres plus encrassées, colonisées par les mousses et lichens mais en meilleur état). Enfin, les variations de températures sont plus importantes du côté Sud du fait de l'ensoleillement qui succède aux nuits parfois froides, provoquant des chocs thermiques sur les pierres., ce qui n'est pas le cas au Nord.

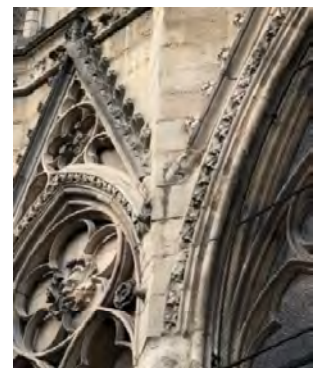
Fragiles, saillants et exposés de toutes parts, les décors sculptés sont souvent altérés. Or, par exemple, les gargouilles dont le rôle est précisément d'éloigner les eaux de pluie, sont parfois brisées et contribuent à leur tour à détériorer les maçonneries. De même, lorsqu'un larmier est épauféré, l'eau ruisselle et ronge progressivement les sculptures des corniches.

Les chapelles du chœur

Les principaux désordres affectant les chapelles concernent essentiellement leurs décors sculptés. Ainsi, nombre d'entre eux sont aujourd'hui manquants ou incomplets comme à la naissance des voûtures ou sur les rampants des gâbles. On a pu constater que les colonnettes des baies exposées au Sud-Ouest sont systématiquement altérées.

En partie haute, plusieurs pierres de larmiers des corniches sont dégradées et la frise végétale qui les supporte présente des zones parfois très érodées.

Les gâbles sont souvent incomplets, des crochets ou fleurons ayant disparu et les décors végétaux ornant les voûtures des baies sont parfois très érodés ou lacunaires. Plusieurs éléments de garde-corps sont très altérés, voire manquants et ont parfois été remplacés par des panneaux de bois ajourés. De nombreuses gargouilles brisées ont été remplacées par des tubes en PVC.



En pied de façade, plusieurs pierres de soubassement sont desquamées sous les effets du rejaillissement des eaux de pluie sur le sol et nombre de piédroits séparant l'élévation de la chapelle de celle de l'arc-boutant sont en très mauvais état.

Font exception les décors sculptés de la porte rouge (travée T17) et les bas-reliefs situés au droit de certaines chapelles du côté Nord qui sont en bon état car ils ont fait l'objet de restaurations récentes.



•

4 - Interventions projetées

Travaux préalables, en cours ou réalisés

Travaux d'urgence - sécurisation

Le chevet a été échafaudés très rapidement après l'incendie.

Un plancher placé au-dessus des terrasses hautes des chapelles et a servi de support à un échafaudage de pied situé sur la face externe des gouttereaux, ainsi qu'aux cintres des arcs boutants.

Une purge des parements instables et une aspiration THE /HEPA visant à abaisser le taux de plomb sur les parements ont été réalisés au sein de la phase 2.

Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction

- *Maçonnerie*

Les parties hautes de l'édifice ayant particulièrement souffert du feu, les murs bahuts ainsi que le chemin de ronde et son garde-corps, jusqu'au niveau du larmier sous de la frise à crochets (comprise) ainsi que le chaînage métallique d'Eugène Viollet-le-Duc, ont été restaurés au sein de la campagne de travaux de « Reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019 ». La corniche à trois niveaux de denticules n'a pas fait l'objet d'intervention à ce jour.

Quelques rejointoiements ponctuels afin de stopper les infiltrations intempestives dans la cathédrale, ont été réalisés notamment au droit du bras de transept Sud.

En phase sécurisation, les baies des murs gouttereaux ont été étrépillonnées afin de rigidifier les maçonneries. Les réseaux et encadrement en pierre de taille baies hautes, au contact immédiat des verrières de vitrail ont fait l'objet d'une restauration.

Quatre pinacles en état d'urgence ont aussi été restaurés dans cette première campagne de travaux (culées des arcs-boutants Nord F13, F15, F17 et F19) jusqu'au niveau des garde-corps

Une partie des sculptures en état instable ont été déposées et stockées au lendemain de l'incendie, dans les dépôts lapidaires de Villacoublay et Saint-Witz. Neuf fleurons se trouvent dans le dépôt lapidaire, probablement déposés avant incendie. Leur emplacement n'étant pas connu, il conviendra de procéder à un repérage ultérieurement.

- *Chapelles*

Les élévations extérieures des chapelles n'ont pas fait l'objet de travaux durant la phase II. Seule la travée 15, dans laquelle se situe la chapelle ayant servi de chapelle « test » a fait l'objet d'essais de nettoyage et d'adaptation des évacuations des eaux pluviales (la raquette de la baie a également été remplacée). Les travaux réalisés dans le cadre du DCE1 ont permis la révision et la reprise de certains amortissements de gâbles de façade afin de faciliter l'écoulement des eaux pluviales également.

Parti de restauration

Les principes de restauration qui ont été mis au point lors de l'étude menée en 2015 sur une travée test du chevet (travée 10), ont été développés lors des travaux de restauration et seront à appliquer pour les travaux prévus sur la totalité du chevet. La phase de sécurisation a en outre permis la réalisation d'essais sur une chapelle test, côté Nord du chœur.

Les prélèvements, analyses et essais réalisés, ainsi que les recherches en carrière de pierres de substitution, ont permis d'élaborer une méthode que nous généraliserons dans son principe.

Un relevé complet des calepinages et des maçonneries sera à réaliser avant toute intervention.

Nous donnerons ci-après, par localisation, les principales prestations à réaliser dans le cadre de l'opération « Post 2024 ». Seront systématiquement compris dans cette opération les retours des bras de transept (Élévation Est des croisillons Nord et Sud), selon ce même découpage.

- **Les élévations des gouttereaux**

- Les travaux comprendront :

- L'achèvement des travaux entrepris en phase 2 : le nettoyage et la restauration des parements en pierre de taille des gouttereaux du vaisseau principal, exception faite des encadrements de baies, et les parties maçonnées accessibles depuis l'échafaudage. Les zones concernées par les travaux de cette phase sont par conséquent les dossierets des arcs-boutants et les parties maçonnées situées sous le niveau du platelage mis en place sur les couvertures des tribunes. Les parties supérieures (garde-corps, larmier et corniche à crochet) ont été restaurés pendant la campagne de travaux de reconstruction.

- **Les arcs boutants et leurs culées**

- Les travaux comprendront :

- le nettoyage et la restauration des volées des arcs-boutants et leurs culées au Nord (F21, F17, F15, F11 et F09) et au Sud (F12, F16, F18 et F20) dont l'état de conservation est plus satisfaisant.
- la reconstruction des volées des arcs-boutants et leurs culées au Nord : F19 et F13 et au Sud F14 et F22
- la reconstruction des volées des arcs boutants et leurs culées à l'Est, F03, F04 et F10
- la restauration des arcs boutants à simple volées et leurs culées à l'Est, F01, F02, F05, F06, F07 et F08

- **les tribunes**

- Les travaux comprendront :

- le nettoyage et la restauration des élévations des tribunes, garde-corps compris ;
À noter : les fleurons des garde-corps des terrasses hautes ont été déposés dans le cadre des travaux de sécurisation de la cathédrale pour permettre l'installation des cintres des arcs-boutants et ont été stockés dans un local provisoire. L'entreprise en charge de ces ouvrages devra leur récupération, l'établissement d'un état sanitaire complet et, en lien avec l'ACMH, la proposition d'un programme de travaux (restauration ou réfection à neuf selon leur état de conservation) ;
- la restauration en atelier des panneaux de vitraux et armatures des baies des tribunes ;



- les toitures terrasses en pierre des tribunes au niveau supérieur, initialement prévues au sein du chantier de « Reconstruction »- DCE5, seront réalisés après dépose des cintres et planchers ;

- **Les réserves**

- Les travaux comprendront :

- Extérieur*

- le nettoyage et la restauration des élévations des réserves
- les couvertures des réserves en plomb

- **Les élévations des chapelles**

- Les travaux comprendront :

- le nettoyage et la restauration des élévations des chapelles toutes hauteurs, compris des reprises ponctuelles en intérieurs, lors du remplacement de pierres d'encadrement de baies ;
- le chemisage en plomb des chéneaux et gargouilles. Dans ce cadre, sera également entrepris les modifications très ponctuelles des chéneaux alimentant les deux gargouilles recrachant les eaux pluviales récoltées dans l'espace public, côté rue du cloître. Ces dernières seront, par le reprofilage de contre-pente, condamnées et les eaux seront renvoyées vers d'autres gargouilles.

- Dans le cadre de l'opération de reconstruction, ont déjà été traités :

- les toitures-terrasses en pierre des chapelles.
- Une partie des améliorations des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales au droit des gâbles des élévations des chapelles.

Interventions projetées

Déplombage et nettoyage

Avant toute opération de nettoyage et de restauration, le plomb déposé sur les maçonneries sera supprimé par aspiration THE.

A ce procédé, succédera, pour les zones présentant des dépôts de croûtes noires, un nettoyage complémentaire par micro-abrasion. Un média de type « archifine » sera employé pour les parements unis tandis qu'un média dur type « corindon » sera privilégié pour les parements moulurés et sculptés. Le diagnostic établi en 2015 avait permis de mettre en évidence qu'un nettoyage par micro-abrasion permettait de réduire de près d'un tiers la pollution au plomb des parements.

Restauration des maçonneries

Le choix des pierres de substitution

Le choix des pierres de substitution est un des problèmes cruciaux de cette vaste campagne de restauration et de reconstruction qui s'annonce. La multiplicité des pierres mises en œuvre depuis le XIX^{ème} siècle, ainsi que les mortiers utilisés, sont la principale cause des dégradations observées.



Les natures des pierres mises en œuvre dans la cathédrale sont connues par le biais des attachements figurés, couplés par les analyses qui ont été menées sur différents échantillons.

Les carrières ayant servi tant à la construction de la cathédrale à l'époque médiévale, qu'à sa restauration par Viollet-le-Duc au XIX^{ème} siècle ne sont pour la plupart plus en activité. La restauration de la cathédrale nécessitant un volume important de pierre neuve, il a fallu déterminer les possibilités qui existaient de remplacement ou substitution de pierres. Une mission réalisée par le BRGM a permis de recenser les carrières susceptibles de correspondre le mieux aux maçonneries de la cathédrale, tant d'un point de vue esthétique que mécanique.

Le rapport établi par la BRGM a permis de sélectionner les pierres utilisées en remplacement dans la phase de reconstruction suite à l'incendie.

Il a permis de compléter les investigations menées par le LRMH et l'entreprise ECMH sur l'arc-boutant G10, dans le cadre de l'étude de diagnostic d'octobre 2015 portant sur la restauration du chevet ¹. Également, l'expérience des travaux réalisés en phase II a permis d'affiner le choix de certaines natures de pierre.

Les pierres de substitution envisagées sont les suivantes :

- la pierre dure H4 de la carrière de la Croix Huyart (Aisne) pour les claveaux ou les pierres recevant une charge et une pression importante, ainsi que pour les pierres particulièrement soumises aux intempéries et au ruissellement (fleurons, gargouilles et glacis),
- la pierre Banc 3 de Saint-Maximin (Oise), ou la roche franche construction de Saint-Maximin (Oise), pour les maçonneries de remplissage, les murs gouttereaux, ainsi que les culées des arcs-boutants ;
- la pierre franche fine de la carrière de Saint Maximin (Oise) ou la H4 demi dure de la Croix Huyart pour les élévations des tribunes et des chapelles ;
- Le petit liais de Saint Maximin, qui présente des caractéristiques mécaniques et esthétiques proches de celles de la H4 dure de la Croix Huyart, pour les parties exposées
- Le liais de Saint Maximin a également été prescrit pour les éléments en fort dévers, et très exposé comme les dalles de couverture ou les gargouilles.

Le changement de pierres

De manière générale, on conservera évidemment le plus de pierres possibles. Seules celles qui, du fait de leur fragilisation et de la perte de leurs qualités structurelles, ne peuvent plus assurer la solidité de l'ouvrage, seront remplacées.

Selon le cas de figure, le remplacement de pierres altérées pourra répondre à deux critères distincts. Le premier consistera à privilégier la conservation du matériau originel (notamment pour les parties sculptées ou moulurées). Pour ce faire, on privilégiera, dans la mesure du possible, le recours aux greffes ou aux bouchons lorsque la pierre ne sera que partiellement altérée et que son état ne remettra pas en question la stabilité de l'ouvrage. Un joint marbrier réduira visiblement la jonction entre la partie ancienne et nouvelle. Le second, privilégiera, dans

¹ Cathédrale Notre-Dame de Paris - Diagnostic complémentaire - Restauration des arcs-boutants et des murs gouttereaux du chevet - Philippe Villeneuve - Architecte en Chef des Monuments Historiques - Octobre 2015
CATHÉDRALE NOTRE-DAME DE PARIS – Travaux de restauration post-2024

DCE – Restauration du chevet

Philippe VILLENEUVE, Rémi FROMONT, Architectes en Chef des Monuments Historiques

Février 2025



des cas particuliers, la conservation du calepin à celui de la matière ancienne et la pierre altérée sera remplacée dans son intégralité.

Afin d'harmoniser les pierres neuves avec les parements existants, on les vieillira manuellement à l'outil et elles pourront ponctuellement recevoir un badigeon léger d'harmonisation à base de lait de chaux. Un traitement biocide préventif sera appliqué sur les parties les plus exposées aux intempéries.

Les ragréages

On aura recours au ragréage avec parcimonie, afin d'éviter les grandes surfaces, dont on sait qu'elles ne se comportent pas comme les pierres, tant sur le plan esthétique (tendance à absorber davantage les salissures et la poussière que les pierres) que structurel. On utilisera un mortier de type Altar, selon les conclusions de l'étude de 2015 et les travaux menés pour la reconstruction.

Avant toute opération de consolidation ou ragréage, si la présence de sels est soupçonnée, les parements seront préalablement dessalés à l'aide de compressees (1 vol. de cellulose / 1 vol. de sable / 2 vol. d'attapulgit) appliquées à la main en deux ou trois passes. Un travail de teinte (aspect des grains, coloration du mortier, veines d'oxydes de fer) et d'aspect (traitement des joints, finition coquillée, traces d'outils) sera réalisé afin d'harmoniser les surfaces ragréées et les épidermes de pierre conservés.

Les joints

Tous les parements seront déjointoyés sur 10 cm de profondeur minimum, afin de purger autant que possible les maçonneries des mortiers porteurs de sels.

Les maçonneries seront ensuite rejointoyées au mortier de chaux et de sable, à l'exclusion de tout autre adjuvant, exception faite des parties les plus exposées aux eaux de ruissellement (glacis, rigoles de récupération des eaux pluviales, etc.) qui seront traitées au mortier de chaux additionné d'hydrofuge.

La teinte et la granulométrie du mortier varieront afin que le résultat obtenu ne soit pas trop régulier.

Les garde-corps, gargouille, pinacles et fleurons

La stabilité et l'état de conservation des éléments de couronnement et de décors sculptés seront systématiquement vérifiés, notamment au niveau des pinacles, des édicules au-dessus des culées et des garde-corps.

Les garde-corps des tribunes et des terrasses basses seront vérifiés avec soin et sonnés. Les éléments seront posés et scellés au plomb, conformément à leur mise en œuvre originelle. Les gougeons de fers anciens seront alors réutilisés dans la mesure du possible.

Les fleurons qui surmontent ces garde-corps, qui ont été partiellement déposés, seront soit reposés, soit refaits à l'identique. Les photographies anciennes, voire certains dessins de Viollet-

le-Duc, et bien sûr, les éléments encore en place et en bon état de conservation, seront des guides précieux pour leur restitution.

Les pinacles des culées du chœur qui, pour certains ne sont plus que de simples pyramides, tronquées, dépourvues de la plupart de leurs crochets, ou dont les assises traversées par les rigoles des arcs-boutants ne sont plus tenues que par des frettages de sangles et de bois, seront démontés et refaits à l'identique.

Les gargouilles seront toutes systématiquement vérifiées, comme elles l'ont déjà été lors des travaux de sécurisation, et seront déposées en cas de fracture ou de fissure constatée. Selon le cas et l'état des pierres, on procédera à leur remplacement à neuf en totalité ou on aura recours à l'utilisation de greffes. Celles qui ont disparu seront restituées.

Les décors, crochets ou feuillages seront refaits à l'identique, par la mise en œuvre de bouchons de pierres, avec joints marbrier ou ordinaire, selon le cas.

Restauration des éléments sculptés

Les éléments sculptés, simplement décoratifs ou ayant une fonction comme l'évacuation de l'eau, et qui foisonnent un peu partout, sont souvent très altérés, rongés, fragiles et illisibles, quand ils n'ont pas tout simplement disparu. Ils seront restitués.

Le fond iconographique de la restauration du XIX^{ème} siècle étant conséquent, les propositions de restitution des éléments sculptés s'en inspireront pour établir une proposition de restitution pertinente. On pourra sans doute, dans une certaine mesure, vérifier si les dessins en notre possession, portant la mention « bon pour exécution » et une localisation, de la main de Viollet-le-Duc, correspondent bien à ce qui fut mis en place et, dans la mesure du possible, prévoir leur restitution exacte... Les sculptures lacunaires nécessitant des compléments pourront être traitées dans la loge de modelage mise à disposition des sculpteurs sur site. Après validation des modèles par la MOE, la sculpture sera réalisée dans les ateliers des entreprises.

Le remplacement des parties altérées sera effectué par greffe afin de conserver un maximum la matière ancienne. Les sculptures remplacées seront déposées avec soin pour être entreposées dans le dépôt désigné par la MOA. Les sculptures sur lesquelles des sels sont soupçonnés seront dessalées à l'aide de compresses selon le même protocole que les maçonneries. Un traitement de consolidation à base de silicate d'éthyle ou par bio-minéralisation pourra ensuite être appliqué sur les épidermes dessalés en cas de pulvérulence ou perte de cohésion légère en surface du parement. Des solins en mortier additionné de poussière de pierre seront mis en œuvre sur les fissurations et toutes les parties susceptibles de laisser l'eau pénétrer.

Sur le pourtour de l'abside, du côté nord (au droit des travées T09, T11 et T13), les sept bas-reliefs représentant pour deux d'entre eux des scènes de l'Ancien Testament et pour les cinq autres, l'histoire de la Vierge, et ayant fait l'objet d'une restauration récente, seront simplement dépoussiérés et ponctuellement consolidés si nécessaire. Une tête de personnage endommagée pendant la phase 2 pourra être restituée en accord avec la CRMH.

Interventions sur les façades des chapelles

Afin de pallier les défauts d'évacuation des eaux pluviales sur les façades des chapelles, différentes interventions sont prévues, dont certaines déjà mises en œuvre dans le cadre du chantier de la chapelle test Saint-Ferdinand.



Ainsi, différentes interventions sont envisagées pour permettre l'évacuation de l'eau. Des solins en mortier rétablissant une pente satisfaisante ont déjà été installés à l'amortissement des gâbles, dans le cadre de travaux d'entretien antérieurs. Ces solins seront vérifiés et réparés si nécessaire, et d'autres seront mis en place lorsque l'amortissement présente une surface susceptible de provoquer des stagnations d'eau. Ils seront réalisés en mortier de chaux hydrofuge.

Le percement éventuel des bases des gâbles est également possible, lorsque l'absence de gargouille entraîne la dégradation des maçonneries. Les carottages de 5cm de diamètre devront être réalisés à la mèche diamantée, et induire une pente suffisante afin de permettre un bon écoulement des eaux ruisselant sur les rampants de gâbles. Un tube inox pourra également être mis en place pour rejeter les eaux à bonne distance de la façade.

Restauration des peintures murales

Deux petits décors peints sont présents sur les culées des arcs-boutants 04 et 10. Il est prévu de les consolider et de les restaurer, sans restitution des parties lacunaires.

Pré-consolidation des parements

Avant toute opération d'aspiration (chapelles du chœur), les décors devront être pré-consolidés si nécessaire.

L'intervention consistera dans la protection des décors avant toute intervention sur la pierre par la mise en place temporaire de facings (papier et méthycellulose) sur la surface du mur.

Un recensement et un relevé précis (dessin à échelle 1, compris identification des couleurs et rapport photographique assureront une documentation de l'état des décors avant l'intervention des tailleurs de pierre.

Restauration des décors peints

Après assainissement des supports en pierre de taille, la restauration des décors peints sera menée. Les fragments altérés seront recollés et consolidés à l'aide d'un fixatif composé d'un adhésif et d'un dispersant, incolore et transparent, résistant à l'humidité et aux rayons ultraviolets.

Enfin, ravalement des couleurs et protection sera opéré par application de Paraloid B72 en solution à 2,5 % dans le xylène.

Aucune intervention ne sera autorisée en cas de manque d'information.

Une documentation précise de l'état avant et après intervention devra être soigneusement menée.

Installation du paratonnerre

Les installations du paratonnerre avaient été très endommagées par l'incendie avec la perte des pointes caprices de la flèche et du chevet ainsi que tous les conducteurs situés sur les couvertures de la flèche et du grand comble. Les travaux de la phase II ont permis la remise en état du système de protection de la cathédrale selon les dispositions qui avaient été prévues lors des travaux de mises en conformité effectués entre 2011 et 2013 et les conclusions du rapport de vérification de l'installation effectuées pendant les travaux de sécurisation. L'ensemble de l'installation est donc opérationnel. Cependant, les installations de chantier n'ont pas permis l'accès à une zone située au Nord Est du chevet (entre l'arc-boutant F09 et l'arc-boutant F04), sur laquelle une installation provisoire de bouclage en



piéd a été mise en place, et à la vérification de la conformité de la prise de terre située dans cette zone au droit de la file 04.

Par ailleurs, les installations (conducteurs et feuillards) présents sur les maçonneries du chevet feront l'objet d'une dépose et d'une repose par le lot paratonnerre, en accompagnement du lot 04 afin de permettre la restauration des parements et maçonneries, supports de ces installations.

Sont ainsi concernées : les maçonneries verticales des chapelles et maçonneries de couronnement des arcs-boutants, les maçonneries basses des pinacles entre couvrement des arcs-boutants et élévations de chapelles, les couvertures en pierre des terrasses basses le cas échéant, dans l'emprise des travaux au droit de l'arc boutant de la travée F09 (côté Nord-Est) et au droit de l'arc boutant F04 (côté Sud-Est) depuis le chemin de ronde jusqu'aux prises de terre situées au pied de l'édifice, au droit des travées 21 (côté Nord) et 22 (côté Sud) depuis l'arrivée des conducteurs depuis les maçonneries de l'élévation Est du transept sur les parements des terrasses et chapelles jusqu'aux prises de terre situées en pied d'édifice

À l'issue des travaux de restauration du chevet, après la dépose des échafaudages au droit des élévations des chapelles, les installations seront pérennisées sur la partie Nord-Est de l'édifice par la mise en place d'un conducteur définitif enterré permettant le bouclage complet autour de la cathédrale. Lors de ces travaux, les grilles de clôture rue du cloître Notre-Dame seront connectées à la liaison équipotentielle périphérique. L'achèvement de la mise en conformité de l'installation se fera par la vérification de la prise de terre située au droit de la file 04 (prise de terre n°6), la création d'une nouvelle prise de terre le cas échéant et la réalisation d'un regard de visite normatif au droit de la liaison entre les conducteurs de façade et la prise de terre.

Pour ce faire, les travaux concernant l'installation paratonnerre seront reportés sur deux lots : sur le lot 10_{CHVT} pour ce qui relève des travaux techniques spécifiques de l'installation proprement dite et sur le lot 04_{CHVT} pour ce qui concerne les déposes et poses des revêtements de sols (dallage et/ou pavage), les terrassements et remblaiements au droit de la prise terre nouvellement créée et du ceinturage entre les files 04 et 09. Les installations paratonnerre enterrées prendront place dans les dispositifs fournis et posés par ce même lot 04_{CHVT} : regard en béton et fourreau

●

5 - Les moyens d'accès et protections diverses

Les moyens d'accès

- **Les élévations des chapelles**
 - Des échafaudages au-devant des élévations des chapelles seront à prévoir, compris des sapines d'approvisionnement à intervalles réguliers.
 - Les approvisionnements pourront se faire par le biais de ces sapines ou à la grue, à condition que les survols de la cathédrale soit évité.

Les protections

- Des protections seront mises en place sur tous les éléments le nécessitant, notamment la baie de la chapelle 18 qui ne possède pas de grille de protection.
- Les éléments exceptionnels (porte rouge, bas-reliefs...) feront l'objet d'une attention particulière et d'une protection renforcée.

•

6 - La contrainte plomb

Contamination plomb

Les différentes campagnes de mesures surfaciques réalisées sur les façades extérieures du chevet de la Cathédrale ont mis en évidence la présence d'une contamination par les poussières de plomb qu'il nous appartient d'intégrer dans l'analyse des risques pour les futurs travaux.

Les résultats des tests affichent une contamination non homogène, non excessivement élevée, avec une valeur moyenne à 4 167 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ mais aussi avec des pics importants à 19 595 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ et à 13949 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ sur l'élévation sud du Chœur.

MESURES SURFACIQUES ELEVATIONS EXTERIEURES CHŒUR	
Localisation	Concentration plomb ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)
Elévation Chœur Nord	12271
Elévation Chœur Nord	5352
Elévation Chœur Nord	410
Elévation Chœur Nord	326
Elévation Chœur Nord	382
Elévation Chœur Nord	1978
Elévation Chœur Nord	1997
Elévation Chœur Est	7625
Elévation Chœur Est	2116
Elévation Chœur Est	738
Elévation Chœur Est	3880
Elévation Chœur Est	1402
Elévation Chœur Est	418
Elévation Chœur Sud	19595
Elévation Chœur Sud	920
Elévation Chœur Sud	13949
Elévation Chœur Sud	754
Elévation Chœur Sud	903

Le repérage des revêtements en plomb, réalisé à l'aide d'un appareil à fluorescence X, ne détecte sur les parements extérieurs aucune peinture au plomb ; du plomb métal est toutefois présent en scellement des pierres au niveau des joints coulés au plomb, au niveau des éclaboussures de plomb fondu suite à l'incendie, des chemisages des chéneaux et des couvertures en tables de plomb coulées sur sable.

La présence de plomb dans le périmètre d'intervention et le risque d'exposition à cet élément pour les intervenants de cette opération ont porté au choix d'imposer à ces travaux la même contrainte plomb que le chantier de reconstruction.

L'organisation envisagée prévoit de déployer, au niveau des installations chantier et des protections collectives mises en place, tous les moyens de prévention pour limiter le risque d'exposition au plomb :

Organisation du chantier

Chantier clos et indépendant avec une séparation étanche entre la zone chantier dite « zone sale » et la zone base vie dite « zone propre » et des unités de décontamination à l'humide (douches) situées en tampon entre la zone sale et la zone propre.

Conditions d'accès/sortie du chantier

Accueil sécurité avec sensibilisation plomb pour tous les intervenants y compris les visiteurs
Accès au site autorisé uniquement au personnel formé au risque plomb
Suivi individuel renforcé (SIR) avec contrôle plombémie sous avis du médecin du travail
Douche obligatoire à chaque sortie de la zone sale

Installations de chantier

Base vie avec vestiaire « sale » et vestiaire « propre » et attribution de double casier par opérateur
Equipe de nettoyage des parties communes du chantier à demeure sur place pour assainir et contrôler le niveau d'empoussièrement du chantier assurant les actions correctives nécessaires
Surveillance météorologique hebdomadaire pour contrôler l'évolution des taux de plomb

Organisation des travaux

Mode opératoire plomb à établir, précisant le choix des techniques moins émissives en poussières et les moyens mis en place pour éviter la dissémination de poussières
EPI plomb avec adaptation des protections respiratoires suivant résultats des contrôles VLEP

Gestion du matériel

Procédure de décontamination du matériel et des engins au jet d'eau avec récupération et traitement des effluents
Décontamination des éléments d'échafaudages
Gestion centralisée du nettoyage des EPI non jetables

Gestion des déchets solides et liquides

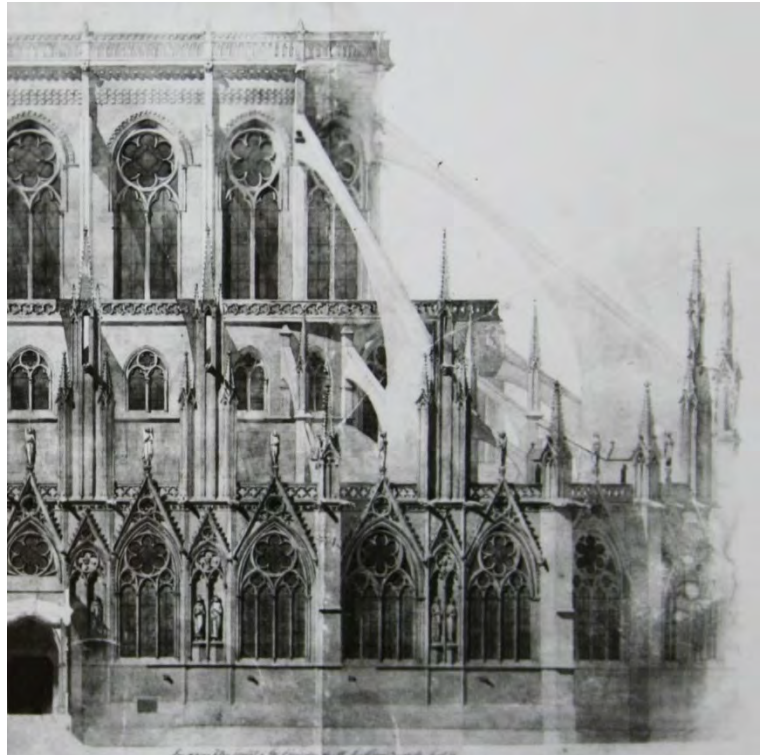
Caractérisation de chaque déchet solide issu de travaux par test de lixiviation
Caractérisation de chaque déchet liquide par analyse MES (Matière en Suspension) et teneur en plomb
Gestion centralisée des déchets solides et liquides du chantier par le titulaire du lot Installations chantier – Utilités plomb
Traitement des déchets solides du chantier par évacuation en ISDI (Installation de Stockage des Déchets Inertes), ISDND (Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux) et ISDD (Installation de Stockage des Déchets Dangereux)
Traitement des déchets liquides du chantier par décantation et filtration, avant rejet dans le réseau d'assainissement de la ville

• • •



2

Les tribunes



- 1- Définition des limites de l'opération
- 2- Description architecturale
- 3- Synthèse de l'Etat sanitaire
- 4- Présentation de l'opération
- 5- Moyens d'accès
- 6- La contrainte plomb





Sommaire

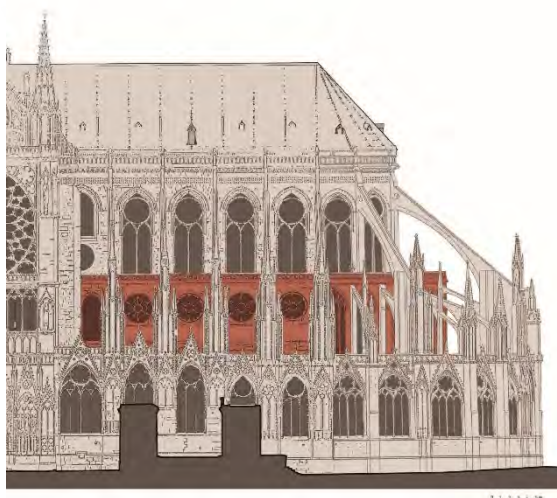
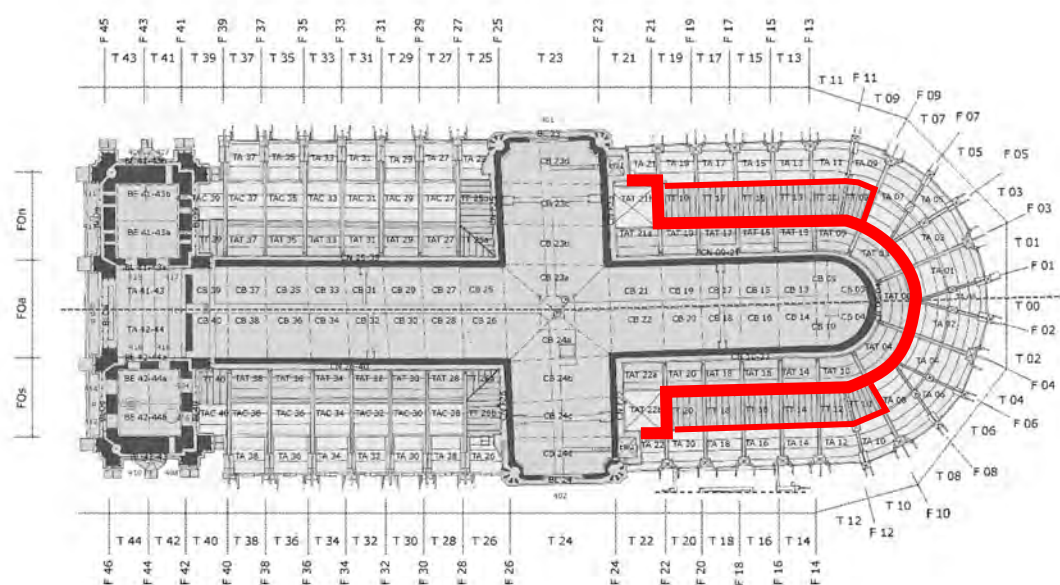
1 - DEFINITION DES LIMITES DE LA PRESENTE OPERATION.....	31
2 - DESCRIPTION ARCHITECTURALE.....	32
LES TRIBUNES.....	32
<i>Type 1</i>	33
<i>Type 2</i>	33
<i>Type 3</i>	34
<i>Type 4</i>	34
3 - SYNTHESE DE L'ETAT SANITAIRE.....	35
PREAMBULE ET GENERALITES.....	35
ETAT SANITAIRE DES MAÇONNERIES.....	35
<i>Analyse des causes des altérations</i>	36
4 - INTERVENTIONS PROJETEES.....	39
TRAVAUX PREALABLES, EN COURS OU REALISES.....	39
<i>Travaux d'urgence - sécurisation</i>	39
<i>Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction</i>	39
PARTI DE RESTAURATION.....	39
INTERVENTIONS PROJETEES.....	41
<i>Déplombage et nettoyage</i>	41
<i>Restauration des maçonneries</i>	41
<i>Restauration des éléments sculptés</i>	44
<i>Installation du paratonnerre</i>	44
5 - LES MOYENS D'ACCES ET PROTECTIONS DIVERSES.....	46
<i>Les moyens d'accès</i>	46
<i>Les protections</i>	46
6 - LA CONTRAINTE PLOMB.....	47



1 - Définition des limites de la présente opération

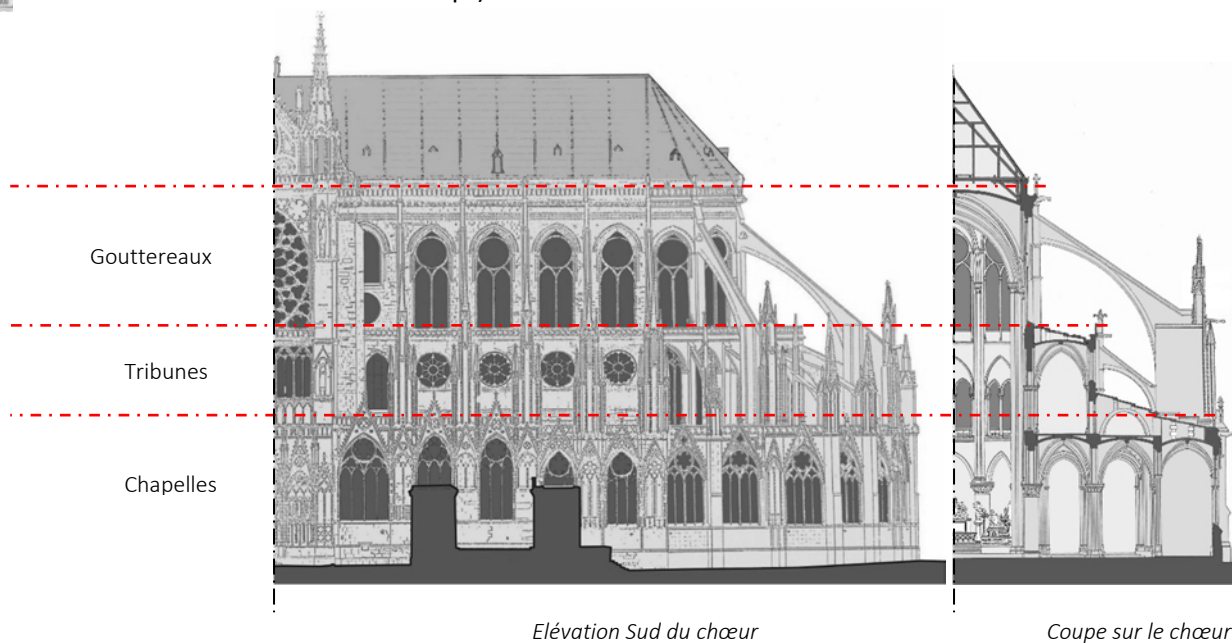
Une partie des maçonneries du chevet a fait l'objet des travaux de restauration lors de la phase de reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019. Il s'agit essentiellement des parties hautes et n'est par conséquent pas à prendre en compte. Ces travaux ont concerné :

- Les gardes corps du chemin de ronde qui ont été entièrement restaurés jusqu'au niveau de la frise de corniche, ainsi que les fleurons.
- Les pierres de jambage et de remplage des baies haute ont fait l'objet de remplacement et nettoyage, à l'occasion des travaux de restauration des vitraux des baies hautes.
- La couverture en dalle de pierre des chapelles a fait l'objet d'important travaux de restauration.
- Les pinacles situés au Nord (files F13, F15, F17 et F19) ont fait l'objet d'un remplacement d'urgence, dans leurs parties supérieures.



2 - Description architecturale

Le chœur, dont le plan est constitué de deux travées sexpartites et d'une abside à cinq pans, offre, sur trois niveaux successifs, des élévations qui se développent en rayonnant autour du chevet. Au premier niveau, les chapelles du déambulatoire présentent ainsi 23 travées, celui des tribunes, 18 travées (sans les retours côté Est), et celui des gouttereaux, 15 (sans les retours Est des croisillons du transept).



Les tribunes

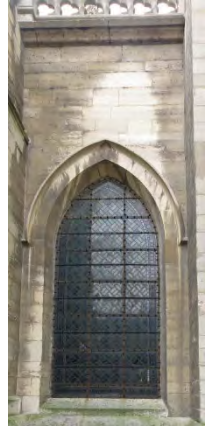
Les élévations extérieures des tribunes adoptent différentes typologies en fonction de leur situation, les baies les plus richement ornées se situant côté du rond-point. Comme pour le niveau inférieur, ces travées sont toutes couronnées d'un garde-corps constitué d'une suite de trilobes, interrompu, à chaque travée, par des dés de pierre couronnés de grands fleurons à deux niveaux de crochets, coiffés d'un bourgeon.



On distingue quatre types d'élévations :

Type 1

A la jonction du transept et des travées droites du chœur (T21 et T22), le mur est percé, au Nord comme au Sud, d'une simple grande baie en arc brisé, dépourvue de remplage. Aucun décor n'est présent sur ces travées.



Type 2

Les tribunes ouvrant sur le haut vaisseau sont situées à l'aplomb du premier déambulatoire. Au second déambulatoire sur lequel s'ouvrent les chapelles, correspond, aussi bien au Nord (T19, T17, T15, T13) qu'au Sud (T14, T16, T18 et T20), un petit appentis aveugle couvert d'une toiture en plomb au bas duquel un chéneau de pierre déverse les eaux dans un simple exutoire.

Les élévations extérieures des travées droites des tribunes (comprenant ainsi le retour du côté oriental) sont percées de roses alternant deux motifs de remplages. Autour d'un oculus rayonnant, tantôt douze rayons ornés de pointes de diamant prenant appui sur six arcs inversés prenant naissance sur le cercle de la rose, tantôt six colonnettes séparées par trois lobes ornés de bourgeons. Ces roses sont inscrites sous un arc de décharge au sommet duquel deux larges pierres ont été posées, rappelant les anciennes baies ayant précédé celles dessinées par E. Viollet-le-Duc.



Rose de la travée T16



Rose de la travée T18

Type 3

Les deux premières travées de la partie tournante de l'abside (T09 et T11 au Nord, T10 et T12 au Sud) sont, chacune, percées par une baie géminée, qu'une fine colonnette à chapiteau sépare, surmontée d'un petit quadrilobe percé dans la maçonnerie sous l'arc brisé qui réunit l'ensemble. Ici encore, il s'agit d'une création de Viollet-le-Duc.



Baie géminée

Type 4

Les six travées de l'abside (T01, T02, T03, T04, T07 et T08) sont, quant à elles, proches par leur composition des élévations des chapelles puisqu'elles sont constituées d'une grande verrière à remplage surmontée d'un gâble ajouré, à crochets (gâbles ajoutés par Eugène Viollet-le-Duc en référence à ceux des chapelles du chœur).



Baie du rond-point

3 - Synthèse de l'état sanitaire

Préambule et généralités

La cathédrale a fait l'objet d'une vaste restauration menée au XIX^{ème} siècle, qui a touché toutes ses parties. Depuis, de nombreuses interventions, plus ponctuelles, ont été effectuées. Chacune y a apporté les matériaux, les méthodes et les partis de restauration propres à son époque.

Ces différentes interventions sur un monument qui reste malgré tout parfaitement médiéval, ont également provoqué en s'accumulant, et parfois en interférant les unes avec les autres, des désordres qui ont modifié les qualités des matériaux et provoqué des altérations plus ou moins graves et dangereuses pour la stabilité ou la conservation du monument.

La dernière campagne d'envergure menée sur la cathédrale fut la restauration du massif occidental, en vue des célébrations pour l'entrée dans le troisième millénaire (quoique les élévations Est et Nord de la tour Sud n'aient pas été traitées). La flèche constituait le dernier programme mis en œuvre, auquel allaient succéder celui du chevet et de la sacristie...

Avant l'incendie, en effet, une étude approfondie sur le chevet avait été menée. Elle avait notamment porté sur une culée et un arc boutant, ainsi que le mur gouttereau correspondant, estimés représentatifs des multiples pathologies repérées sur l'édifice. Cette étude a permis de déterminer la nature des différentes pierres, des joints et des mortiers de pose mis en œuvre par des prélèvements et des analyses, d'identifier les pathologies et d'en trouver les causes. Cette étude est donc toujours d'actualité et sert de référence à toute l'étendue du monument.

L'incendie survenu le 15 avril 2019 a interrompu les études alors en cours et a dirigé l'attention et les travaux vers les parties qui avaient été endommagées, qui ont été menées lors de la phase II.

Les maçonneries des tribunes n'ont pas été touchées par les suites de l'incendie. Cependant, les 5 années de chantier ont retardé les travaux d'entretien habituels et ont pu provoquer ou accélérer certaines pathologies.

Etat sanitaire des maçonneries

Les maçonneries des tribunes (les vitraux sont présentés dans un autre chapitre) présentent un état sanitaire général relativement mauvais.

Lors de la phase de reconstruction de la cathédrale suite à l'incendie du 15 avril 2019, aucune intervention n'a concerné cette partie du monument.

Les pathologies constatées sur les murs des tribunes sont relativement diverses, et sont les mêmes que celles constatées sur l'ensemble du monument :

Altérations de surface : sur la surface des pierres, on retrouve différentes pulvérulence et érosions, et desquamations qui sont des phénomènes évolutifs qui à terme entraînent la destruction de la pierre. Liées à la fois à l'exposition aux intempéries et au vent et à la composition de certains mortiers ayant servi pour les joints, ces pathologies sont omniprésentes sur les maçonneries des tribunes.

Altérations mécaniques : les altérations mécaniques présentes sur la cathédrale sont toutes également présentes sur les murs des tribunes. Ainsi, on peut constater différentes fissures,

fractures ou lacunes résultant de mouvements ou encore causées par l'exposition aux intempéries. Ces pathologies sont principalement présentes dans les parties ouvragées des maçonneries, notamment les sculptures et autres décors ornant les baies.

Altérations chromatiques : Des altérations chromatiques sont présentes sur les maçonneries des tribunes. On peut constater la présence de croûtes noires, issues essentiellement de la pollution atmosphérique. Également, des colonisations microbiologiques peuvent être observées sur certaines parties des maçonneries, notamment celles situées du côté Nord, ou encore sur les surfaces ouvragées des décors. Un certain nombre de traces de ruissellement sont également visibles sur les maçonneries.

Analyse des causes des altérations

Les principaux désordres affectant les maçonneries de la cathédrale sont dus à plusieurs raisons : d'une part, les multiples campagnes de restauration de la cathédrale, et, d'autre part, l'usure des matériaux liée aux conditions et phénomènes climatiques, ainsi qu'à l'orientation et l'exposition de certaines parties de l'édifice.

Les campagnes successives de restauration ont multiplié les techniques et méthodes de mise en œuvre ainsi que les différents matériaux utilisés.

On note notamment que la composition des mortiers de pose et de joint est relativement variée, et que la plupart de ceux mis en œuvre au XIX^{ème} siècle comportent une grande quantité de plâtre, qui en présence d'eau accélère l'apparition de sels.

Les restaurations menées au cours du XX^{ème} siècle quant à elles ont souvent mis en œuvre un mélange de chaux et de ciment (mortier bâtard), voire de ciment avec du sable.

La forte teneur en sels de tels mortiers, leur dureté et leur imperméabilité supérieures à celle des pierres environnantes qui, de fait, sont les seules voies possibles à leur migration et à leur précipitation, ont accéléré les phénomènes de dégradation des pierres.

Également, la multiplicité des natures de pierres employées dans les différentes campagnes de restauration a pu entraîner diverses pathologies. Notamment, on a pu constater l'accélération de certains désordres, en raison de duretés ou porosités différentielles au sein d'un même parement.

D'anciens traitements de consolidation ont également été constatés sur les parements, confirmés par le journal des travaux de Viollet-le-Duc. Cette silicatisation générale des parements a eu lieu entre 1853 et 1862.

Ce traitement, appliqué probablement sur l'ensemble des parements au XIX^{ème} siècle, n'est aujourd'hui plus que partiellement présent sur les zones abritées et encrassées. De par sa composition, ce procédé entraîne l'hydrofugation de la pierre en créant sur le parement un film étanche et peut être source de sels polluants. Il est donc finalement néfaste à la bonne conservation des parements.

Malheureusement, il n'existe actuellement aucune solution permettant d'éliminer un traitement de consolidation : intimement lié à l'épiderme de la pierre, ce traitement ne peut être retiré sans abîmer la surface du support.

Enfin, les intempéries sont largement responsables de la plupart des dégradations observées.

Les intempéries, le ruissellement ou la stagnation des eaux de pluie, les vents, parfois les tempêtes, l'humidité ou la sécheresse, le gel, le brouillard... tous ces éléments interfèrent dans la conservation du monument.



Les vents dominants et les pluies sont orientés suivant l'axe Sud-Ouest. Une corrélation entre l'action des vents dominants et les pluies orientés Sud-ouest, et le degré d'usure des parements est clairement identifiable : les élévations Sud du chevet et les faces Ouest des arcs-boutants présentent des altérations plus importantes (pierres desquamées, lessivées, etc.) que celles exposées au Nord et à l'Est (pierres plus encrassées, colonisées par les mousses et lichens mais en meilleur état). Enfin, les variations de températures sont plus importantes du côté Sud du fait de l'ensoleillement qui succède aux nuits parfois froides, provoquant des chocs thermiques sur les pierres., ce qui n'est pas le cas au Nord.

Fragiles, saillants et exposés de toutes parts, les décors sculptés sont souvent altérés. Or, par exemple, les gargouilles dont le rôle est précisément d'éloigner les eaux de pluie, sont parfois brisées et contribuent à leur tour à détériorer les maçonneries. De même, lorsqu'un larmier est épaufré, l'eau ruisselle et ronge progressivement les sculptures des corniches.

Les tribunes

Les élévations des tribunes sont dans un état de conservation hétérogène en fonction de leur exposition.

Si les travées droites exposées au Nord sont en bon état de conservation, celles exposées au Sud concentrent un nombre plus élevé d'altérations. Les parements unis des travées droites exposés côté Seine présentent de nombreuses pierres desquamées, quelques éléments de remplages



des roses sont ponctuellement pulvérulents ou brisés et les larmiers des corniches ainsi que les garde-corps trilobés couronnant l'élévation sont parfois très altérés.

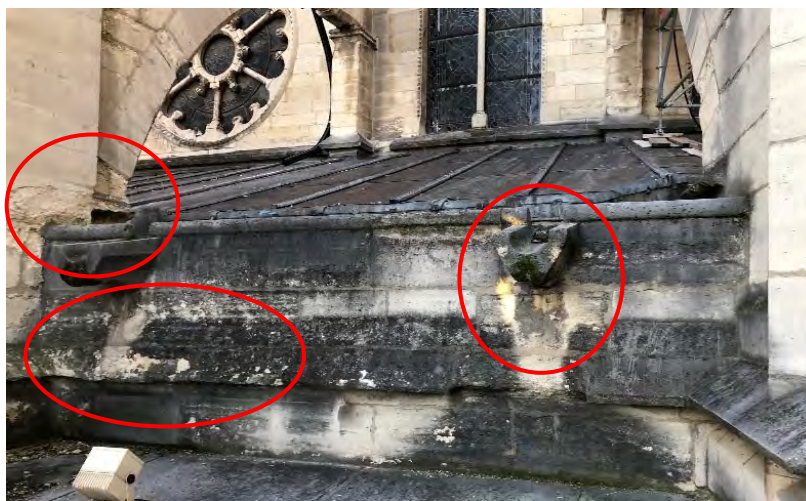


Au droit des travées du rond-point (type 4), les piédroits droits des baies exposés au Sud sont systématiquement altérés et les gâbles de trois travées d'entre-elles sont en assez mauvais état : plusieurs crochets et fleurons sont manquants dans les travées T04 et T08 et le réseau de celui coiffant la travée T03 est profondément érodé. Le revers des balustrades de ces six travées d'abside est, par ailleurs, pulvérulent.

Lors des travaux de sécurisation de la cathédrale au lendemain de l'incendie, les gros fleurons ornant le garde-corps trilobé durent être déposés en conservation pour permettre la mise sur cintre des arcs-boutants du chevet. Leur fragilité, du fait de leur multiple exposition explique leur état.

Enfin, les murets et exutoires recueillant les eaux pluviales des couvertures situées au-dessus du second déambulatoire sont en mauvais état, les eaux pluviales entraînant la desquamation de nombreuses pierres, tant de ces murets que des culées des grands arcs-boutants.

Les couvertures en plomb de ces appentis, posées sur une structure en pots de terre cuite hourdés au plâtre sur une structure de poutrelles métalliques, sont pour leur part en très mauvais état.



•

4 - Interventions projetées

Travaux préalables, en cours ou réalisés

Travaux d'urgence - sécurisation

Le chevet a été échafaudés très rapidement après l'incendie.

Un plancher placé au-dessus des terrasses hautes des chapelles et a servi de support à un échafaudage de pied situé sur la face externe des gouttereaux, ainsi qu'aux cintres des arcs boutants.

Une purge des parements instables et une aspiration THE /HEPA visant à abaisser le taux de plomb sur les parements ont été réalisés au sein de la phase 2.

Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction

- *Maçonnerie*

Les parties hautes de l'édifice ayant particulièrement souffert du feu, les murs bahuts ainsi que le chemin de ronde et son garde-corps, jusqu'au niveau du larmier sous de la frise à crochets (comprise) ainsi que le chaînage métallique d'Eugène Viollet-le-Duc, ont été restaurés au sein de la campagne de travaux de « Reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019 ». La corniche à trois niveaux de denticules n'a pas fait l'objet d'intervention à ce jour.

Quelques rejointoiements ponctuels afin de stopper les infiltrations intempestives dans la cathédrale, ont été réalisés notamment au droit du bras de transept Sud.

En phase sécurisation, les baies des murs gouttereaux ont été étrépillonnées afin de rigidifier les murs gouttereaux. Les réseaux et encadrement en pierre de taille baies hautes, au contact immédiat des verrières de vitrail ont fait l'objet d'une restauration.

Quatre pinacles en état d'urgence ont aussi été restaurés dans cette première campagne de travaux (culées des arcs-boutants Nord F13, F15, F17 et F19)

Une partie des sculptures en état instable ont été déposées et stockées au lendemain de l'incendie, dans les dépôts lapidaires de Villacoublay et Saint-Witz. Neuf fleurons se trouvent dans le dépôt lapidaire, probablement déposés avant incendie. Leur emplacement n'étant pas connu, il conviendra de procéder à un repérage ultérieurement.

Parti de restauration

Les principes de restauration qui ont été mis au point lors de l'étude menée en 2015 sur une travée test du chevet (travée 10), ont été développés lors des travaux de restauration et seront à appliquer pour les travaux prévus sur la totalité du chevet. La phase de sécurisation a en outre permis la réalisation d'essais sur une chapelle test, côté Nord du chœur.

Les prélèvements, analyses et essais réalisés, ainsi que les recherches en carrière de pierres de substitution, ont permis d'élaborer une méthode que nous généraliserons dans son principe.

Un relevé complet des calepinages et des maçonneries sera à réaliser avant toute intervention.

Nous donnerons ci-après, par localisation, les principales prestations à réaliser dans le cadre de l'opération « Post 2024 ». Seront systématiquement compris dans cette opération les retours des bras de transept (Élévation Est des croisillons Nord et Sud), selon ce même découpage.



- **Les élévations des gouttereaux**

- Les travaux comprendront :

- L'achèvement des travaux entrepris en phase 2 : le nettoyage et la restauration des parements en pierre de taille des gouttereaux du vaisseau principal, exception faite des encadrements de baies, et les parties maçonnées accessibles depuis l'échafaudage. Les zones concernées par les travaux de cette phase sont par conséquent les dossierets des arcs-boutants et les parties maçonnées situées sous le niveau du platelage mis en place sur les couvertures des tribunes. Les parties supérieures (garde-corps, larmier et corniche à crochet) ont été restaurés pendant la campagne de travaux de reconstruction.

- **Les arcs boutants et leurs culées**

- Les travaux comprendront :

- le nettoyage et la restauration des volées des arcs-boutants et leurs culées au Nord (F21, F17, F15 F11 et F09) et au Sud (F12, F16, F18 et F20) dont l'état de conservation est plus satisfaisant.
 - la reconstruction des volées des arcs-boutants et leurs culées au Nord : F19 et F13 et au Sud F14 et F22
 - la reconstruction des volées des arcs boutants et leurs culées à l'Est, F03, F04 et F10
 - la restauration des arcs boutants à simple volées et leurs culées à l'Est, F01, F02, F05, F06, F07 et F08

- **les tribunes**

- Les travaux comprendront :

- le nettoyage et la restauration des élévations des tribunes, garde-corps compris ;
À noter : les fleurons des garde-corps des terrasses hautes ont été déposés dans le cadre des travaux de sécurisation de la cathédrale pour permettre l'installation des cintres des arcs-boutants et ont été stockés dans un local provisoire. L'entreprise en charge de ces ouvrages devra leur récupération, l'établissement d'un état sanitaire complet et, en lien avec l'ACMH, la proposition d'un programme de travaux (restauration ou réfection à neuf selon leur état de conservation) ;
 - la restauration en atelier des panneaux de vitraux et armatures des baies des tribunes ;
 - les toitures terrasses en pierre des tribunes au niveau supérieur, initialement prévues au sein du chantier de « Reconstruction »- DCE5, seront réalisés après dépose des cintres et planchers ;

- **Les réserves**

- Les travaux comprendront :

Extérieur

- le nettoyage et la restauration des élévations des réserves
- les couvertures des réserves en plomb

- **Les élévations des chapelles**

- Les travaux comprendront :
 - le nettoyage et la restauration des élévations des chapelles toutes hauteurs, compris des reprises ponctuelles en intérieurs, lors du remplacement de pierres d'encadrement de baies ;
 - le chemisage en plomb des chéneaux et gargouilles. Dans ce cadre, sera également entrepris les modifications très ponctuelles des chéneaux alimentant les deux gargouilles recrachant les eaux pluviales récoltées dans l'espace public, côté rue du cloître. Ces dernières seront, par le reprofilage de contre-pente, condamnées et les eaux seront renvoyées vers d'autres gargouilles.
- Dans le cadre de l'opération de reconstruction, ont déjà été traités :
 - les toitures-terrasses en pierre des chapelles.
 - Une partie des améliorations des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales au droit des gâbles des élévations des chapelles.

Interventions projetées

Déplombage et nettoyage

Avant toute opération de nettoyage et de restauration, le plomb déposé sur les maçonneries sera supprimé par aspiration THE.

A ce procédé, succédera, pour les zones présentant des dépôts de croûtes noires, un nettoyage complémentaire par micro-abrasion. Un média de type « archifine » sera employé pour les parements unis tandis qu'un média dur type « corindon » sera privilégié pour les parements moulurés et sculptés. Le diagnostic établi en 2015 avait permis de mettre en évidence qu'un nettoyage par micro-abrasion permettait de réduire de près d'un tiers la pollution au plomb des parements.

Restauration des maçonneries

Le choix des pierres de substitution

Le choix des pierres de substitution est un des problèmes cruciaux de cette vaste campagne de restauration et de reconstruction qui s'annonce. La multiplicité des pierres mises en œuvre depuis le XIX^{ème} siècle, ainsi que les mortiers utilisés, sont la principale cause des dégradations observées.

Les natures des pierres mises en œuvre dans la cathédrale sont connues par le biais des attachements figurés, couplés par les analyses qui ont été menées sur différents échantillons.

Les carrières ayant servi tant à la construction de la cathédrale à l'époque médiévale, qu'à sa restauration par Viollet-le-Duc au XIX^{ème} siècle ne sont pour la plupart plus en activité. La restauration de la cathédrale nécessitant un volume important de pierre neuve, il a fallu déterminer les possibilités qui existaient de remplacement ou substitution de pierres. Une mission réalisée par le BRGM a permis de recenser les carrières susceptibles de correspondre le mieux aux maçonneries de la cathédrale, tant d'un point de vue esthétique que mécanique.

Le rapport établi par la BRGM a permis de sélectionner les pierres utilisées en remplacement dans la phase de reconstruction suite à l'incendie.

Il a permis de compléter les investigations menées par le LRMH et l'entreprise ECMH sur l'arc-boutant G10, dans le cadre de l'étude de diagnostic d'octobre 2015 portant sur la restauration du chevet ¹. Également, l'expérience des travaux réalisés en phase II a permis d'affiner le choix de certaines natures de pierre.

Les pierres de substitution envisagées sont les suivantes :

- La pierre dure H4 de la carrière de la Croix Huyart (Aisne) pour les claveaux ou les pierres recevant une charge et une pression importante, ainsi que pour les pierres particulièrement soumises aux intempéries et au ruissellement (fleurons, gargouilles et glacis),
- La pierre Banc 3 de Saint-Maximin (Oise), ou la roche franche construction de Saint-Maximin (Oise), pour les maçonneries de remplissage, les murs gouttereaux, ainsi que les culées des arcs-boutants ;
- La pierre franche fine de la carrière de Saint Maximin (Oise) ou la H4 demi dure de la Croix Huyart pour les élévations des tribunes et des chapelles ;
- Le petit liais de Saint Maximin, qui présente des caractéristiques mécaniques et esthétiques proches de celles de la H4 dure de la Croix Huyart, pour les parties exposées
- Le liais de Saint Maximin est également prescrit pour les éléments en fort dévers, et très exposé comme les dalles de couverture ou les gargouilles

Le changement de pierres

De manière générale, on conservera évidemment le plus de pierres possibles. Seules celles qui, du fait de leur fragilisation et de la perte de leurs qualités structurales, ne peuvent plus assurer la solidité de l'ouvrage, seront remplacées.

Selon le cas de figure, le remplacement de pierres altérées pourra répondre à deux critères distincts. Le premier consistera à privilégier la conservation du matériau originel (notamment pour les parties sculptées ou moulurées). Pour ce faire, on privilégiera, dans la mesure du possible, le recours aux greffes ou aux bouchons lorsque la pierre ne sera que partiellement altérée et que son état ne remettra pas en question la stabilité de l'ouvrage. Un joint marbrier réduira visiblement la jonction entre la partie ancienne et nouvelle. Le second, privilégiera, dans des cas particuliers, la conservation du calepin à celui de la matière ancienne et la pierre altérée sera remplacée dans son intégralité.

Afin d'harmoniser les pierres neuves avec les parements existants, on les vieillira manuellement à l'outil et elles pourront ponctuellement recevoir un badigeon léger d'harmonisation à base de lait de chaux. Un traitement biocide préventif sera appliqué sur les parties les plus exposées aux intempéries.

Les ragréages

On aura recours au ragréage avec parcimonie, afin d'éviter les grandes surfaces, dont on sait qu'elles ne se comportent pas comme les pierres, tant sur le plan esthétique (tendance à

¹ Cathédrale Notre-Dame de Paris - Diagnostic complémentaire - Restauration des arcs-boutants et des murs gouttereaux du chevet - Philippe Villeneuve - Architecte en Chef des Monuments Historiques - Octobre 2015
CATHÉDRALE NOTRE-DAME DE PARIS – Travaux de restauration post-2024

DCE – Restauration du chevet

Philippe VILLENEUVE, Rémi FROMONT, Architectes en Chef des Monuments Historiques

Février 2025

absorber davantage les salissures et la poussière que les pierres) que structurel. On utilisera un mortier de type Altar, selon les conclusions de l'étude de 2015 et les travaux menés pour la reconstruction.

Avant toute opération de consolidation ou ragréage, si la présence de sels est soupçonnée, les parements seront préalablement dessalés à l'aide de compresses (1 vol.de cellulose / 1vol.de sable / 2 vol. d'attapulgate) appliquées à la main en deux ou trois passes. Un travail de teinte (aspect des grains, coloration du mortier, veines d'oxydes de fer) et d'aspect (traitement des joints, finition coquillée, traces d'outils) sera réalisé afin d'harmoniser les surfaces ragréées et les épidermes de pierre conservés.

Les joints

Tous les parements seront déjointoyés sur 10 cm de profondeur minimum, afin de purger autant que possible les maçonneries des mortiers porteurs de sels.

Les maçonneries seront ensuite rejointoyées au mortier de chaux et de sable, à l'exclusion de tout autre adjuvant, exception faite des parties les plus exposées aux eaux de ruissellement (glacis, rigoles de récupération des eaux pluviales, etc.) qui seront traitées au mortier de chaux additionné d'hydrofuge.

La teinte et la granulométrie du mortier varieront afin que le résultat obtenu ne soit pas trop régulier.

Les garde-corps, gargouille, pinacles et fleurons

La stabilité et l'état de conservation des éléments de couronnement et de décors sculptés seront systématiquement vérifiés, notamment au niveau des pinacles, des édicules au-dessus des culées et des garde-corps.

Les garde-corps des tribunes et des terrasses basses seront vérifiés avec soin et sonnés. Les éléments seront posés et scellés au plomb, conformément à leur mise en œuvre originelle. Les gougons de fers anciens seront alors réutilisés dans la mesure du possible.

Les fleurons qui surmontent ces garde-corps, qui ont été partiellement déposés, seront soit reposés, soit refaits à l'identique. Les photographies anciennes, voire certains dessins de Viollet-le-Duc, et bien sûr, les éléments encore en place et en bon état de conservation, seront des guides précieux pour leur restitution.

Les pinacles des culées du chœur qui, pour certains ne sont plus que de simples pyramides, tronquées, dépourvues de la plupart de leurs crochets, ou dont les assises traversées par les rigoles des arcs-boutants ne sont plus tenues que par des frettages de sangles et de bois, seront démontés et refaits à l'identique.

Les gargouilles seront toutes systématiquement vérifiées, comme elles l'ont déjà été lors des travaux de sécurisation, et seront déposées en cas de fracture ou de fissure constatée. Selon le cas et l'état des pierres, on procédera à leur remplacement à neuf en totalité ou on aura recours à l'utilisation de greffes. Celles qui ont disparu seront restituées.

Les décors, crochets ou feuillages seront refaits à l'identique, par la mise en œuvre de bouchons de pierres, avec joints marbrier ou ordinaire, selon le cas.

Restauration des éléments sculptés

Les éléments sculptés, simplement décoratifs ou ayant une fonction comme l'évacuation de l'eau, et qui foisonnent un peu partout, sont souvent très altérés, rongés, fragiles et illisibles, quand ils n'ont pas tout simplement disparu. Ils seront restitués.

Le fond iconographique de la restauration du XIX^{ème} siècle étant conséquent, les propositions de restitution des éléments sculptés s'en inspireront pour établir une proposition de restitution pertinente. On pourra sans doute, dans une certaine mesure, vérifier si les dessins en notre possession, portant la mention « bon pour exécution » et une localisation, de la main de Viollet-le-Duc, correspondent bien à ce qui fut mis en place et, dans la mesure du possible, prévoir leur restitution exacte... Les sculptures lacunaires nécessitant des compléments pourront être traitées dans la loge de modelage mise à disposition des sculpteurs sur site. Après validation des modèles par la MOE, la sculpture sera réalisée dans les ateliers des entreprises.

Le remplacement des parties altérées sera effectué par greffe afin de conserver un maximum la matière ancienne. Les sculptures remplacées seront déposées avec soin pour être entreposées dans le dépôt désigné par la MOA. Les sculptures sur lesquelles des sels sont soupçonnés seront dessalées à l'aide de compresses selon le même protocole que les maçonneries. Un traitement de consolidation à base de silicate d'éthyle ou par bio-minéralisation sera ensuite appliqué sur les épidermes dessalés en cas de pulvérulence ou perte de cohésion légère en surface du parement. Des solins en mortier additionné de poussière de pierre seront mis en œuvre sur les fissurations et toutes les parties susceptibles de laisser l'eau pénétrer.

Installation du paratonnerre

Les installations du paratonnerre avaient été très endommagées par l'incendie avec la perte des pointes caprices de la flèche et du chevet ainsi que tous les conducteurs situés sur les couvertures de la flèche et du grand comble. Les travaux de la phase II ont permis la remise en état du système de protection de la cathédrale selon les dispositions qui avaient été prévues lors des travaux de mises en conformité effectués entre 2011 et 2013 et les conclusions du rapport de vérification de l'installation effectuées pendant les travaux de sécurisation. L'ensemble de l'installation est donc opérationnel. Cependant, les installations de chantier n'ont pas permis l'accès à une zone située au Nord Est du chevet (entre l'arc-boutant F09 et l'arc-boutant F04), sur laquelle une installation provisoire de bouclage en pied a été mise en place, et à la vérification de la conformité de la prise de terre située dans cette zone au droit de la file 04.

Par ailleurs, les installations (conducteurs et feuillards) présents sur les maçonneries du chevet feront l'objet d'une dépose et d'une repose par le lot paratonnerre, en accompagnement du lot 04 afin de permettre la restauration des parements et maçonneries, supports de ces installations.

Sont ainsi concernées : les maçonneries verticales des chapelles et maçonneries de couronnement des arcs-boutants, les maçonneries basses des pinacles entre couvrement des arcs-boutants et élévations de chapelles, les couvertures en pierre des terrasses basses le cas échéant, dans l'emprise des travaux au droit de l'arc boutant de la travée F09 (côté Nord-Est) et au droit de l'arc boutant F04 (côté Sud-Est) depuis le chemin de ronde jusqu'aux prises de terre situées au pied de l'édifice, au droit des travées 21 (côté Nord) et 22 (côté Sud) depuis l'arrivée des conducteurs depuis les maçonneries de l'élévation Est du transept sur les parements des terrasses et chapelles jusqu'aux prises de terre situées en pied d'édifice



À l'issue des travaux de restauration du chevet, après la dépose des échafaudages au droit des élévations des chapelles, les installations seront pérennisées sur la partie Nord-Est de l'édifice par la mise en place d'un conducteur définitif enterré permettant le bouclage complet autour de la cathédrale. Lors de ces travaux, les grilles de clôture rue du cloître Notre-Dame seront connectées à la liaison équipotentielle périphérique. L'achèvement de la mise en conformité de l'installation se fera par la vérification de la prise de terre située au droit de la file 04 (prise de terre n°6), la création d'une nouvelle prise de terre le cas échéant et la réalisation d'un regard de visite normatif au droit de la liaison entre les conducteurs de façade et la prise de terre.

Pour ce faire, les travaux concernant l'installation paratonnerre seront reportés sur deux lots : sur le lot 10_{CHVT} pour ce qui relève des travaux techniques spécifiques de l'installation proprement dite et sur le lot 04_{CHVT} pour ce qui concerne les déposes et poses des revêtements de sols (dallage et/ou pavage), les terrassements et remblaiements au droit de la prise terre nouvellement créée et du ceinturage entre les files 04 et 09. Les installations paratonnerre enterrées prendront place dans les dispositifs fournis et posés par ce même lot 04_{CHVT} : regard en béton et fourreau

•

5 - Les moyens d'accès et protections diverses

Les moyens d'accès

Dans le cadre de la sécurisation du monument, les moyens d'accès par échafaudages de pieds ont été disposés place au droit des murs gouttereaux du chœur, des planchers ont été mis en place au niveau des terrasses hautes du chœur pour permettre la fixation des cintres.

Dans le cadre de l'évolution des installations pour la phase 2 de Post 2024, une partie de ces installations seront maintenues jusqu'à la fin des opérations de la phase 2. Toutefois, le phasage des travaux impose une évolution des moyens d'accès en parallèle de l'évolution des restaurations.

- **les tribunes**

- Des échafaudages au-devant des élévations des tribunes seront à prévoir ;
- La dépose et pose des vitraux des tribunes se fera par l'intérieur pour les élévations Nord et Sud, par l'extérieur pour les baies des tribunes au niveau du « rond-point ». Des échafaudages intérieurs, au-devant de ces ouvrages seront à prévoir, en appui sur le sol des tribunes. L'évacuation et l'approvisionnement des caisses de vitraux devront se faire par l'extérieur afin d'éviter l'installation d'une sapine d'approvisionnement intérieur, jusqu'au niveau du rez-de-chaussée.
- Ces échafaudages devront être protégés pour satisfaire une exigence SS4 pour l'amiante. Des sas seront installés à l'intérieur pour les déposes Nord et Sud par l'intérieur, et à l'extérieur pour les baies du rond-point, qui seront déposées par l'extérieur.

- **Les réserves**

- Des échafaudages au-devant des élévations des murets soutenant l'égout des toitures des réserves seront à prévoir ; ils seront également utilisés pour les travaux de réfection des toitures en plomb.

- **Les levages**

- L'utilisation de la grue en survol de l'édifice ne sera possible qu'en dehors de heures d'ouverture de la cathédrale.

Les protections

Les protections à prévoir sur les tribunes concernent les éléments sculptés essentiellement, ainsi que les vitraux après leur remise en place. Les vitraux qui restent en place (jouées des réserves des tribunes) seront également à protéger.

•

6 - La contrainte plomb

Contamination plomb

Les différentes campagnes de mesures surfaciques réalisées sur les façades extérieures du chevet de la Cathédrale ont mis en évidence la présence d'une contamination par les poussières de plomb qu'il nous appartient d'intégrer dans l'analyse des risques pour les futurs travaux.

Les résultats des tests affichent une contamination non homogène, non excessivement élevée, avec une valeur moyenne à 4 167 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ mais aussi avec des pics importants à 19 595 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ et à 13949 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ sur l'élévation sud du Chœur.

MESURES SURFACIQUES ELEVATIONS EXTERIEURES CHŒUR	
Localisation	Concentration plomb ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)
Elévation Chœur Nord	12271
Elévation Chœur Nord	5352
Elévation Chœur Nord	410
Elévation Chœur Nord	326
Elévation Chœur Nord	382
Elévation Chœur Nord	1978
Elévation Chœur Nord	1997
Elévation Chœur Est	7625
Elévation Chœur Est	2116
Elévation Chœur Est	738
Elévation Chœur Est	3880
Elévation Chœur Est	1402
Elévation Chœur Est	418
Elévation Chœur Sud	19595
Elévation Chœur Sud	920
Elévation Chœur Sud	13949
Elévation Chœur Sud	754
Elévation Chœur Sud	903

Le repérage des revêtements en plomb, réalisé à l'aide d'un appareil à fluorescence X, ne détecte sur les parements extérieurs aucune peinture au plomb ; du plomb métal est toutefois présent en scellement des pierres au niveau des joints coulés au plomb, au niveau des éclaboussures de plomb fondu suite à l'incendie, des chemisages des chéneaux et des couvertures en tables de plomb coulées sur sable.

La présence de plomb dans le périmètre d'intervention et le risque d'exposition à cet élément pour les intervenants de cette opération ont porté au choix d'imposer à ces travaux la même contrainte plomb que le chantier de reconstruction.

L'organisation envisagée prévoit de déployer, au niveau des installations chantier et des protections collectives mises en place, tous les moyens de prévention pour limiter le risque d'exposition au plomb :

Organisation du chantier

Chantier clos et indépendant avec une séparation étanche entre la zone chantier dite « zone sale » et la zone base vie dite « zone propre » et des unités de décontamination à l'humide (douches) situées en tampon entre la zone sale et la zone propre.

Conditions d'accès/sortie du chantier

Accueil sécurité avec sensibilisation plomb pour tous les intervenants y compris les visiteurs
Accès au site autorisé uniquement au personnel formé au risque plomb
Suivi individuel renforcé (SIR) avec contrôle plombémie sous avis du médecin du travail
Douche obligatoire à chaque sortie de la zone sale

Installations de chantier

Base vie avec vestiaire « sale » et vestiaire « propre » et attribution de double casier par opérateur
Equipe de nettoyage des parties communes du chantier à demeure sur place pour assainir et contrôler le niveau d'empoussièrement du chantier assurant les actions correctives nécessaires
Surveillance météorologique hebdomadaire pour contrôler l'évolution des taux de plomb

Organisation des travaux

Mode opératoire plomb à établir, précisant le choix des techniques moins émissives en poussières et les moyens mis en place pour éviter la dissémination de poussières
EPI plomb avec adaptation des protections respiratoires suivant résultats des contrôles VLEP

Gestion du matériel

Procédure de décontamination du matériel et des engins au jet d'eau avec récupération et traitement des effluents
Décontamination des éléments d'échafaudages
Gestion centralisée du nettoyage des EPI non jetables

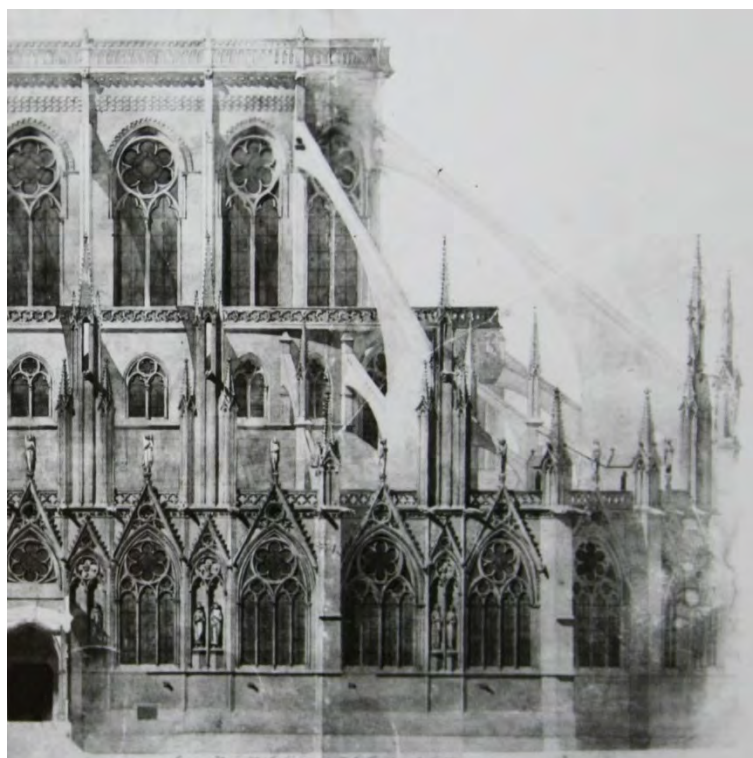
Gestion des déchets solides et liquides

Caractérisation de chaque déchet solide issu de travaux par test de lixiviation
Caractérisation de chaque déchet liquide par analyse MES (Matière en Suspension) et teneur en plomb
Gestion centralisée des déchets solides et liquides du chantier par le titulaire du lot Installations chantier – Utilités plomb
Traitement des déchets solides du chantier par évacuation en ISDI (Installation de Stockage des Déchets Inertes), ISDND (Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux) et ISDD (Installation de Stockage des Déchets Dangereux)
Traitement des déchets liquides du chantier par décantation et filtration, avant rejet dans le réseau d'assainissement de la ville

• • •

3

Les murs gouttereaux



- 1- Définition des limites de l'opération
- 2- Description architecturale
- 3- Synthèse de l'Etat sanitaire
- 4- Interventions projetées
- 5- Moyens d'accès
- 6- La contrainte plomb





Sommaire

1 - DEFINITION DES LIMITES DE LA PRESENTE OPERATION.....	53
2 - DESCRIPTION ARCHITECTURALE	54
LES GOUTTEREAUX ET LES BAIES HAUTES	54
3 - SYNTHESE DE L'ETAT SANITAIRE.....	56
PREAMBULE ET GENERALITES.....	56
ETAT SANITAIRE DES MAÇONNERIES	56
<i>Analyse des causes des altérations</i>	<i>57</i>
<i>Les murs gouttereaux et baies hautes.....</i>	<i>58</i>
<i>Les façades latérales du transept coté chœur au Sud</i>	<i>59</i>
<i>Les façades latérales du transept coté chœur au Nord</i>	<i>60</i>
4 - INTERVENTIONS PROJETEES.....	61
TRAVAUX PREALABLES, EN COURS OU REALISES	61
<i>Travaux d'urgence - sécurisation.....</i>	<i>61</i>
<i>Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction.....</i>	<i>61</i>
PARTI DE RESTAURATION	62
INTERVENTIONS PROJETEES	63
<i>Déplombage et nettoyage.....</i>	<i>64</i>
<i>Restauration des maçonneries</i>	<i>64</i>
<i>Installation du paratonnerre</i>	<i>66</i>
5 - LES MOYENS D'ACCES ET PROTECTIONS DIVERSES.....	68
<i>Les moyens d'accès.....</i>	<i>68</i>
<i>Les protections.....</i>	<i>68</i>
6 - LA CONTRAINTE PLOMB.....	69

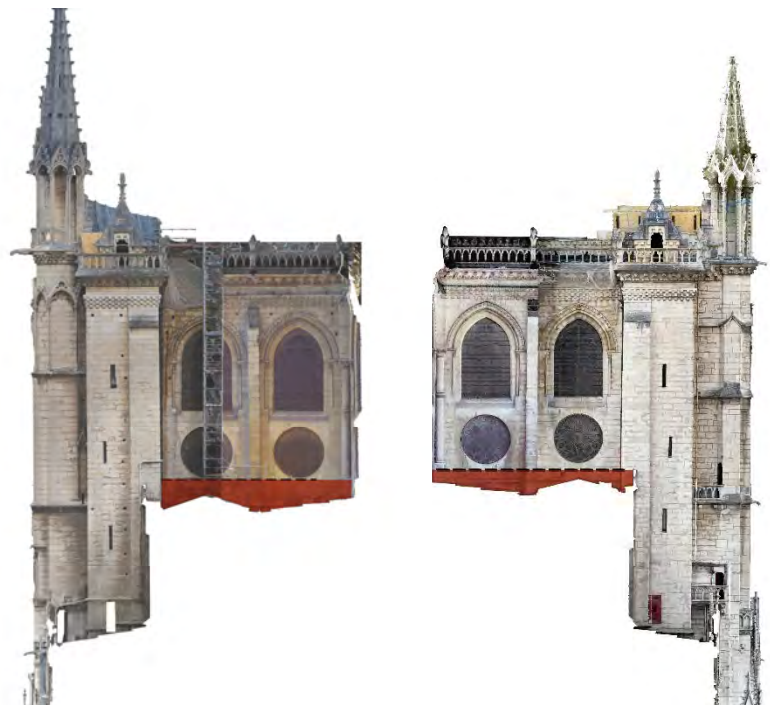
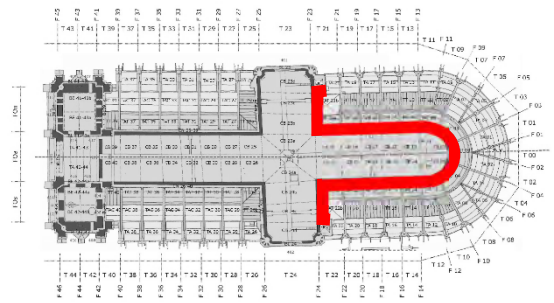


1 - Définition des limites de la présente opération

Lors des travaux de reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019, une partie des maçonneries a été restaurée, et n'est par conséquent pas à prendre en compte dans la présente étude. Ces travaux concernent :

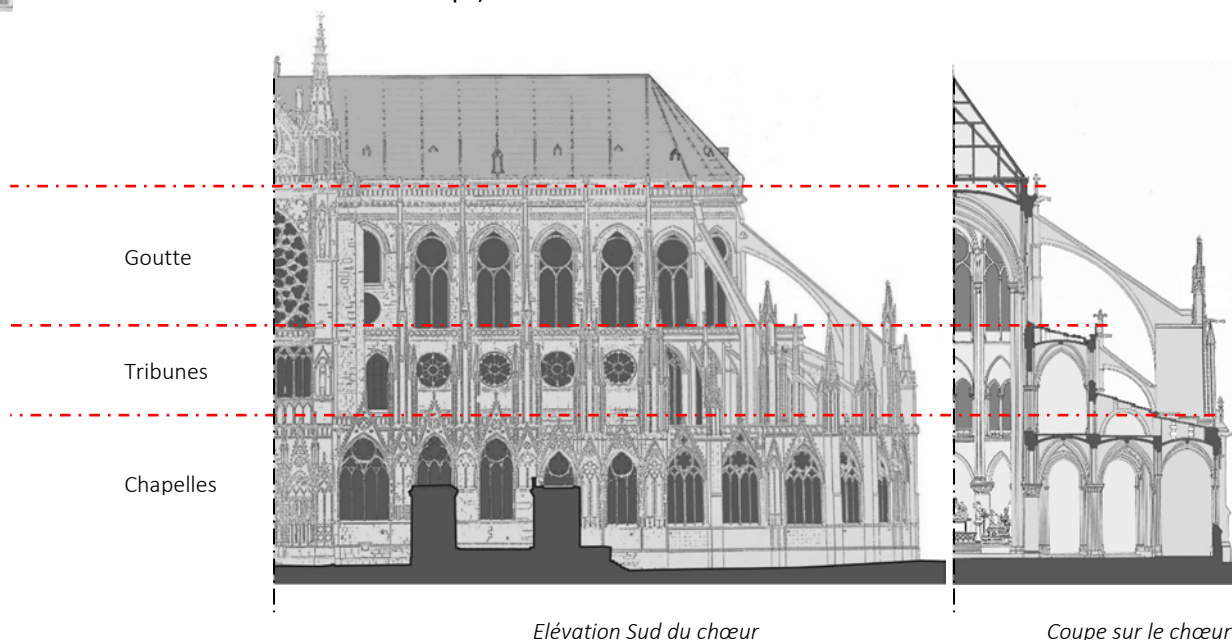
- Les gardes corps du chemin de ronde qui ont été entièrement restaurés jusqu'au niveau de la frise de corniche, ainsi que les fleurons.
- Les pierres de jambage et de remplage des baies haute ont fait l'objet de remplacement et nettoyage, à l'occasion des travaux de restauration des vitraux des baies hautes.
- Dans le cadre d'un marché similaire, les maçonneries des gouttereaux (hors celles qui demeurent inaccessibles en raison de la présence des étaielements et installations de la phase II) font également l'objet d'une restauration et d'un nettoyage. Ces interventions concernent aussi les façades en retour des bras de transept.
- La couverture en dalle de pierre des chapelles a fait l'objet d'important travaux de restauration.
- Les pinacles au Nord des files F13, F15, F17 et F19 ont fait l'objet d'un remplacement d'urgence.

Les travaux à réaliser concernent les maçonneries dissimulées par les étaielements (essentiellement les dossierets des arcs-boutants) et le plancher des terrasses hautes, afin de réaliser le parachèvement complet des murs gouttereaux.



2 - Description architecturale

Le chœur, dont le plan est constitué de deux travées sexpartites et d'une abside à cinq pans, offre, sur trois niveaux successifs, des élévations qui se développent en rayonnant autour du chevet. Au premier niveau, les chapelles du déambulatoire présentent ainsi 23 travées, celui des tribunes, 18 travées (sans les retours côté Est), et celui des gouttereaux, 15 (sans les retours Est des croisillons du transept).



Elévation Sud du chœur

Coupe sur le chœur

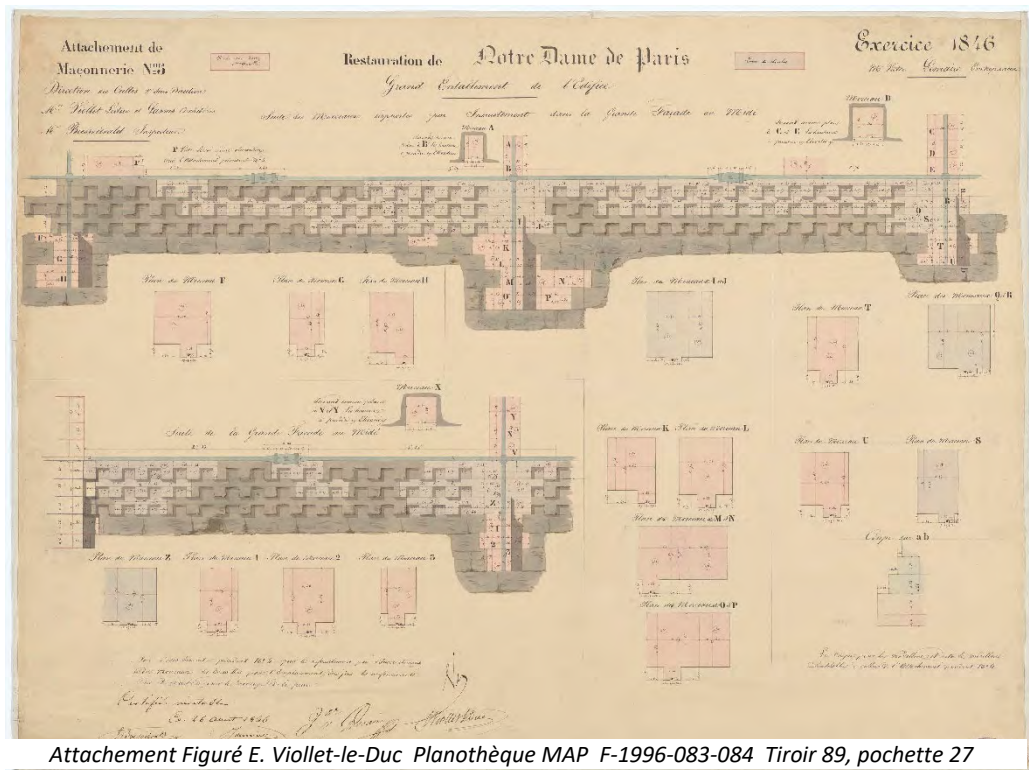
Les gouttereaux et les baies hautes



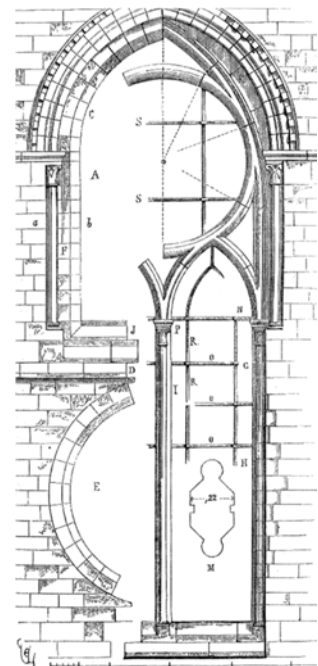
L'élévation du vaisseau central constitue la partie supérieure des murs gouttereaux. Chaque travée est percée de hautes baies en arc brisé, résultat des remaniements opérés entre 1220 et 1230. Le remplage créé à cette occasion forme deux lancettes surmontées d'un simple oculus. La partie inférieure correspondant à l'allongement de la baie est traitée très simplement par une simple colonnette adossée sur les chapiteaux desquelles prennent naissance les arcs brisés des deux lancettes. Même si, grâce à ces modifications, la partie ajourée du mur est désormais proportionnellement plus importante que la partie pleine, la cathédrale est restée encore assez sombre.

Au-dessus de l'archivolte à billettes du XII^{ème} siècle des baies hautes, qui surmonte deux colonnettes à chapiteaux feuillagés, se trouve une frise horizontale constituée de trois rangées de denticules au-dessus de laquelle on trouve, une assise plus haut, une corniche à crochets, elle-même surmontée du garde-corps du chemin de ronde.

Les attachements figurés de Viollet-le-Duc indiquent qu'une grande partie des blocs constituant cette frise à denticules a été remplacée au XIXème siècle.



Viollet-le-Duc a restitué l'élévation primitive à quatre niveaux, dans la première travée du chœur et les deux en retour dans les bras du transept. Les baies ont ainsi été réduites en hauteur, au niveau des petites colonnettes encore existantes, au-dessus d'un oculus dont le remplage de pierre n'est visible qu'à l'intérieur. A l'origine, ces oculi ouvraient sur les combles des tribunes, et étaient donc, vraisemblablement, dépourvus de vitraux. Viollet-le Duc n'ayant pas restitué l'appentis du côté du chœur, ces oculi sont ainsi dotés de vitraux colorés qui accompagnent la vitrerie des baies hautes du chœur.



3 - Synthèse de l'état sanitaire

Préambule et généralités



La cathédrale a fait l'objet d'une vaste restauration menée au XIX^{ème} siècle, qui a touché toutes ses parties. Depuis, de nombreuses interventions, plus ponctuelles, ont été effectuées. Chacune y a apporté les matériaux, les méthodes et les partis de restauration propres à son époque.

Ces différentes interventions sur un monument qui reste malgré tout parfaitement médiéval, ont également provoqué en s'accumulant, et parfois en interférant les unes avec les autres, des désordres qui ont modifié les qualités des matériaux et provoqué des altérations plus ou moins graves et dangereuses pour la stabilité ou la conservation du monument.

La dernière campagne d'envergure menée sur la cathédrale fut la restauration du massif occidental, en vue des célébrations pour l'entrée dans le troisième millénaire (quoique les élévations Est et Nord de la tour Sud n'aient pas été traitées). La flèche constituait le dernier programme mis en œuvre, auquel allaient succéder celui du chevet et de la sacristie...

Avant l'incendie, en effet, une étude approfondie sur le chevet avait été menée. Elle avait notamment porté sur une culée et un arc boutant, ainsi que le mur gouttereau correspondant, estimés représentatifs des multiples pathologies repérées sur l'édifice. Cette étude a permis de déterminer la nature des différentes pierres, des joints et des mortiers de pose mis en œuvre par des prélèvements et des analyses, d'identifier les pathologies et d'en trouver les causes. Cette étude est donc toujours d'actualité et sert de référence à toute l'étendue du monument.

L'incendie survenu le 15 avril 2019 a interrompu les études alors en cours et a dirigé l'attention et les travaux vers les parties qui avaient été endommagées, qui ont été menées lors de la phase II.

Les maçonneries des murs gouttereaux ont peu été touchées par l'incendie. Seules des coulures de plomb fondu jaillissant depuis des trous de boulins situés à hauteur des reins de voûtes, se sont parfois produits, rejaillissant ponctuellement sur les parties basses des murs gouttereaux, en tombant sur les dalles de pierre des terrasses des tribunes.

Etat sanitaire des maçonneries

Les maçonneries des murs gouttereaux présentent un état sanitaire général relativement mauvais.

Les travaux réalisés dans le cadre du DCE1 ont concerné la restauration des maçonneries des baies et de leurs ébrasements, permettant la remise en place des vitraux dans une maçonnerie saine. Les maçonneries accessibles sont quant à elles restaurées dans le cadre d'un marché similaire. Les parties inaccessibles (dosserets des arcs-boutants et bases des murs) restent à traiter.

Les pathologies constatées sur les murs gouttereaux sont relativement diverses, et sont les mêmes que celles constatées sur l'ensemble du monument :

Altérations de surface : sur la surface des pierres, on retrouve différentes pulvérulence et érosions, et desquamations qui sont des phénomènes évolutifs qui à terme entraînent la destruction de la pierre. Liées à la fois à l'expositions aux intempéries et au vent et à la

composition de certains mortiers ayant servi pour les joints, ces pathologies sont omniprésentes sur les maçonneries des murs gouttereaux.

Altérations mécaniques : les altérations mécaniques présentes sur la cathédrale sont toutes également présentes sur les murs gouttereaux. Ainsi, on peut constater différentes fissures, fractures ou lacunes résultant de mouvements ou encore causées par l'exposition aux intempéries. Ces pathologies sont principalement présentes dans les parties saillantes des maçonneries.

Altérations chromatiques : Des altérations chromatiques sont présentes sur les maçonneries des murs gouttereaux. On peut constater la présence de croûtes noires, issues essentiellement de la pollution atmosphérique. Également, des colonisations microbiologiques peuvent être observées sur certaines parties des maçonneries, notamment celles situées du côté Nord, ou encore sur les surfaces ouvragées des décors. Un certain nombre de traces de ruissellement sont également visibles sur les maçonneries.

Analyse des causes des altérations

Les principaux désordres affectant les maçonneries de la cathédrale sont dus à plusieurs raisons : d'une part, les multiples campagnes de restauration de la cathédrale, et, d'autre part, l'usure des matériaux liée aux conditions et phénomènes climatiques, ainsi qu'à l'orientation et l'exposition de certaines parties de l'édifice.

Les campagnes successives de restauration ont multiplié les techniques et méthodes de mise en œuvre ainsi que les différents matériaux utilisés.

On note notamment que la composition des mortiers de pose et de joint est relativement variée, et que la plupart de ceux mis en œuvre au XIX^{ème} siècle comportent une grande quantité de plâtre, qui en présence d'eau accélère l'apparition de sels.

Les restaurations menées au cours du XX^{ème} siècle quant à elles ont souvent mis en œuvre un mélange de chaux et de ciment (mortier bâtard), voire de ciment avec du sable.

La forte teneur en sels de tels mortiers, leur dureté et leur imperméabilité supérieures à celle des pierres environnantes qui, de fait, sont les seules voies possibles à leur migration et à leur précipitation, ont accéléré les phénomènes de dégradation des pierres.

Également, la multiplicité des natures de pierres employées dans les différentes campagnes de restauration a pu entraîner diverses pathologies. Notamment, on a pu constater l'accélération de certains désordres, en raison de duretés ou porosités différentielles au sein d'un même parement.

D'anciens traitements de consolidation ont également été constatés sur les parements, confirmés par le journal des travaux de Viollet-le-Duc. Cette silicatisation générale des parements a eu lieu entre 1853 et 1862.

Ce traitement, appliqué probablement sur l'ensemble des parements au XIX^{ème} siècle, n'est aujourd'hui plus que partiellement présent sur les zones abritées et encrassées. De par sa composition, ce procédé entraîne l'hydrofugation de la pierre en créant sur le parement un film étanche et peut être source de sels polluants. Il est donc finalement néfaste à la bonne conservation des parements.

Malheureusement, il n'existe actuellement aucune solution permettant d'éliminer un traitement de consolidation : intimement lié à l'épiderme de la pierre, ce traitement ne peut être retiré sans abîmer la surface du support.

Enfin, les intempéries sont largement responsables de la plupart des dégradations observées.

Les intempéries, le ruissellement ou la stagnation des eaux de pluie, les vents, parfois les tempêtes, l'humidité ou la sécheresse, le gel, le brouillard... tous ces éléments interfèrent dans la conservation du monument.

Les vents dominants et les pluies sont orientés suivant l'axe Sud-Ouest. Une corrélation entre l'action des vents dominants et les pluies orientés Sud-ouest, et le degré d'usure des parements est clairement identifiable : les élévations Sud du chevet et les faces Ouest des arcs-boutants présentent des altérations plus importantes (pierres desquamées, lessivées, etc.) que celles exposées au Nord et à l'Est (pierres plus encrassées, colonisées par les mousses et lichens mais en meilleur état). Enfin, les variations de températures sont plus importantes du côté Sud du fait de l'ensoleillement qui succède aux nuits parfois froides, provoquant des chocs thermiques sur les pierres., ce qui n'est pas le cas au Nord.

Fragiles, saillants et exposés de toutes parts, les décors sculptés sont souvent altérés. Or, par exemple, les gargouilles dont le rôle est précisément d'éloigner les eaux de pluie, sont parfois brisées et contribuent à leur tour à détériorer les maçonneries. De même, lorsqu'un larmier est épaufré, l'eau ruisselle et ronge progressivement les sculptures des corniches.

Les murs gouttereaux et baies hautes

Les murs gouttereaux présentent de nombreuses altérations tant sur les parements que sur les parties sculptées ou moulurées, ceci variant selon leur orientation et leur exposition.

Les parements comportent de nombreuses pierres altérées, rongées et pulvérulentes dont l'une des principales causes a été identifiée dans le cadre de l'étude sur l'arc-boutant. La composition des mortiers de pose utilisés par les maçons de Viollet-le-Duc, mêlant plâtre et chaux, a favorisé la formation de sels dont la cristallisation a



provoqué la pulvérulence des pierres. De même, les joints aux compositions différentes mis en œuvre ultérieurement, (ciment, mortiers bâtards) ont contribué à altérer les maçonneries.

De même, du fait de la multiplicité des natures de pierres, mises en œuvre tant par Viollet-le-Duc que par ses successeurs, les dégradations se sont multipliées.

On a par ailleurs constaté que les pierres ayant une queue encastrée profondément dans le mur (boutisses), en particulier dans les dossierets sous les arcs-boutants, étaient en meilleur état que les pierres peu encastrées, du fait des échanges d'humidité moins importants dans le premier cas.

Les motifs en denticules rehaussant les voussures des grandes baies sont ponctuellement érodés voir manquants et plusieurs crochets de la corniche sont brisés.

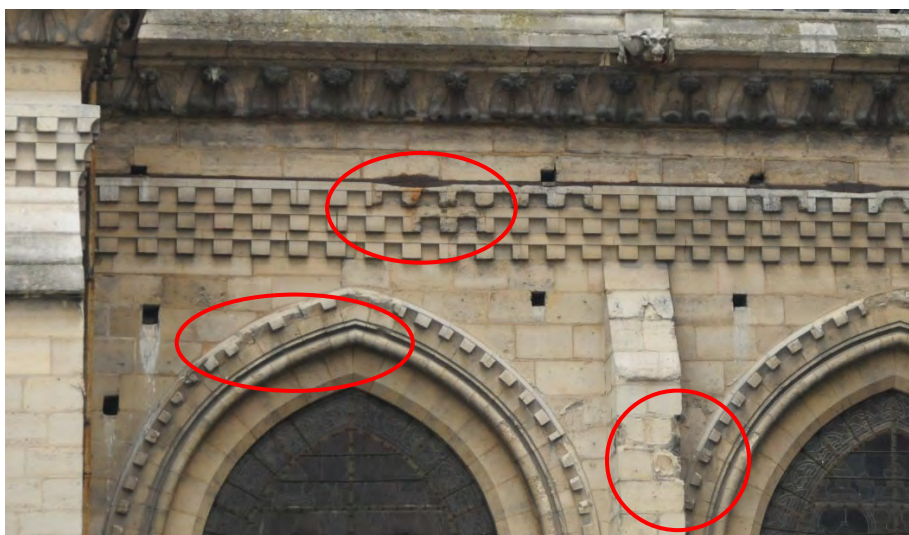
Les baies hautes et leurs remplages ont été restaurés durant la phase II du chantier de reconstruction de la cathédrale, afin de remettre en place les vitraux restaurés.

Les façades latérales du transept coté chœur au Sud

Les principaux désordres affectant les façades latérales du croisillon Sud sont les mêmes que ceux que l'on peut constater sur les autres parties de la cathédrale. Constituées essentiellement de maçonnerie courante, desquamations et érosions sont les principales pathologies rencontrées. Ces altérations sont essentiellement dues aux différentes natures de pierre, ainsi qu'à une composition des mortiers des joints parfois trop durs.



Sur les deux travées du transept où se situent les baies restituées par Viollet-le-Duc, mis à part un rejointoiement épais, les parties basses sont en relativement bon état. Sur les baies hautes on peut noter la disparition de quelques billettes des archivoltes, ainsi que la desquamation des bases de colonnettes. Sur le contrefort situé entre les deux baies, de nombreux blocs sont desquamés et pulvérulents. La frise à denticules située au-dessus des baies présente plusieurs zones desquamées, notamment au droit des soudures du chainage métallique situé au-dessus. Sur la frise à crochets on peut remarquer certains joints ouverts.



Les façades latérales du transept coté chœur au Nord

Sur les façades latérales du croisillon Nord, les pathologies concernant les épidermes des pierres sont sensiblement les mêmes que sur le croisillon Sud, bien qu'étant moins étendues.

Ainsi les différences de nature de pierres ont créé des desquamations et érosions sur les pierres les plus tendres. Les salissures et croûtes noires sont plus importantes qu'au Sud, en raison de l'exposition des maçonneries et on note également l'omniprésence de joints très beurrés et relativement foncés, pouvant correspondre à un mortier bâtard, composé de chaux et de ciment.

A l'Est, sur la travée abritant la tourelle d'escalier, on constate quelques desquamations et épaufrures des angles du contrefort, et les joints beurrés et ragréages sont très nombreux.

Les rares éléments de décor subissent les mêmes désordres : pulvérulence, desquamation et manques sont observés.

Les deux travées situées près de la nef où se situent les baies ne présentent pas de pathologies alarmantes. Quelques traces de ruissellement sont visibles sous les oculi, et on constate quelques épaufrures sur le contrefort situé entre les baies.

A l'Ouest, les maçonneries courantes subissent le même type de pathologies, les rares décors également. Le contrefort situé entre les deux baies est épaufré et desquamé. Le larmier sur lequel il repose est également en mauvais état. Sur la mitre de la cheminée, les éléments de décors présentent également des érosions importantes.



•

4 - Interventions projetées

Travaux préalables, en cours ou réalisés

Travaux d'urgence - sécurisation

Le chevet a été échafaudés très rapidement après l'incendie.

Un plancher placé au-dessus des terrasses hautes des chapelles et a servi de support à un échafaudage de pied situé sur la face externe des gouttereaux, ainsi qu'aux cintres des arcs boutants.

Une purge des parements instables et une aspiration THE /HEPA visant à abaisser le taux de plomb sur les parements ont été réalisés au sein de la phase 2.

Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction

- *Maçonnerie*

Les parties hautes de l'édifice ayant particulièrement souffert du feu, les murs bahuts ainsi que le chemin de ronde et son garde-corps, jusqu'au niveau du larmier sous de la frise à crochets (comprise) ainsi que le chaînage métallique d'Eugène Viollet-le-Duc, ont été restaurés au sein de la campagne de travaux de « Reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019 ». La corniche à trois niveaux de denticules n'a pas fait l'objet d'intervention à ce jour.

En phase sécurisation, les baies des murs gouttereaux ont été étrépillonnées afin de rigidifier les murs gouttereaux. Les réseaux et encadrement en pierre de taille baies hautes, au contact immédiat des verrières de vitrail ont fait l'objet d'une restauration. Un marché similaire prévoit également la restauration des maçonneries accessibles depuis l'échafaudage en place.

Quatre pinacles en état d'urgence ont aussi été restaurés dans cette première campagne de travaux (culées des arcs-boutants Nord F13, F15, F17 et F19)

Une partie des sculptures en état instable ont été déposées et stockées au lendemain de l'incendie, dans les dépôts lapidaires de Villacoublay et Saint-Witz. Neuf fleurons se trouvent dans le dépôt lapidaire, probablement déposés avant incendie. Leur emplacement n'étant pas connu, il conviendra de procéder à un repérage ultérieurement.

- *Vitraux*

A la suite de l'incendie, les vitraux des baies hautes ont rapidement été déposés afin de les préserver si une instabilité des structures venait à être constatée. A cette occasion, l'ensemble des panneaux de vitraux et armatures des baies hautes ont fait l'objet d'une restauration en atelier. Les verrières des chapelles et oculi ont fait l'objet d'une aspiration en place.

Parti de restauration

Les principes de restauration qui ont été mis au point lors de l'étude menée en 2015 sur une travée test du chevet (travée 10), ont été développés lors des travaux de restauration et seront à appliquer pour les travaux prévus sur la totalité du chevet. La phase de sécurisation a en outre permis la réalisation d'essais sur une chapelle test, côté Nord du chœur.

Les prélèvements, analyses et essais réalisés, ainsi que les recherches en carrière de pierres de substitution, ont permis d'élaborer une méthode que nous généraliserons dans son principe.

Un relevé complet des calepinages et des maçonneries sera à réaliser avant toute intervention.

Nous donnerons ci-après, par localisation, les principales prestations à réaliser dans le cadre de l'opération « Post 2024 ». Seront systématiquement compris dans cette opération les retours des bras de transept (Élévation Est des croisillons Nord et Sud), selon ce même découpage.

- **Les élévations des gouttereaux**

- Les travaux comprendront :
 - L'achèvement des travaux entrepris en phase 2 : le nettoyage et la restauration des parements en pierre de taille des gouttereaux du vaisseau principal, exception faite des encadrements de baies, et les parties maçonnées accessibles depuis l'échafaudage. **Les zones concernées par les travaux de cette phase sont par conséquent les dossierets des arcs-boutants et les parties maçonnées situées sous le niveau du platelage mis en place sur les couvertures des tribunes.** Les parties supérieures (garde-corps, larmier et corniche à crochet) ont été restaurés pendant la campagne de travaux de reconstruction.
- Dans le cadre de l'opération de reconstruction, ont déjà été traités :
 - Les remplacements et ébrasements des baies hautes au contact des vitraux.
 - Les maçonneries accessibles au pourtour des baies, compris frise à denticules.

- **Les arcs boutants et leurs culées**

- Les travaux comprendront :
 - Le nettoyage et la restauration des volées des arcs-boutants et leurs culées au Nord (F21, F17, F15 F11 et F09) et au Sud (F12, F16, F18 et F20) dont l'état de conservation est plus satisfaisant.
 - La reconstruction des volées des arcs-boutants et leurs culées au Nord : F19 et F13 et au Sud F14 et F22
 - La reconstruction des volées des arcs boutants et leurs culées à l'Est, F03, F04 et F10
 - La restauration des arcs boutants à simple volées et leurs culées à l'Est, F01, F02, F05, F06, F07 et F08

- **les tribunes**

- Les travaux comprendront :
 - le nettoyage et la restauration des élévations des tribunes, garde-corps compris ;
À noter : les fleurons des garde-corps des terrasses hautes ont été déposés dans le cadre des travaux de sécurisation de la cathédrale pour permettre l'installation des cintres des arcs-boutants et ont été stockés dans un local provisoire. L'entreprise en charge de ces ouvrages devra leur récupération, l'établissement d'un



état sanitaire complet et, en lien avec l'ACMH, la proposition d'un programme de travaux (restauration ou réfection à neuf selon leur état de conservation) ;

- la restauration en atelier des panneaux de vitraux et armatures des baies des tribunes ;
- les toitures terrasses en pierre des tribunes au niveau supérieur, initialement prévues au sein du chantier de « Reconstruction »- DCE5, seront réalisés après dépose des cintres et planchers ;

- **Les réserves**

- Les travaux comprendront :

Extérieur

- Le nettoyage et la restauration des élévations des réserves
 - Les couvertures des réserves en plomb

- **Les élévations des chapelles**

- Les travaux comprendront :

- Le nettoyage et la restauration des élévations des chapelles toutes hauteurs, compris des reprises ponctuelles en intérieurs, lors du remplacement de pierres d'encadrement de baies ;
 - Le chemisage en plomb des chéneaux et gargouilles. Dans ce cadre, sera également entrepris les modifications très ponctuelles des chéneaux alimentant les deux gargouilles recrachant les eaux pluviales récoltées dans l'espace public, côté rue du cloître. Ces dernières seront, par le reprofilage de contre-pente, condamnées et les eaux seront renvoyées vers d'autres gargouilles.

- Dans le cadre de l'opération de reconstruction, ont déjà été traités :

- Les toitures-terrasses en pierre des chapelles.
 - Une partie des améliorations des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales au droit des gâbles des élévations des chapelles.

Interventions projetées

Les murs gouttereaux ont déjà fait l'objet d'une restauration partielle. Dans le cadre du DCE1 de la phase de reconstruction, les remplacements des baies hautes ont été restaurés de façon à permettre la remis en place des vitraux restaurés dans une maçonnerie saine. Dans la même optique, les ébrasements ont également été restaurés. Par la suite, un marché similaire a permis d'étendre les travaux de changement de pierre aux différentes parties de maçonnerie accessible. En effet, les différentes installations de chantier mises en place en phase de sécurisation (cintres et plancher des baies hautes) doivent être conservées durant la phase de travaux prévus pour permettre la restauration des arcs-boutants notamment.

Les travaux prévus se dérouleront donc après les autres interventions (notamment sur les arcs-boutants) et **concerneront les parties non accessibles que sont les dosserets des arcs-boutants et les parties de maçonnerie situées sous le niveau du plancher**. Ils précéderont les travaux sur les dalles de couverture des tribunes.

Déplombage et nettoyage

Avant toute opération de nettoyage et de restauration, le plomb déposé sur les maçonneries sera supprimé par aspiration THE.

A ce procédé, succédera, pour les zones présentant des dépôts de croûtes noires, un nettoyage complémentaire par micro-abrasion. Un média de type « archifine » sera employé pour les parements unis tandis qu'un média dur type « corindon » sera privilégié pour les parements moulurés et sculptés. Le diagnostic établi en 2015 avait permis de mettre en évidence qu'un nettoyage par micro-abrasion permettait de réduire de près d'un tiers la pollution au plomb des parements.

Les rejaillissements de plomb fondu au pied des murs gouttereaux, sur les parements et sur les toitures en dalles de pierre, seront enlevés à l'outil. Il en sera de même pour les coulures et dépôts dans les rigoles des arcs-boutants des tribunes.

Restauration des maçonneries

Le choix des pierres de substitution

Le choix des pierres de substitution est un des problèmes cruciaux de cette vaste campagne de restauration qui s'annonce. La multiplicité des pierres mises en œuvre depuis le XIX^{ème} siècle, ainsi que les mortiers utilisés, sont la principale cause des dégradations observées.

Les natures des pierres mises en œuvre dans la cathédrale sont connues par le biais des attachements figurés, couplés par les analyses qui ont été menées sur différents échantillons.

Les carrières ayant servi tant à la construction de la cathédrale à l'époque médiévale, qu'à sa restauration par Viollet-le-Duc au XIX^{ème} siècle ne sont pour la plupart plus en activité. La restauration de la cathédrale nécessitant un volume important de pierre neuve, il a fallu déterminer les possibilités qui existaient de remplacement ou substitution de pierres. Une mission réalisée par le BRGM a permis de recenser les carrières susceptibles de correspondre le mieux aux maçonneries de la cathédrale, tant d'un point de vue esthétique que mécanique.

Le rapport établi par la BRGM a permis de sélectionner les pierres utilisées en remplacement dans la phase de reconstruction suite à l'incendie.

Il a permis de compléter les investigations menées par le LRMH et l'entreprise ECMH sur l'arc-boutant G10, dans le cadre de l'étude de diagnostic d'octobre 2015 portant sur la restauration du chevet ¹. Également, l'expérience des travaux réalisés en phase II a permis d'affiner le choix de certaines natures de pierre.

Les pierres de substitution envisagées sont les suivantes :

- La pierre dure H4 de la carrière de la Croix Huyart (Aisne) pour les claveaux ou les pierres recevant une charge et une pression importante, ainsi que pour les pierres particulièrement soumises aux intempéries et au ruissellement (fleurons, gargouilles et glacis),
- La pierre Banc 3 de Saint-Maximin (Oise), ou la roche franche construction de Saint-Maximin (Oise), pour les maçonneries de remplissage, les murs gouttereaux, ainsi que les culées des arcs-boutants ;

¹ Cathédrale Notre-Dame de Paris - Diagnostic complémentaire - Restauration des arcs-boutants et des murs gouttereaux du chevet - Philippe Villeneuve - Architecte en Chef des Monuments Historiques - Octobre 2015
CATHÉDRALE NOTRE-DAME DE PARIS - Travaux de restauration post-2024

DCE – Restauration du chevet

Philippe VILLENEUVE, Rémi FROMONT, Architectes en Chef des Monuments Historiques

Février 2025

- La pierre franche fine de la carrière de Saint Maximin (Oise) ou la H4 demi dure de la Croix Huyart pour les élévations des tribunes et des chapelles ;
- Le petit liais de Saint Maximin, qui présente des caractéristiques mécaniques et esthétiques proches de celles de la H4 dure de la Croix Huyart, pour les parties exposées
- Le liais de Saint Maximin est également prescrit pour les éléments en fort dévers, et très exposé comme les dalles de couverture ou les gargouilles

Le changement de pierres

De manière générale, on conservera évidemment le plus de pierres possibles. Seules celles qui, du fait de leur fragilisation et de la perte de leurs qualités structurales, ne peuvent plus assurer la solidité de l'ouvrage, seront remplacées.

Selon le cas de figure, le remplacement de pierres altérées pourra répondre à deux critères distincts. Le premier consistera à privilégier la conservation du matériau originel (notamment pour les parties sculptées ou moulurées). Pour ce faire, on privilégiera, dans la mesure du possible, le recours aux greffes ou aux bouchons lorsque la pierre ne sera que partiellement altérée et que son état ne remettra pas en question la stabilité de l'ouvrage. Un joint marbrier réduira visiblement la jonction entre la partie ancienne et nouvelle. Le second, privilégiera, dans des cas particuliers, la conservation du calepin à celui de la matière ancienne et la pierre altérée sera remplacée dans son intégralité.

Afin d'harmoniser les pierres neuves avec les parements existants, on les vieillira manuellement à l'outil et elles pourront ponctuellement recevoir un badigeon léger d'harmonisation à base de lait de chaux. Un traitement biocide préventif sera appliqué sur les parties les plus exposées aux intempéries.

Les ragréages

On aura recours au ragréage avec parcimonie, afin d'éviter les grandes surfaces, dont on sait qu'elles ne se comportent pas comme les pierres, tant sur le plan esthétique (tendance à absorber davantage les salissures et la poussière que les pierres) que structural. On utilisera un mortier de type Altar, selon les conclusions de l'étude de 2015 et les travaux menés pour la reconstruction.

Avant toute opération de consolidation ou ragréage, si la présence de sels est soupçonnée, les parements seront préalablement dessalés à l'aide de compresses (1 vol.de cellulose / 1vol.de sable / 2 vol. d'attapulгите) appliquées à la main en deux ou trois passes. Un travail de teinte (aspect des grains, coloration du mortier, veines d'oxydes de fer) et d'aspect (traitement des joints, finition coquillée, traces d'outils) sera réalisé afin d'harmoniser les surfaces ragréées et les épidermes de pierre conservés.

Les joints

Tous les parements seront déjointoyés sur 10 cm de profondeur minimum, afin de purger autant que possible les maçonneries des mortiers porteurs de sels.

Les maçonneries seront ensuite rejointoyées au mortier de chaux et de sable, à l'exclusion de tout autre adjuvant, exception faite des parties les plus exposées aux eaux de ruissellement

(glacis, rigoles de récupération des eaux pluviales, etc.) qui seront traitées au mortier de chaux additionné d'hydrofuge.

La teinte et la granulométrie du mortier varieront afin que le résultat obtenu ne soit pas trop régulier.



Les appuis de baies

Dans le cadre des travaux des baies hautes de la phase de reconstruction, certains appuis de baies ont pu être changés. D'autres en revanche demeuraient inaccessibles bien que nécessitant des interventions de restauration. Aussi, malgré la remise en place des vitraux, il est prévu que les appuis les plus endommagés soient greffés pour permettre le bon écoulement des eaux pluviales. En raison de l'exposition de ces éléments, les greffes seront réalisées en crossette et seront fixés à l'aide de résine par appliquée par point, doublée d'un joint au mortier additionné d'hydrofuge. Les travaux sur les appuis seront réalisés de façon concomitante avec les changements de dalles sur les terrasses hautes.

Installation du paratonnerre

Les installations du paratonnerre avaient été très endommagées par l'incendie avec la perte des pointes caprices de la flèche et du chevet ainsi que tous les conducteurs situés sur les couvertures de la flèche et du grand comble. Les travaux de la phase II ont permis la remise en état du système de protection de la cathédrale selon les dispositions qui avaient été prévues lors des travaux de mises en conformité effectués entre 2011 et 2013 et les conclusions du rapport de vérification de l'installation effectuées pendant les travaux de sécurisation. L'ensemble de l'installation est donc opérationnel. Cependant, les installations de chantier n'ont pas permis l'accès à une zone située au Nord Est du chevet (entre l'arc-boutant F09 et l'arc-boutant F04), sur laquelle une installation provisoire de bouclage en pied a été mise en place, et à la vérification de la conformité de la prise de terre située dans cette zone au droit de la file 04.

Par ailleurs, les installations (conducteurs et feuillards) présents sur les maçonneries du chevet feront l'objet d'une dépose et d'une repose par le lot paratonnerre, en accompagnement du lot 04 afin de permettre la restauration des parements et maçonneries, supports de ces installations.

Sont ainsi concernées : les maçonneries verticales des chapelles et maçonneries de couronnement des arcs-boutants, les maçonneries basses des pinacles entre couvrement des arcs-boutants et élévations de chapelles, les couvertures en pierre des terrasses basses le cas échéant, dans l'emprise des travaux au droit de l'arc boutant de la travée F09 (côté Nord-Est) et au droit de l'arc boutant F04 (côté Sud-Est) depuis le chemin de ronde jusqu'aux prises de terre situées au pied de l'édifice, au droit des travées 21 (côté Nord) et 22 (côté Sud) depuis l'arrivée des conducteurs depuis les maçonneries de l'élévation Est du transept sur les parements des terrasses et chapelles jusqu'aux prises de terre situées en pied d'édifice

À l'issue des travaux de restauration du chevet, après la dépose des échafaudages au droit des élévations des chapelles, les installations seront pérennisées sur la partie Nord-Est de l'édifice par la mise en place d'un conducteur définitif enterré permettant le bouclage complet autour de la cathédrale. Lors de ces travaux, les grilles de clôture rue du cloître Notre-Dame seront connectées à la liaison équipotentielle périphérique. L'achèvement de

la mise en conformité de l'installation se fera par la vérification de la prise de terre située au droit de la file 04 (prise de terre n°6), la création d'une nouvelle prise de terre le cas échéant et la réalisation d'un regard de visite normatif au droit de la liaison entre les conducteurs de façade et la prise de terre.

Pour ce faire, les travaux concernant l'installation paratonnerre seront reportés sur deux lots : sur le lot 10_{CHVT} pour ce qui relève des travaux techniques spécifiques de l'installation proprement dite et sur le lot 04_{CHVT} pour ce qui concerne les déposes et reposes des revêtements de sols (dallage et/ou pavage), les terrassements et remblaiements au droit de la prise terre nouvellement créée et du ceinturage entre les files 04 et 09. Les installations paratonnerre enterrées prendront place dans les dispositifs fournis et posés par ce même lot 04_{CHVT} : regard en béton et fourreau

•

5 - Les moyens d'accès et protections diverses

Les moyens d'accès

Dans le cadre de la sécurisation du monument, les moyens d'accès par échafaudages de pieds ont été disposés place au droit des murs gouttereaux du chœur, des planchers ont été mis en place au niveau des terrasses hautes du chœur pour permettre la fixation des cintres.

Dans le cadre de l'évolution des installations pour la phase 2 de Post 2024, une partie de ces installations seront maintenues jusqu'à la fin des opérations de la phase 2. Toutefois, le phasage des travaux impose une évolution des moyens d'accès en parallèle de l'évolution des restaurations.

- **Les élévations des gouttereaux**

- Des échafaudages seront remis en place au droit des dossierets après la dépose des cintres. Ils permettront l'accès aux maçonneries qui nécessitent des remplacements.
- L'accès aux terrasses sera fait par les lifts en place.
- L'approvisionnement des pierres pourra être fait à la grue en dehors des horaires d'ouverture au public de la cathédrale.

Les protections

- Les parties inférieures des vitraux feront l'objet d'une protection rigide lors de la réalisation des travaux sur la base des murs gouttereaux.

•

6 - La contrainte plomb

Contamination plomb

Les différentes campagnes de mesures surfaciques réalisées sur les façades extérieures du chevet de la Cathédrale ont mis en évidence la présence d'une contamination par les poussières de plomb qu'il nous appartient d'intégrer dans l'analyse des risques pour les futurs travaux.

Les résultats des tests affichent une contamination non homogène, non excessivement élevée, avec une valeur moyenne à 4 167 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ mais aussi avec des pics importants à 19 595 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ et à 13949 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ sur l'élévation sud du Chœur.

MESURES SURFACIQUES ELEVATIONS EXTERIEURES CHŒUR	
Localisation	Concentration plomb ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)
Elévation Chœur Nord	12271
Elévation Chœur Nord	5352
Elévation Chœur Nord	410
Elévation Chœur Nord	326
Elévation Chœur Nord	382
Elévation Chœur Nord	1978
Elévation Chœur Nord	1997
Elévation Chœur Est	7625
Elévation Chœur Est	2116
Elévation Chœur Est	738
Elévation Chœur Est	3880
Elévation Chœur Est	1402
Elévation Chœur Est	418
Elévation Chœur Sud	19595
Elévation Chœur Sud	920
Elévation Chœur Sud	13949
Elévation Chœur Sud	754
Elévation Chœur Sud	903

Le repérage des revêtements en plomb, réalisé à l'aide d'un appareil à fluorescence X, ne détecte sur les parements extérieurs aucune peinture au plomb ; du plomb métal est toutefois présent en scellement des pierres au niveau des joints coulés au plomb, au niveau des éclaboussures de plomb fondu suite à l'incendie, des chemisages des chéneaux et des couvertures en tables de plomb coulées sur sable.

La présence de plomb dans le périmètre d'intervention et le risque d'exposition à cet élément pour les intervenants de cette opération ont porté au choix d'imposer à ces travaux la même contrainte plomb que le chantier de reconstruction.

L'organisation envisagée prévoit de déployer, au niveau des installations chantier et des protections collectives mises en place, tous les moyens de prévention pour limiter le risque d'exposition au plomb :

Organisation du chantier

Chantier clos et indépendant avec une séparation étanche entre la zone chantier dite « zone sale » et la zone base vie dite « zone propre » et des unités de décontamination à l'humide (douches) situées en tampon entre la zone sale et la zone propre.

Conditions d'accès/sortie du chantier

Accueil sécurité avec sensibilisation plomb pour tous les intervenants y compris les visiteurs
Accès au site autorisé uniquement au personnel formé au risque plomb
Suivi individuel renforcé (SIR) avec contrôle plombémie sous avis du médecin du travail
Douche obligatoire à chaque sortie de la zone sale

Installations de chantier

Base vie avec vestiaire « sale » et vestiaire « propre » et attribution de double casier par opérateur
Equipe de nettoyage des parties communes du chantier à demeure sur place pour assainir et contrôler le niveau d'empoussièrement du chantier assurant les actions correctives nécessaires
Surveillance météorologique hebdomadaire pour contrôler l'évolution des taux de plomb

Organisation des travaux

Mode opératoire plomb à établir, précisant le choix des techniques moins émissives en poussières et les moyens mis en place pour éviter la dissémination de poussières
EPI plomb avec adaptation des protections respiratoires suivant résultats des contrôles VLEP

Gestion du matériel

Procédure de décontamination du matériel et des engins au jet d'eau avec récupération et traitement des effluents
Décontamination des éléments d'échafaudages
Gestion centralisée du nettoyage des EPI non jetables

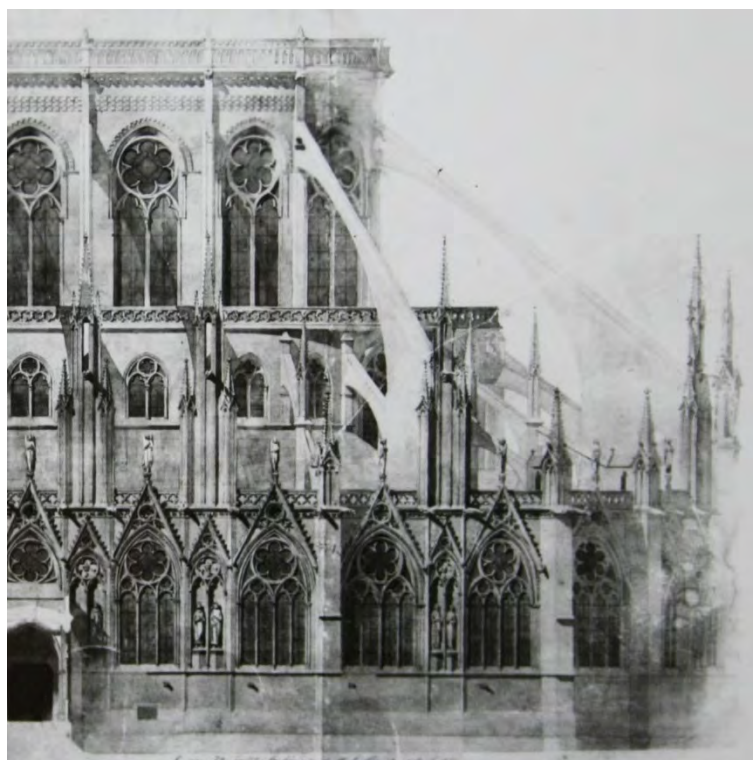
Gestion des déchets solides et liquides

Caractérisation de chaque déchet solide issu de travaux par test de lixiviation
Caractérisation de chaque déchet liquide par analyse MES (Matière en Suspension) et teneur en plomb
Gestion centralisée des déchets solides et liquides du chantier par le titulaire du lot Installations chantier – Utilités plomb
Traitement des déchets solides du chantier par évacuation en ISDI (Installation de Stockage des Déchets Inertes), ISDND (Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux) et ISDD (Installation de Stockage des Déchets Dangereux)
Traitement des déchets liquides du chantier par décantation et filtration, avant rejet dans le réseau d'assainissement de la ville

• • •

4

Les arcs-boutants



- 1- Définition des limites de l'opération
- 2- Description architecturale
- 3- Synthèse de l'Etat sanitaire
- 4- Interventions projetées
- 5- Moyens d'accès
- 6- La contrainte plomb





Sommaire

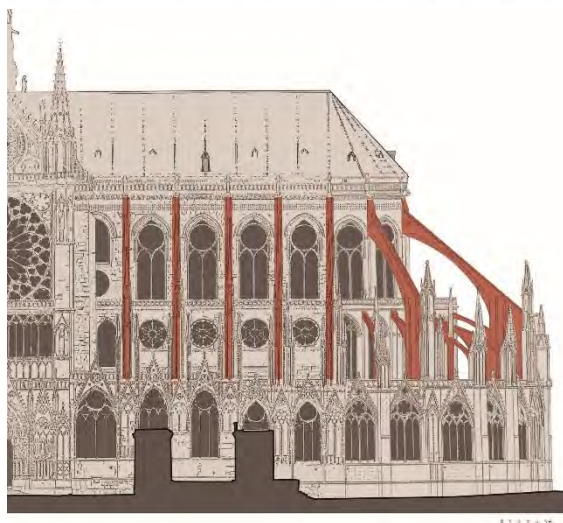
1 - DEFINITION DES LIMITES DE LA PRESENTE OPERATION.....	75
2 - DESCRIPTION ARCHITECTURALE.....	76
LES ARCS-BOUTANTS ET LEURS CULEES	76
<i>Type 1 - Grands arcs-boutants d'une seule volée.....</i>	<i>76</i>
<i>Type 2 – Grand arc-boutant à double volée.....</i>	<i>78</i>
<i>Type 3 –Petits arcs-boutants à double volée.....</i>	<i>78</i>
3 - SYNTHESE DE L'ETAT SANITAIRE.....	79
PREAMBULE ET GENERALITES.....	79
ETAT SANITAIRE DES MAÇONNERIES	79
<i>Analyse des causes des altérations</i>	<i>80</i>
<i>Les arcs-boutants et leurs culées.....</i>	<i>81</i>
4 - INTERVENTIONS PROJETEES.....	84
TRAVAUX PREALABLES, EN COURS OU REALISES	84
<i>Travaux d'urgence - sécurisation.....</i>	<i>84</i>
<i>Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction.....</i>	<i>84</i>
PARTI DE RESTAURATION	84
INTERVENTIONS PROJETEES	86
<i>Déplombage et nettoyage.....</i>	<i>86</i>
<i>Restauration des maçonneries</i>	<i>86</i>
<i>Travaux sur les arcs-boutants.....</i>	<i>89</i>
<i>Restauration des éléments sculptés</i>	<i>89</i>
<i>Installation du paratonnerre</i>	<i>89</i>
5 - LES MOYENS D'ACCES ET PROTECTIONS DIVERSES.....	91
<i>Les moyens d'accès.....</i>	<i>91</i>
6 - LA CONTRAINTE PLOMB.....	92



1 - Définition des limites de la présente opération

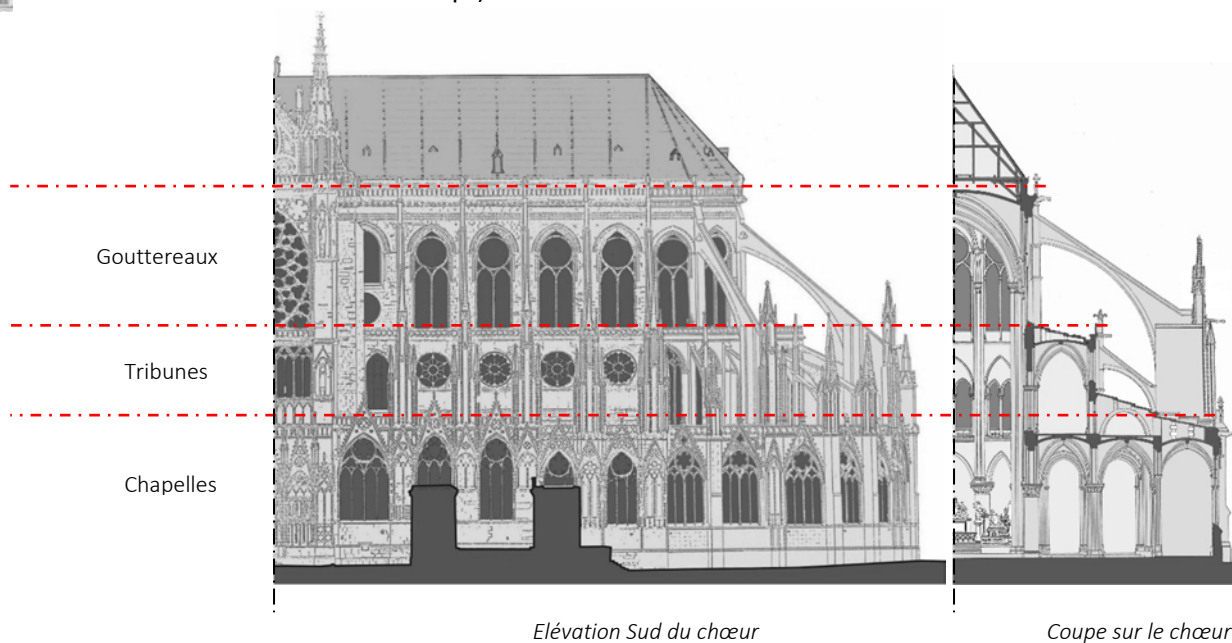
Lors des travaux de reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019, une partie des maçonneries a été restaurée, et n'est par conséquent pas à prendre en compte dans la présente étude. Ces travaux concernent :

- Les gardes corps du chemin de ronde qui ont été entièrement restaurés jusqu'au niveau de la frise de corniche, ainsi que les fleurons.
- Les pierres de jambage et de remplage des baies haute ont fait l'objet de remplacement et nettoyage, à l'occasion des travaux de restauration des vitraux des baies hautes. Les maçonneries des gouttereaux accessibles depuis l'échafaudage de la phase de sécurisation ont également fait l'objet d'un remplacement.
- La couverture en dalle de pierre des chapelles a fait l'objet d'important travaux de restauration.
- Les pinacles au Nord des files F13, F15, F17 et F19 ont fait l'objet d'un remplacement d'urgence.



2 - Description architecturale

Le chœur, dont le plan est constitué de deux travées sexpartites et d'une abside à cinq pans, offre, sur trois niveaux successifs, des élévations qui se développent en rayonnant autour du chevet. Au premier niveau, les chapelles du déambulatoire présentent ainsi 23 travées, celui des tribunes, 18 travées (sans les retours côté Est), et celui des gouttereaux, 15 (sans les retours Est des croisillons du transept).



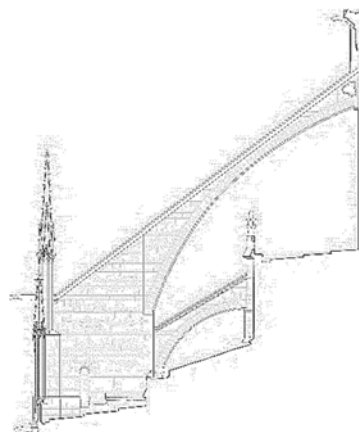
Les arcs-boutants et leurs culées

Le chœur de Notre-Dame présente plusieurs types d'arcs-boutants.

Type 1 - Grands arcs-boutants d'une seule volée

D'une seule volée et d'une portée d'environ 15 mètres, ces arcs-boutants contrebutent les poussées de la haute voûte en s'adossant au mur gouttereau par une tête ajourée d'un trilobe. Ils prennent naissance depuis les culées qui séparent les chapelles. Ces culées sont coiffées de trois pinacles à crochets, dont le plus haut amortit l'arc-boutant et les deux autres épaulent la culée.

Le chevet compte ainsi 13 arcs-boutants d'une seule volée. Ces grands arcs-boutants sont secondés par un arc-boutant plus petit, qui épaulé les voûtes des tribunes et franchissent le second déambulatoire et les appentis.



Les extradors des grands arcs-boutants de Notre-Dame ont été les premiers à être dotés d'une rigole permettant de rejeter au loin les eaux de pluie par de grandes gargouilles zoomorphiques.



Lors des travaux de restauration des pinacles de la façade Nord réalisés en phase II, la présence d'une feuille de plomb en sous face de la rigole a été mise au jour, permettant de créer une barrière étanche protégeant les maçonneries de l'arc et de la culée en cas de faiblesse d'un joint. Ces dispositions n'ont pas été reconnues sous les rigoles des petits arcs-boutants situés sous les grandes volées, mais il est probable qu'en raison de la présence de la rigole au sommet, la feuille de plomb ait également été installée.



Type 2 – Grand arc-boutant à double volée

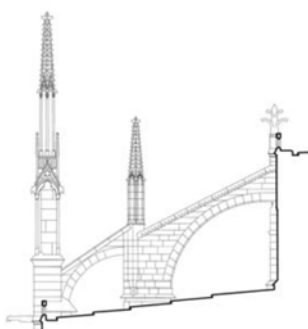
Unique grand arc-boutant à double volée de la cathédrale, cet arc est situé du côté Nord, et épaulé l'arc doubleau intermédiaire de la voûte sexpartite de la première travée du chœur (F21). La tête de l'arc supérieur s'adosse à un petit édicule orné de colonnettes et d'arcs trilobés, pouvant rappeler les dispositions de la cathédrale de Beauvais ou d'Amiens. Cet édicule et la tête de l'arc sont eux-mêmes soutenus par une mince colonnette en délit à chapiteau à crochets et tailloir hexagonal, rappelant quant à elle, le dispositif adopté pour les arcs-boutants inférieurs de la basilique de Saint-Denis.

On a émis plusieurs hypothèses sur cet arc-boutant à double volée, certains y voyant le seul vestige du dispositif originel de contrebutement des voûtes. Pour notre part, ne serait-ce que par le style et les dispositions similaires sur des édifices construits postérieurement à Notre-Dame, nous pensons qu'il s'agit du résultat d'une consolidation postérieure, correspondant d'ailleurs, à l'intérieur, à la reprise d'un pilier du déambulatoire situé exactement à l'aplomb de la culée intermédiaire.



Type 3 – Petits arcs-boutants à double volée

Placés au pourtour du chevet, franchissant les chapelles et le déambulatoire, ces arcs-boutants viennent épauler les tribunes du rond-point du chœur. La disposition en quinconce, si particulière, des piliers du rond-point,



oblige les têtes des arcs en appui sur le mur des tribunes à se diviser en deux (cette astucieuse particularité sera reprise à la cathédrale du Mans). Le second arc, qui prend appui sur la culée bâtie au-dessus de l'ancien mur extérieur du chevet, franchit la voûte des chapelles. Un pinacle en surmonte la tête. Pour charger verticalement le pied de l'arc-boutant, un très haut pinacle se dresse à l'aplomb des contreforts qui séparent les trois baies de la chapelle d'axe ; de simples pinacles, de moindre hauteur, surmontent les contreforts des chapelles voisines. La culée, dépourvue de décors en partie inférieure, est ornée, des deux gargouilles qui évacuent les eaux pluviales des terrasses des chapelles.

3 - Synthèse de l'état sanitaire

Préambule et généralités

La cathédrale a fait l'objet d'une vaste restauration menée au XIX^{ème} siècle, qui a touché toutes ses parties. Depuis, de nombreuses interventions, plus ponctuelles, ont été effectuées. Chacune y a apporté les matériaux, les méthodes et les partis de restauration propres à son époque.

Ces différentes interventions sur un monument qui reste malgré tout parfaitement médiéval, ont également provoqué en s'accumulant, et parfois en interférant les unes avec les autres, des désordres qui ont modifié les qualités des matériaux et provoqué des altérations plus ou moins graves et dangereuses pour la stabilité ou la conservation du monument.

La dernière campagne d'envergure menée sur la cathédrale fut la restauration du massif occidental, en vue des célébrations pour l'entrée dans le troisième millénaire (quoique les élévations Est et Nord de la tour Sud n'aient pas été traitées). La flèche constituait le dernier programme mis en œuvre, auquel allaient succéder celui du chevet et de la sacristie...

Avant l'incendie, en effet, une étude approfondie sur le chevet avait été menée. Elle avait notamment porté sur une culée et un arc boutant, ainsi que le mur gouttereau correspondant, estimés représentatifs des multiples pathologies repérées sur l'édifice. Cette étude a permis de déterminer la nature des différentes pierres, des joints et des mortiers de pose mis en œuvre par des prélèvements et des analyses, d'identifier les pathologies et d'en trouver les causes. Cette étude est donc toujours d'actualité et sert de référence à toute l'étendue du monument.

L'incendie survenu le 15 avril 2019 a interrompu les études alors en cours et a dirigé l'attention et les travaux vers les parties qui avaient été endommagées, qui ont été menées lors de la phase II.

Les arcs-boutants présentaient déjà avant l'incendie des pathologies inquiétantes. L'incendie n'a pas eu de conséquences directes sur leur état, mais ils ont tous été mis sur cintre afin d'assurer la stabilité de l'édifice, et les travaux déjà urgents avant l'incendie n'ont pas pu être entrepris. Seules certaines têtes des arcs qui abritent les descentes EP provenant du chemin de ronde ont été remplacées dans le cadre des travaux de la phase II.

Etat sanitaire des maçonneries

Les arcs-boutants du chevet de la cathédrale présentent un état sanitaire général relativement mauvais.

Afin d'éviter tout effondrement, ils ont rapidement été mis sur cintre dans les semaines et les mois qui ont suivi l'incendie. Les couchis installés n'ont heureusement jamais eu besoin d'être serrés. Lors des travaux de reconstruction de la phase II, les seules interventions réalisées ont concerné le remplacement de certaines des pierres situées au sommet en jonction des arcs-boutants et des chemins de ronde, abritant les descentes EP qui alimentent les rigoles.

On retrouve sur les arcs-boutants les mêmes pathologies que celles constatées sur l'ensemble du monument :

Altérations de surface : sur la surface des pierres, on retrouve différentes pulvérulence et érosions, et desquamations qui sont des phénomènes évolutifs qui à terme entraînent la destruction de la pierre. Liées à la fois à l'expositions aux intempéries et au vent et à la

composition de certains mortiers ayant servi pour les joints, ces pathologies sont omniprésentes sur les maçonneries des arcs-boutants du chevet.

Altérations mécaniques : les altérations mécaniques présentes sur la cathédrale sont toutes également présentes sur les arcs-boutants. Ainsi, on peut constater différentes fissures, fractures ou lacunes résultant de mouvements ou encore causées par l'exposition aux intempéries. Ces pathologies sont principalement présentes dans les parties ouvragées ou saillantes des maçonneries, notamment les sculptures et autres décors présents sur les pinacles intermédiaires.

Altérations chromatiques : Des altérations chromatiques sont présentes sur les maçonneries des arcs-boutants. On peut constater la présence de croûtes noires, issues essentiellement de la pollution atmosphérique. Également, des colonisations microbiologiques peuvent être observées sur certaines parties des maçonneries, notamment celles situées du côté Nord, ou encore sur les surfaces ouvragées des décors. Un certain nombre de traces de ruissellement sont également visibles sur les maçonneries.

Analyse des causes des altérations

Les principaux désordres affectant les maçonneries de la cathédrale sont dus à plusieurs raisons : d'une part, les multiples campagnes de restauration de la cathédrale, et, d'autre part, l'usure des matériaux liée aux conditions et phénomènes climatiques, ainsi qu'à l'orientation et l'exposition de certaines parties de l'édifice.

Les campagnes successives de restauration ont multiplié les techniques et méthodes de mise en œuvre ainsi que les différents matériaux utilisés.

On note notamment que la composition des mortiers de pose et de joint est relativement variée, et que la plupart de ceux mis en œuvre au XIX^{ème} siècle comportent une grande quantité de plâtre, qui en présence d'eau accélère l'apparition de sels.

Les restaurations menées au cours du XX^{ème} siècle quant à elles ont souvent mis en œuvre un mélange de chaux et de ciment (mortier bâtard), voire de ciment avec du sable.

La forte teneur en sels de tels mortiers, leur dureté et leur imperméabilité supérieures à celle des pierres environnantes qui, de fait, sont les seules voies possibles à leur migration et à leur précipitation, ont accéléré les phénomènes de dégradation des pierres.

Également, la multiplicité des natures de pierres employées dans les différentes campagnes de restauration a pu entraîner diverses pathologies. Notamment, on a pu constater l'accélération de certains désordres, en raison de duretés ou porosités différentielles au sein d'un même parement.

D'anciens traitements de consolidation ont également été constatés sur les parements, confirmés par le journal des travaux de Viollet-le-Duc. Cette silicatisation générale des parements a eu lieu entre 1853 et 1862.

Ce traitement, appliqué probablement sur l'ensemble des parements au XIX^{ème} siècle, n'est aujourd'hui plus que partiellement présent sur les zones abritées et encrassées. De par sa composition, ce procédé entraîne l'hydrofugation de la pierre en créant sur le parement un film étanche et peut être source de sels polluants. Il est donc finalement néfaste à la bonne conservation des parements.



Malheureusement, il n'existe actuellement aucune solution permettant d'éliminer un traitement de consolidation : intimement lié à l'épiderme de la pierre, ce traitement ne peut être retiré sans abîmer la surface du support.

Enfin, les intempéries sont largement responsables de la plupart des dégradations observées.

Les intempéries, le ruissellement ou la stagnation des eaux de pluie, les vents, parfois les tempêtes, l'humidité ou la sécheresse, le gel, le brouillard... tous ces éléments interfèrent dans la conservation du monument.

Les vents dominants et les pluies sont orientés suivant l'axe Sud-Ouest. Une corrélation entre l'action des vents dominants et les pluies orientés Sud-ouest, et le degré d'usure des parements est clairement identifiable : les élévations Sud du chevet et les faces Ouest des arcs-boutants présentent des altérations plus importantes (pierres desquamées, lessivées, etc.) que celles exposées au Nord et à l'Est (pierres plus encrassées, colonisées par les mousses et lichens mais en meilleur état). Enfin, les variations de températures sont plus importantes du côté Sud du fait de l'ensoleillement qui succède aux nuits parfois froides, provoquant des chocs thermiques sur les pierres., ce qui n'est pas le cas au Nord.

Fragiles, saillants et exposés de toutes parts, les décors sculptés sont souvent altérés. Or, par exemple, les gargouilles dont le rôle est précisément d'éloigner les eaux de pluie, sont parfois brisées et contribuent à leur tour à détériorer les maçonneries. De même, lorsqu'un larmier est épaufré, l'eau ruisselle et ronge progressivement les sculptures des corniches.

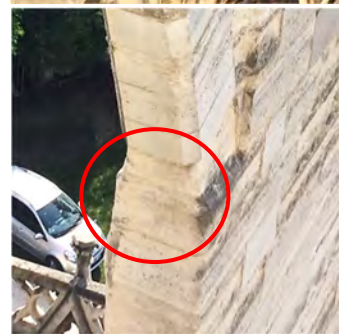
Les arcs-boutants et leurs culées

Les arcs-boutants sont les organes structurels essentiels à la stabilité de l'édifice. Ils présentent néanmoins les pathologies les plus importantes, tant sur leurs parements courants (nombreuses pierres érodées ou desquamées) que sur les éléments ornementaux décoratifs et sculptés, tels que les pinacles qui n'en ont pas moins un rôle dans la stabilité de l'arc.

Stabilité

Beaucoup d'arcs-boutants du chevet présentent un nombre important de pierres très altérées (desquamations, érosions différentielles, etc.) qui peuvent engendrer des problèmes structurels graves. On peut ainsi observer la dégradation de claveaux sur les grands arcs-boutants, en partie courante ou en partie basse. Cela se produit également sur les petits arcs-boutants.

Ces arcs étant particulièrement fins, constitués à leur tangente d'un seul claveau surmonté seulement d'une rigole en pierre, la défaillance de l'un des claveaux mettrait en péril la stabilité de l'ensemble de cet organe essentiel à la stabilité des voûtes.



C'est d'ailleurs la raison pour laquelle Viollet-le-Duc les avait tous remplacés. Mais il est toutefois à noter que, depuis, tous les arcs-boutants, sans exception, ont été refaits à leur tour au cours des multiples campagnes de travaux qui ont suivi celle de Viollet-le-Duc.

Les culées des grands arcs-boutants

Les culées qui reçoivent les arcs-boutants du chœur ont été refaites par Viollet-le-Duc (qui à cette occasion, fit disparaître les trois culées originelles que la sacristie de Soufflot avait jusqu'alors préservées).

Les pierres traversantes sont davantage érodées selon plusieurs critères : leur exposition (côté Ouest et Sud), leur nature ou celle des pierres adjacentes ou encore la composition des mortiers de joint ou de pose.

Les mêmes phénomènes observés sur les murs gouttereaux y sont ainsi également visibles.

La chute, sur les dalles de pierre des terrasses, des eaux provenant des toitures des apprentis adossés aux tribunes, depuis les exutoires en pierre, a parfois contribué, par le rejaillissement, à l'altération des pierres des parties basses des culées.

L'accumulation d'eau qui provient des petits arcs-boutants épaulant les tribunes au niveau de la culée du grand arc a contribué à altérer en profondeur certaines pierres. Or ces assises constituent les sommiers sur lesquels sont bâtis les grands arcs clavés. En cas d'affaissement tout l'arc peut ainsi lâcher.

Constituées d'un haut pinacle flanqué de deux autres moins élevés, les amortissements des culées des grands arcs-boutants du chœur sont souvent en très mauvais état. Trois d'entre eux se sont effondrés lors de la tempête de 1999 et ont ainsi été refaits et sont en parfait état.

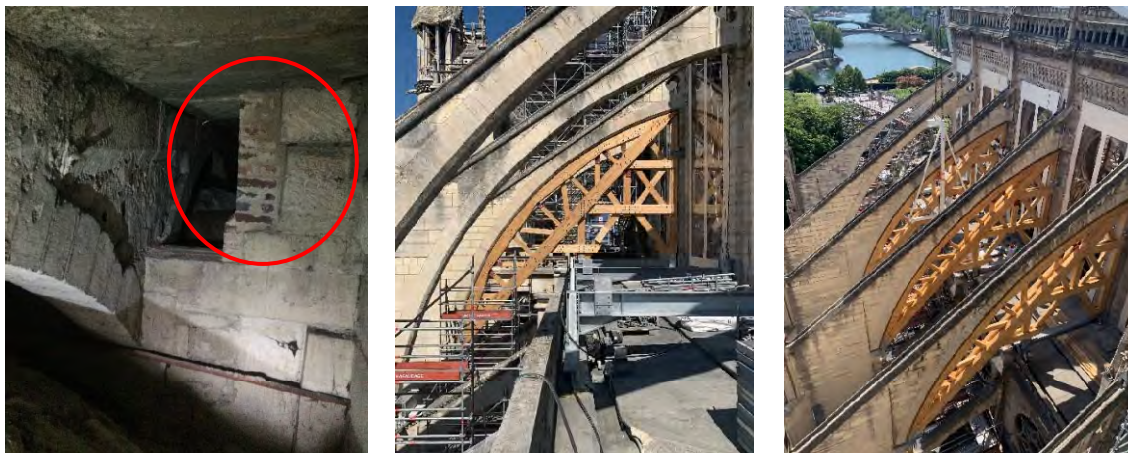
Ceux des travées droites du flanc Nord, dominant la Rue du Cloître, sont en revanche dans un état de délabrement très avancé, et « provisoirement » consolidés par des frettages de planches boulonnés et de sangles, pour ce qui concerne les hauts pinacles, tandis que les pinacles latéraux sont, le plus souvent, réduits à un moignon informe de pierre.

Les grandes gargouilles sont également parfois détruites et remplacées par de simples tuyaux de PVC.



Travaux de sécurisation de la cathédrale à la suite de l'incendie

Afin de garantir la stabilité des voûtes hautes ébranlées par l'effondrement partiel de certaines d'entre-elles, l'ensemble des arcs-boutants a été mis sur cintres.



Ceux du chœur ont été les premiers à être ainsi sécurisés. Les gros fleurons qui couronnaient les garde-corps des tribunes ont alors été déposés soigneusement afin de ne pas gêner la mise en place de ces éléments.

De même, les exutoires de pierre situés au bas des petits arcs-boutants intermédiaires ont été dotés de tuyaux souples pour ne pas détremper les bases de ces cintres. Une structure métallique permettant de franchir les toitures en dalles de pierre et recevoir les appuis des cintres a été installée, nécessitant toutefois la consolidation des couvertures, par des maçonneries de briques, au droit des dosserets des arcs-boutants. Ceci a nécessité la dépose partielle des dalles de pierre.

•

4 - Interventions projetées



Travaux préalables, en cours ou réalisés

Travaux d'urgence - sécurisation

Le chevet a été échafaudés très rapidement après l'incendie.

Un plancher placé au-dessus des terrasses hautes des chapelles et a servi de support à un échafaudage de pied situé sur la face externe des gouttereaux, ainsi qu'aux cintres des arcs boutants.

Une purge des parements instables et une aspiration THE /HEPA visant à abaisser le taux de plomb sur les parements ont été réalisés au sein de la phase 2.

Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction

- *Maçonnerie*

Les parties hautes de l'édifice ayant particulièrement souffert du feu, les murs bahuts ainsi que le chemin de ronde et son garde-corps, jusqu'au niveau du larmier sous de la frise à crochets (comprise) ainsi que le chaînage métallique d'Eugène Viollet-le-Duc, ont été restaurés au sein de la campagne de travaux de « Reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019 ». La corniche à trois niveaux de denticules n'a pas fait l'objet d'intervention à ce jour.

Quelques rejointoiements ponctuels afin de stopper les infiltrations intempestives dans la cathédrale, ont été réalisés notamment au droit du bras de transept Sud.

En phase sécurisation, les baies des murs gouttereaux ont été étrépillonnées afin de rigidifier les murs gouttereaux. Les réseaux et encadrement en pierre de taille baies hautes, au contact immédiat des verrières de vitrail ont fait l'objet d'une restauration.

Quatre pinacles en état d'urgence ont aussi été restaurés dans cette première campagne de travaux (culées des arcs-boutants Nord F13, F15, F17 et F19)

Une partie des sculptures en état instable ont été déposées et stockées au lendemain de l'incendie, dans les dépôts lapidaires de Villacoublay et Saint-Witz. Neuf fleurons se trouvent dans le dépôt lapidaire, probablement déposés avant incendie. Leur emplacement n'étant pas connu, il conviendra de procéder à un repérage ultérieurement.

Parti de restauration

Les principes de restauration qui ont été mis au point lors de l'étude menée en 2015 sur une travée test du chevet (travée 10), ont été développés lors des travaux de restauration et seront à appliquer pour les travaux prévus sur la totalité du chevet. La phase de sécurisation a en outre permis la réalisation d'essais sur une chapelle test, côté Nord du chœur.

Les prélèvements, analyses et essais réalisés, ainsi que les recherches en carrière de pierres de substitution, ont permis d'élaborer une méthode que nous généraliserons dans son principe.

Un relevé complet des calepinages et des maçonneries sera à réaliser avant toute intervention.

Nous donnerons ci-après, par localisation, les principales prestations à réaliser dans le cadre de l'opération « Post 2024 ». Seront systématiquement compris dans cette opération les retours des bras de transept (Élévation Est des croisillons Nord et Sud), selon ce même découpage.

- **Les élévations des gouttereaux**

- Les travaux comprendront :
 - L'achèvement des travaux entrepris en phase 2 : le nettoyage et la restauration des parements en pierre de taille des gouttereaux du vaisseau principal, exception faite des encadrements de baies, et les parties maçonnées accessibles depuis l'échafaudage. Les zones concernées par les travaux de cette phase sont par conséquent les dossierets des arcs-boutants et les parties maçonnées situées sous le niveau du platelage mis en place sur les couvertures des tribunes. Les parties supérieures (garde-corps, larmier et corniche à crochet) ont été restaurés pendant la campagne de travaux de reconstruction.

- **Les arcs boutants et leurs culées**

- Les travaux comprendront :
 - Le nettoyage et la restauration des volées des arcs-boutants et leurs culées au Nord (F21, F17, F15 F11 et F09) et au Sud (F12, F16, F18 et F20) dont l'état de conservation est plus satisfaisant.
 - La reconstruction des volées des arcs-boutants et leurs culées au Nord : F19 et F13 et au Sud F14 et F22
 - La reconstruction des volées des arcs boutants et leurs culées à l'Est, F03, F04 et F10
 - La restauration des arcs boutants à simple volées et leurs culées à l'Est, F01, F02, F05, F06, F07 et F08

- **les tribunes**

- Les travaux comprendront :
 - le nettoyage et la restauration des élévations des tribunes, garde-corps compris ;
À noter : les fleurons des garde-corps des terrasses hautes ont été déposés dans le cadre des travaux de sécurisation de la cathédrale pour permettre l'installation des cintres des arcs-boutants et ont été stockés dans un local provisoire. L'entreprise en charge de ces ouvrages devra leur récupération, l'établissement d'un état sanitaire complet et, en lien avec l'ACMH, la proposition d'un programme de travaux (restauration ou réfection à neuf selon leur état de conservation) ;
 - la restauration en atelier des panneaux de vitraux et armatures des baies des tribunes ;
 - les toitures terrasses en pierre des tribunes au niveau supérieur, initialement prévues au sein du chantier de « Reconstruction »- DCE5, seront réalisés après dépose des cintres et planchers ;

- **Les réserves**

- Les travaux comprendront :
 - Extérieur*
 - le nettoyage et la restauration des élévations des réserves
 - les couvertures des réserves en plomb

- **Les élévations des chapelles**

- Les travaux comprendront :
 - le nettoyage et la restauration des élévations des chapelles toutes hauteurs, compris des reprises ponctuelles en intérieurs, lors du remplacement de pierres d'encadrement de baies ;
 - le chemisage en plomb des chéneaux et gargouilles. Dans ce cadre, sera également entrepris les modifications très ponctuelles des chéneaux alimentant les deux gargouilles recrachant les eaux pluviales récoltées dans l'espace public, côté rue du cloître. Ces dernières seront, par le reprofilage de contre-pente, condamnées et les eaux seront renvoyées vers d'autres gargouilles.
- Dans le cadre de l'opération de reconstruction, ont déjà été traités :
 - les toitures-terrasses en pierre des chapelles.
 - Une partie des améliorations des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales au droit des gâbles des élévations des chapelles.



Interventions projetées

Déplombage et nettoyage

Avant toute opération de nettoyage et de restauration, le plomb déposé sur les maçonneries sera supprimé par aspiration THE.

A ce procédé, succédera, pour les zones présentant des dépôts de croûtes noires, un nettoyage complémentaire par micro-abrasion. Un média de type « archifine » sera employé pour les parements unis tandis qu'un média dur type « corindon » sera privilégié pour les parements moulurés et sculptés. Le diagnostic établi en 2015 avait permis de mettre en évidence qu'un nettoyage par micro-abrasion permettait de réduire de près d'un tiers la pollution au plomb des parements.

Les rejaillissements de plomb fondu au pied des murs gouttereaux, sur les parements et sur les toitures en dalles de pierre, seront enlevés à l'outil. Il en sera de même pour les coulures et dépôts dans les rigoles des arcs-boutants des tribunes.

Restauration des maçonneries

Le choix des pierres de substitution

Le choix des pierres de substitution est un des problèmes cruciaux de cette vaste campagne de restauration qui s'annonce. La multiplicité des pierres mises en œuvre depuis le XIX^{ème} siècle, ainsi que les mortiers utilisés, sont la principale cause des dégradations observées.

Les natures des pierres mises en œuvre dans la cathédrale sont connues par le biais des attachements figurés, couplés par les analyses qui ont été menées sur différents échantillons.

Les carrières ayant servi tant à la construction de la cathédrale à l'époque médiévale, qu'à sa restauration par Viollet-le-Duc au XIX^{ème} siècle ne sont pour la plupart plus en activité. La restauration de la cathédrale nécessitant un volume important de pierre neuve, il a fallu déterminer les possibilités qui existaient de remplacement ou substitution de pierres. Une mission réalisée par le BRGM a permis de recenser les carrières susceptibles de correspondre le mieux aux maçonneries de la cathédrale, tant d'un point de vue esthétique que mécanique.

Le rapport établi par la BRGM a permis de sélectionner les pierres utilisées en remplacement dans la phase de reconstruction suite à l'incendie.

Il a permis de compléter les investigations menées par le LRMH et l'entreprise ECMH sur l'arc-boutant G10, dans le cadre de l'étude de diagnostic d'octobre 2015 portant sur la restauration du chevet ¹. Également, l'expérience des travaux réalisés en phase II a permis d'affiner le choix de certaines natures de pierre.

Les pierres de substitution envisagées sont les suivantes :

- la pierre dure H4 de la carrière de la Croix Huyart (Aisne) pour les claveaux ou les pierres recevant une charge et une pression importante, ainsi que pour les pierres particulièrement soumises aux intempéries et au ruissellement (fleurons, gargouilles et glacis),
- la pierre Banc 3 de Saint-Maximin (Oise), ou la roche franche construction de Saint-Maximin (Oise), pour les maçonneries de remplissage, les murs gouttereaux, ainsi que les culées des arcs-boutants ;
- la pierre franche fine de la carrière de Saint Maximin (Oise) ou la H4 demi dure de la Croix Huyart pour les élévations des tribunes et des chapelles ;
- Le petit liais de Saint Maximin, qui présente des caractéristiques mécaniques et esthétiques proches de celles de la H4 dure de la Croix Huyart, pour les parties exposées
- Le liais de Saint Maximin a également été prescrit pour les éléments en fort dévers, et très exposé comme les dalles de couverture ou les gargouilles.

Le changement de pierres

De manière générale, on conservera évidemment le plus de pierres possibles. Seules celles qui, du fait de leur fragilisation et de la perte de leurs qualités structurelles, ne peuvent plus assurer la solidité de l'ouvrage, seront remplacées.

Selon le cas de figure, le remplacement de pierres altérées pourra répondre à deux critères distincts. Le premier consistera à privilégier la conservation du matériau originel (notamment pour les parties sculptées ou moulurées). Pour ce faire, on privilégiera, dans la mesure du possible, le recours aux greffes ou aux bouchons lorsque la pierre ne sera que partiellement altérée et que son état ne remettra pas en question la stabilité de l'ouvrage. Un joint marbrier réduira visiblement la jonction entre la partie ancienne et nouvelle. Le second, privilégiera, dans des cas particuliers, la conservation du calepin à celui de la matière ancienne et la pierre altérée sera remplacée dans son intégralité.

Afin d'harmoniser les pierres neuves avec les parements existants, on les vieillira manuellement à l'outil et elles pourront ponctuellement recevoir un badigeon léger d'harmonisation à base de lait de chaux. Un traitement biocide préventif sera appliqué sur les parties les plus exposées aux intempéries.

Le phasage des travaux par arc-boutant indiqué au présent dossier est à suivre scrupuleusement, de façon à ne pas risquer la déstabilisation des structures de la cathédrale.

¹ Cathédrale Notre-Dame de Paris - Diagnostic complémentaire - Restauration des arcs-boutants et des murs gouttereaux du chevet - Philippe Villeneuve - Architecte en Chef des Monuments Historiques - Octobre 2015

Les ragréages

On aura recours au ragréage avec parcimonie, afin d'éviter les grandes surfaces, dont on sait qu'elles ne se comportent pas comme les pierres, tant sur le plan esthétique (tendance à absorber davantage les salissures et la poussière que les pierres) que structurel. On utilisera un mortier de type Altar, selon les conclusions de l'étude de 2015 et les travaux menés pour la reconstruction.

Avant toute opération de consolidation ou ragréage, si la présence de sels est soupçonnée, les parements seront préalablement dessalés à l'aide de compresses (1 vol.de cellulose / 1vol.de sable / 2 vol. d'attapulgit) appliquées à la main en deux ou trois passes. Un travail de teinte (aspect des grains, coloration du mortier, veines d'oxydes de fer) et d'aspect (traitement des joints, finition coquillée, traces d'outils) sera réalisé afin d'harmoniser les surfaces ragréées et les épidermes de pierre conservés.

Les joints

Tous les parements seront déjointoyés sur 10 cm de profondeur minimum, afin de purger autant que possible les maçonneries des mortiers porteurs de sels.

Les maçonneries seront ensuite rejointoyées au mortier de chaux et de sable, à l'exclusion de tout autre adjuvant, exception faite des parties les plus exposées aux eaux de ruissellement (glacis, rigoles de récupération des eaux pluviales, etc.) qui seront traitées au mortier de chaux additionné d'hydrofuge.

La teinte et la granulométrie du mortier varieront afin que le résultat obtenu ne soit pas trop régulier.

Les gargouille, pinacles et fleurons

La stabilité et l'état de conservation des éléments de couronnement et de décors sculptés seront systématiquement vérifiés, notamment au niveau des pinacles, des édicules au-dessus des culées et des garde-corps.

Les pinacles des culées du chœur qui, pour certains ne sont plus que de simples pyramides, tronquées, dépourvues de la plupart de leurs crochets, ou dont les assises traversées par les rigoles des arcs-boutants ne sont plus tenues que par des frettages de sangles et de bois, seront démontés et refaits à l'identique.

Les gargouilles seront toutes systématiquement vérifiées, comme elles l'ont déjà été lors des travaux de sécurisation, et seront déposées en cas de fracture ou de fissure constatée. Selon le cas et l'état des pierres, on procédera à leur remplacement à neuf en totalité ou on aura recours à l'utilisation de greffes. Celles qui ont disparu seront restituées.

Les décors, crochets ou feuillages seront refaits à l'identique, par la mise en œuvre de bouchons de pierres, avec joints marbrier ou ordinaire, selon le cas.



Travaux sur les arcs-boutants

La majorité des grands arcs-boutants est aujourd'hui sur cintre. Les petits cintres ainsi que l'arc F22, et la volée supérieure de l'arc F21 devront être remis sur cintres.

Le démontage des arcs-boutants impliquera la mise en place de méthodes d'étalement permettant la reprise des poussées des voûtes. Afin de faciliter la mise en œuvre des étalements, le projet propose dans un premier temps la reprise complète des culées, en réalisant le changement des pierres en tiroir, afin de ne pas déstabiliser les structures. Lors de cette phase, les arcs seront mis en charge sur les cintres actuellement en place, par le biais d'un couchis en interface. Dans un second temps, le système d'étalement doublé à un dispositif de vérins sera mis en place, dans le plan de l'arc, en reprenant les poussés sur la culée restaurée. Ces installations devront faire l'objet d'une instrumentation précise. Le cintre pourra alors servir de coffrage pour le remontage des claveaux de l'arc.

Pour certains arcs-boutants, l'état déplorable des maçonneries ne permettra pas le maintien complet de la culée. Pour ces derniers, une solution d'étalement utilisant la structure métallique du plancher des terrasses hautes est proposée. Le report des charges de l'arc pourra alors être fait directement dans les structures, qui elles-mêmes répartiront les poussées sur les arcs-boutants adjacents.

Les dispositions concernant la présence de la feuille de plomb en étanchéité sous la rigole seront vérifiées lors des démontages, et seront reconduites si constatées.

Restauration des éléments sculptés

Les éléments sculptés, simplement décoratifs ou ayant une fonction comme l'évacuation de l'eau, et qui foisonnent un peu partout, sont souvent très altérés, rongés, fragiles et illisibles, quand ils n'ont pas tout simplement disparu. Ils seront restitués.

Le fond iconographique de la restauration du XIX^{ème} siècle étant conséquent, les propositions de restitution des éléments sculptés s'en inspireront pour établir une proposition de restitution pertinente. On pourra sans doute, dans une certaine mesure, vérifier si les dessins en notre possession, portant la mention « bon pour exécution » et une localisation, de la main de Viollet-le-Duc, correspondent bien à ce qui fut mis en place et, dans la mesure du possible, prévoir leur restitution exacte... Les sculptures lacunaires nécessitant des compléments pourront être traitées dans la loge de modelage mise à disposition des sculpteurs sur site. Après validation des modèles par la MOE, la sculpture sera réalisée dans les ateliers des entreprises.

Le remplacement des parties altérées sera effectué par greffe afin de conserver un maximum la matière ancienne. Les sculptures remplacées seront déposées avec soin pour être entreposées dans le dépôt désigné par la MOA. Les sculptures sur lesquelles des sels sont soupçonnés seront dessalées à l'aide de compresses selon le même protocole que les maçonneries. Un traitement de consolidation à base de silicate d'éthyle ou par bio-minéralisation sera ensuite appliqué sur les épidermes dessalés en cas de pulvérulence ou perte de cohésion légère en surface du parement. Des solins en mortier additionné de poussière de pierre seront mis en œuvre sur les fissurations et toutes les parties susceptibles de laisser l'eau pénétrer.

Installation du paratonnerre

Les installations du paratonnerre avaient été très endommagées par l'incendie avec la perte des pointes caprices de la flèche et du chevet ainsi que tous les conducteurs situés sur les couvertures de la flèche et du grand comble. Les travaux de la phase II ont permis la remise



en état du système de protection de la cathédrale selon les dispositions qui avaient été prévues lors des travaux de mises en conformité effectués entre 2011 et 2013 et les conclusions du rapport de vérification de l'installation effectuées pendant les travaux de sécurisation. L'ensemble de l'installation est donc opérationnel. Cependant, les installations de chantier n'ont pas permis l'accès à une zone située au Nord Est du chevet (entre l'arc-boutant F09 et l'arc-boutant F04), sur laquelle une installation provisoire de bouclage en pied a été mise en place, et à la vérification de la conformité de la prise de terre située dans cette zone au droit de la file 04.

Par ailleurs, les installations (conducteurs et feuillards) présents sur les maçonneries du chevet feront l'objet d'une dépose et d'une repose par le lot paratonnerre, en accompagnement du lot 04 afin de permettre la restauration des parements et maçonneries, supports de ces installations.

Sont ainsi concernées : les maçonneries verticales des chapelles et maçonneries de couronnement des arcs-boutants, les maçonneries basses des pinacles entre couvrement des arcs-boutants et élévations de chapelles, les couvertures en pierre des terrasses basses le cas échéant, dans l'emprise des travaux au droit de l'arc boutant de la travée F09 (côté Nord-Est) et au droit de l'arc boutant F04 (côté Sud-Est) depuis le chemin de ronde jusqu'aux prises de terre situées au pied de l'édifice, au droit des travées 21 (côté Nord) et 22 (côté Sud) depuis l'arrivée des conducteurs depuis les maçonneries de l'élévation Est du transept sur les parements des terrasses et chapelles jusqu'aux prises de terre situées en pied d'édifice

À l'issue des travaux de restauration du chevet, après la dépose des échafaudages au droit des élévations des chapelles, les installations seront pérennisées sur la partie Nord-Est de l'édifice par la mise en place d'un conducteur définitif enterré permettant le bouclage complet autour de la cathédrale. Lors de ces travaux, les grilles de clôture rue du cloître Notre-Dame seront connectées à la liaison équipotentielle périphérique. L'achèvement de la mise en conformité de l'installation se fera par la vérification de la prise de terre située au droit de la file 04 (prise de terre n°6), la création d'une nouvelle prise de terre le cas échéant et la réalisation d'un regard de visite normatif au droit de la liaison entre les conducteurs de façade et la prise de terre.

Pour ce faire, les travaux concernant l'installation paratonnerre seront reportés sur deux lots : sur le lot 10_{CHVT} pour ce qui relève des travaux techniques spécifiques de l'installation proprement dite et sur le lot 04_{CHVT} pour ce qui concerne les déposes et poses des revêtements de sols (dallage et/ou pavage), les terrassements et remblaiements au droit de la prise terre nouvellement créée et du ceinturage entre les files 04 et 09. Les installations paratonnerre enterrées prendront place dans les dispositifs fournis et posés par ce même lot 04_{CHVT} : regard en béton et fourreau

•

5 - Les moyens d'accès et protections diverses

Les moyens d'accès

Dans le cadre de la sécurisation du monument, les moyens d'accès par échafaudages de pieds ont été disposés place au droit des murs gouttereaux du chœur, des planchers ont été mis en place au niveau des terrasses hautes du chœur pour permettre la fixation des cintres.

Dans le cadre de l'évolution des installations pour la phase 2 de Post 2024, une partie de ces installations seront maintenues jusqu'à la fin des opérations de la phase 2. Toutefois, le phasage des travaux impose une évolution des moyens d'accès en parallèle de l'évolution des restaurations.

- **les arcs boutants et leurs culées**

- Les échafaudages des gouttereaux mis en place pour le chantier de sécurisation seront déposés pour permettre la mise en place de nouveaux échafaudages de part et d'autre des arcs-boutants jusqu'aux culées ;
- Les cintres des arcs-boutants nécessitant d'être reconstruits dans le cadre de la restauration, mis en place pendant la phase de sécurisation, seront maintenus et auront une double fonction de buton et de coffrage.
- Des cintres seront installés sous les petits arcs ainsi que sous l'arc 22 et la volée supérieure de l'arc 21 afin de réaliser les travaux correspondants.

- **les tribunes**

- Des échafaudages au-devant des élévations des tribunes seront à prévoir ;
- La dépose et pose des vitraux des tribunes se fera par l'intérieur pour les élévations Nord et Sud, par l'extérieur pour les baies des tribunes au niveau du « rond-point ». Des échafaudages intérieurs, au-devant de ces ouvrages seront à prévoir, en appui sur le sol des tribunes. L'évacuation et l'approvisionnement des caisses de vitraux devront se faire par l'extérieur afin d'éviter l'installation d'une sapine d'approvisionnement intérieur, jusqu'au niveau du rez-de-chaussée.
- Ces échafaudages devront être protégés pour satisfaire une exigence SS4 pour l'amiante. Des sas seront installés à l'intérieur pour les déposes Nord et Sud par l'intérieur, et à l'extérieur pour les baies du rond-point, qui seront déposées par l'extérieur.


•

6 - La contrainte plomb

Contamination plomb

Les différentes campagnes de mesures surfaciques réalisées sur les façades extérieures du chevet de la Cathédrale ont mis en évidence la présence d'une contamination par les poussières de plomb qu'il nous appartient d'intégrer dans l'analyse des risques pour les futurs travaux.

Les résultats des tests affichent une contamination non homogène, non excessivement élevée, avec une valeur moyenne à 4 167 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ mais aussi avec des pics importants à 19 595 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ et à 13949 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ sur l'élévation sud du Chœur.



MESURES SURFACIQUES ELEVATIONS EXTERIEURES CHŒUR	
Localisation	Concentration plomb ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)
Elévation Chœur Nord	12271
Elévation Chœur Nord	5352
Elévation Chœur Nord	410
Elévation Chœur Nord	326
Elévation Chœur Nord	382
Elévation Chœur Nord	1978
Elévation Chœur Nord	1997
Elévation Chœur Est	7625
Elévation Chœur Est	2116
Elévation Chœur Est	738
Elévation Chœur Est	3880
Elévation Chœur Est	1402
Elévation Chœur Est	418
Elévation Chœur Sud	19595
Elévation Chœur Sud	920
Elévation Chœur Sud	13949
Elévation Chœur Sud	754
Elévation Chœur Sud	903

Le repérage des revêtements en plomb, réalisé à l'aide d'un appareil à fluorescence X, ne détecte sur les parements extérieurs aucune peinture au plomb ; du plomb métal est toutefois présent en scellement des pierres au niveau des joints coulés au plomb, au niveau des éclaboussures de plomb fondu suite à l'incendie, des chemisages des chéneaux et des couvertures en tables de plomb coulées sur sable.

La présence de plomb dans le périmètre d'intervention et le risque d'exposition à cet élément pour les intervenants de cette opération ont porté au choix d'imposer à ces travaux la même contrainte plomb que le chantier de reconstruction.

L'organisation envisagée prévoit de déployer, au niveau des installations chantier et des protections collectives mises en place, tous les moyens de prévention pour limiter le risque d'exposition au plomb :

Organisation du chantier

Chantier clos et indépendant avec une séparation étanche entre la zone chantier dite « zone sale » et la zone base vie dite « zone propre » et des unités de décontamination à l'humide (douches) situées en tampon entre la zone sale et la zone propre.

Conditions d'accès/sortie du chantier

Accueil sécurité avec sensibilisation plomb pour tous les intervenants y compris les visiteurs
Accès au site autorisé uniquement au personnel formé au risque plomb
Suivi individuel renforcé (SIR) avec contrôle plombémie sous avis du médecin du travail
Douche obligatoire à chaque sortie de la zone sale

Installations de chantier

Base vie avec vestiaire « sale » et vestiaire « propre » et attribution de double casier par opérateur
Equipe de nettoyage des parties communes du chantier à demeure sur place pour assainir et contrôler le niveau d'empoussièrement du chantier assurant les actions correctives nécessaires
Surveillance météorologique hebdomadaire pour contrôler l'évolution des taux de plomb

Organisation des travaux

Mode opératoire plomb à établir, précisant le choix des techniques moins émissives en poussières et les moyens mis en place pour éviter la dissémination de poussières
EPI plomb avec adaptation des protections respiratoires suivant résultats des contrôles VLEP

Gestion du matériel

Procédure de décontamination du matériel et des engins au jet d'eau avec récupération et traitement des effluents
Décontamination des éléments d'échafaudages
Gestion centralisée du nettoyage des EPI non jetables

Gestion des déchets solides et liquides

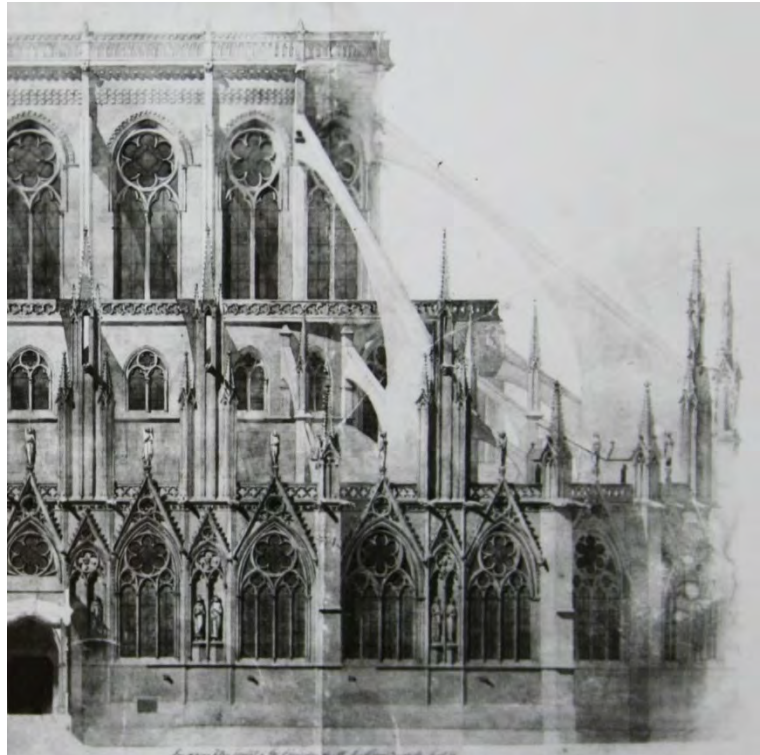
Caractérisation de chaque déchet solide issu de travaux par test de lixiviation
Caractérisation de chaque déchet liquide par analyse MES (Matière en Suspension) et teneur en plomb
Gestion centralisée des déchets solides et liquides du chantier par le titulaire du lot Installations chantier – Utilités plomb
Traitement des déchets solides du chantier par évacuation en ISDI (Installation de Stockage des Déchets Inertes), ISDND (Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux) et ISDD (Installation de Stockage des Déchets Dangereux)
Traitement des déchets liquides du chantier par décantation et filtration, avant rejet dans le réseau d'assainissement de la ville

• • •



5

Les pinacles



- 1- Définition des limites de l'opération
- 2- Description architecturale
- 3- Synthèse de l'Etat sanitaire
- 4- Interventions projetées
- 5- Moyens d'accès
- 6- La contrainte plomb





Sommaire

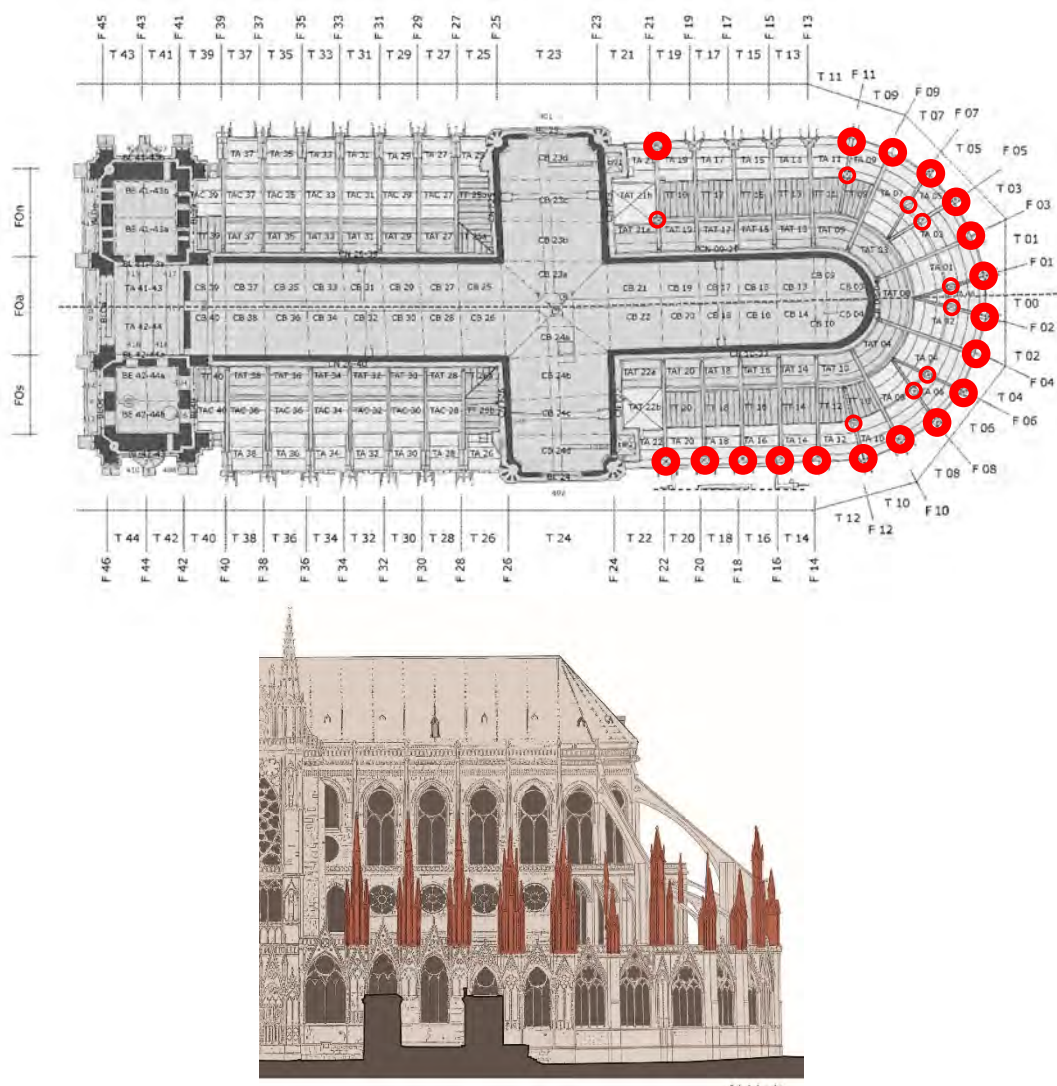
1 - DEFINITION DES LIMITES DE LA PRESENTE OPERATION.....	99
2 - DESCRIPTION ARCHITECTURALE	100
LES PINACLES	101
<i>Les grands arcs-boutants</i>	<i>101</i>
<i>Les petits arcs-boutants</i>	<i>103</i>
3 - SYNTHESE DE L'ETAT SANITAIRE.....	104
PREAMBULE ET GENERALITES.....	104
ETAT SANITAIRE DES MAÇONNERIES	104
<i>Analyse des causes des altérations</i>	<i>105</i>
<i>Les pinacles.....</i>	<i>106</i>
4 - INTERVENTIONS PROJETEES.....	108
TRAVAUX PREALABLES, EN COURS OU REALISES	108
<i>Travaux d'urgence - sécurisation.....</i>	<i>108</i>
<i>Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction.....</i>	<i>108</i>
PARTI DE RESTAURATION	109
INTERVENTIONS PROJETEES	110
<i>Déplombage et nettoyage.....</i>	<i>110</i>
<i>Restauration des maçonneries</i>	<i>111</i>
<i>Restauration des éléments sculptés</i>	<i>113</i>
<i>Installation du paratonnerre</i>	<i>113</i>
5 - LES MOYENS D'ACCES ET PROTECTIONS DIVERSES.....	115
<i>Les moyens d'accès</i>	<i>115</i>
<i>Les protections.....</i>	<i>115</i>
6 - LA CONTRAINTE PLOMB.....	116



1 - Définition des limites de la présente opération

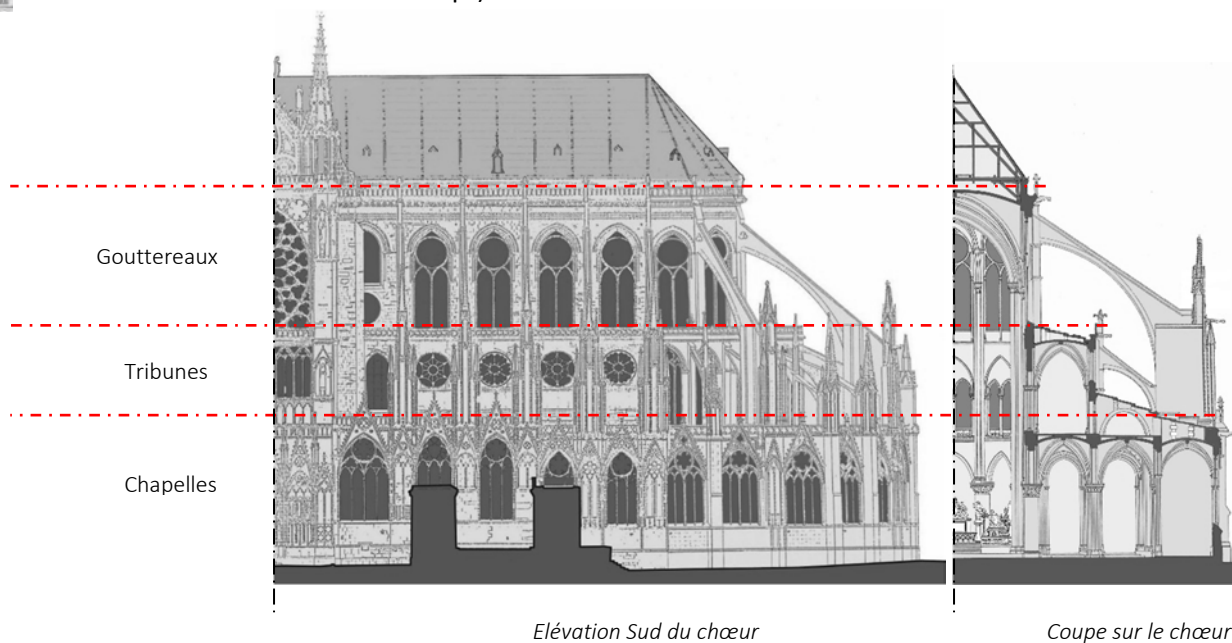
Lors des travaux de reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019, une partie des maçonneries a été restaurée, et n'est par conséquent pas à prendre en compte dans la présente étude. Ces travaux concernent :

- Les gardes corps du chemin de ronde qui ont été entièrement restaurés jusqu'au niveau de la frise de corniche, ainsi que les fleurons.
- Les pierres de jambage et de remplage des baies haute ont fait l'objet de remplacement et nettoyage, à l'occasion des travaux de restauration des vitraux des baies hautes.
- Dans le cadre d'un marché similaire, les maçonneries des gouttereaux (hors celles qui demeurent inaccessibles en raison de la présence des étaielements et installations de la phase II) font également l'objet d'une restauration et d'un nettoyage. Ces interventions concernent aussi les façades en retour des bras de transept.
- La couverture en dalle de pierre des chapelles a fait l'objet d'important travaux de restauration.
- Les pinacles au Nord des files F13, F15, F17 et F19 ont fait l'objet d'un remplacement d'urgence.



2 - Description architecturale

Le chœur, dont le plan est constitué de deux travées sexpartites et d'une abside à cinq pans, offre, sur trois niveaux successifs, des élévations qui se développent en rayonnant autour du chevet. Au premier niveau, les chapelles du déambulatoire présentent ainsi 23 travées, celui des tribunes, 18 travées (sans les retours côté Est), et celui des gouttereaux, 15 (sans les retours Est des croisillons du transept).



Les pinacles

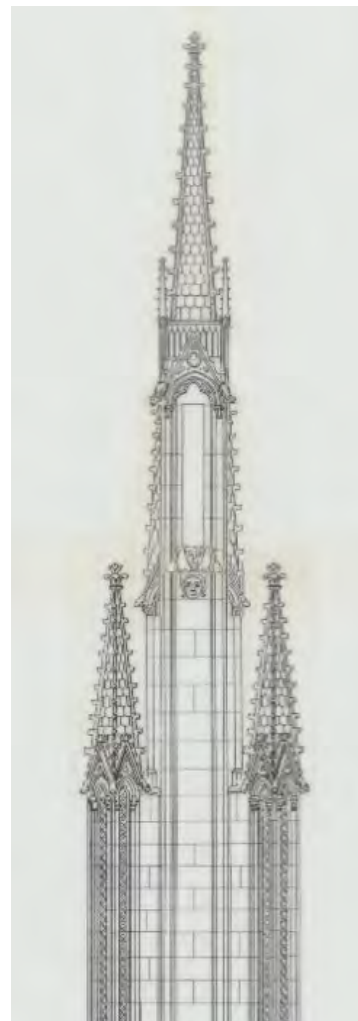
Les pinacles se situent en couronnement des culées de tous les arcs-boutants du chevet. On dénombre 13 grands arcs-boutants sur le pourtour du chevet, 8 autres étant des « petits » arcs-boutants autour du rond-point, et le dernier sur la file F21, étant à double volée. L'homogénéité de leur principe constructif se caractérise par une maçonnerie en grand appareil, à arcs à rouleaux simples et à chéneau tangentiel à l'extrados de l'arc terminé par une gargouille saillante.

Les grands arcs-boutants

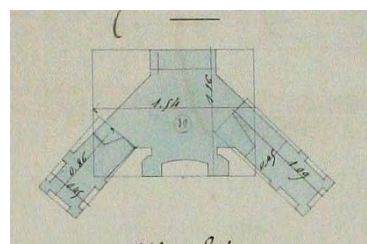
De compositions identiques, ces extrémités des culées sont constituées d'un pinacle principal s'élevant au-dessus de l'évacuation des chéneaux des arcs boutants, flanqués à leurs bases de deux pinacles latéraux plus petits, orientés à 45° par rapport au plan de la façade. Sur les pinacles inférieurs, la maçonnerie de plan carré est ornementée d'une tapisserie géométrique et florale en bas-relief sur ses faces côté rue. A chacun des angles, on trouve une colonnette engagée couronnée d'un chapiteau à décor végétal. Ces chapiteaux servent de support à quatre gâbles ajourés d'un trilobe surmontant des arcs trilobés. Un petit pinacle et des figures historiées flanquent ces gâbles, et des crochets ornent leurs rampants. Un pyramidion à crochets et décor de fausses tuiles s'élève au-dessus de l'ensemble.

La maçonnerie de la base du pinacle, lisse, est soulignée latéralement de colonnettes engagées et de moulures filant sur la totalité de sa hauteur. De part et d'autre se trouvent deux petits pinacles engagés, à colonnettes, chapiteaux, gâbles et pyramidions à crochets. La partie sommitale du pinacle adopte la forme d'un petit pavillon et la composition courante à savoir les colonnettes à chapiteaux à décors végétaux encadrant un arc trilobé surmonté d'un gâble ajouré d'un quadrilobe, orné sur ses rampants de crochets et fleuron sommital. Des figures historiées sont placées en amortissement. La composition est percée d'une ouverture oblongue, s'élevant jusqu'à la base de l'arc trilobé. A la base de cette ouverture, est placée la gargouille évacuant les eaux issues de la rigole de l'arc-boutant, positionnée au-dessus d'un mascarón zoomorphique.

Au sommet, le pyramidion très élancé est décoré de fausses tuiles et de crochets, et surmonté d'un fleuron. A l'arrière des gâbles, à la base du pyramidion, on trouve un décor spécifique à ce type de pinacle : sur une assise de plan carré, on trouve sur chacune des faces un décor de huit arcatures ajourées en forme de lancette à arc trilobé, et un petit pinacle élancé à chaque angle.



B.Fonquernie – contrefort A 16
– Février 1999



Eugène Viollet-le-Duc, architecte,
« 20^{ème} contrefort à droite du transept méridional » (F17),
attachement figuré n° 52, s.d.
[1856] MAP 1996-083 n°55771-10 [cliché REA], Détail

Ce modèle se retrouve sur la majorité des arcs-boutants du chevet, et est décliné du côté Sud sur les files 14 et 16, où les pinacles engagés sont décollés du pinacle principal et sont accolés, en reprenant les mêmes modénatures que les autres. Augmentés en hauteurs, leurs gâbles se trouvent à la même hauteur que ceux du pinacle principal, et leurs pyramidions montent à mi-hauteur du pyramidion central.

L'arc-boutant de la travée 21 possède des dispositions qui lui sont spécifiques : seul grand arc-boutant à deux volées, il porte en tête un décor composé d'un arc trilobé supporté par des colonnettes engagées, et une colonne surmontée d'un chapiteau feuillagé. Ce décor feuillagé se répète sur le gouttereau formant une console en support de la colonnette.

Entre les deux arcs se situe un pinacle intermédiaire qui présente un décor spécifique : sur la hauteur de l'arc, on retrouve, flanqués de part et d'autre, deux compositions formant des sortes de contreforts. Ces excroissances sont surmontées de gâbles percés de décor en trilobe, et posés sur des figures historiées. Crochets et fleurons habillent ces gâbles. De part et d'autre de ces contreforts, se retrouvent deux pinacles engagés, reprenant le même vocabulaire. Les pyramidions de tous les pinacles sont de base carrée, et possèdent des crochets stylisés sur leurs arêtes. La partie supérieure de ce pinacle intermédiaire est constituée d'un pinacle central de section carrée, flanqué sur chacune de ses faces de pinacles accolés, constitués de colonnettes supportant des gâbles percés de trilobes, posés sur des chapiteaux à décors feuillagés. De part et d'autre de chacun des gâbles se trouvent des petits pinacles dont le décor est, de bas en haut, le suivant : une base lisse hexagonale, surmontée d'un décor de canules verticales. Au-dessus une double bague moulurée enserme un décor constitué de petits quadrilobes en creux. Au-dessus une autre série de canules ici habillées d'un décor en pointe de diamant, est surmontée de petits gâbles, sur lesquels reposent unes petits pyramidions, de plans carrés, eux-mêmes couronnés d'un fleuron feuillagé. Le pinacle principal est surmonté un fleuron à double registre de décor feuillagé.

Le vocabulaire stylistique original de ce pinacle est également présent sur la culée de l'arc-boutant. Il se décline ici en pavillon abritant trois statues représentant les rois mages. Sur le dais qui les surmonte on trouve des gâbles trilobés avec crochets et fleurons ainsi qu'un pyramidion central et quatre petits pinacles à chacun des angles, soutenus par des colonnettes à chapiteau feuillagés. Une cinquième colonnette située au centre de la face principale de la culée soutient la gargouille qui évacue les eaux ruisselant sur l'arc-boutant. A sa base un visage est sculpté, juste au-dessus du larmier.



Les petits arcs-boutants

Les pinacles des petits arcs-boutants présentent des dispositions différentes :

On trouve deux types de pinacles sur les petits arcs-boutants :

- Le premier concerne les deux arcs-boutants situés sur l'axe du rond-point : la culée est surmontée d'une frise à crochets supportant un larmier. Au-dessus, un dais soutenu par 4 colonnettes et formé de 4 gâbles trilobés, portant crochets et fleurons, rempli de maçonnerie sur sa moitié forme une niche à statue. A chacun des angles, des figures historiées forment amortissement. Au-dessus, le pinacle reprend le vocabulaire stylistique des grands arcs-boutants, avec décor d'arcatures, petit pinacles et pinacle principal. Un pinacle intermédiaire est également présent sur ces arcs à double volée, ses caractéristiques sont similaires à celles du pinacle principal, exception faite du doublement des colonnes engagées.



- Les autres petits arcs-boutants sont également constitués de deux volées, avec un pinacle intermédiaire similaire à celui décrit précédemment. Sur la culée en revanche, les dispositions sont différentes : au-dessus de la culée, au niveau des terrasses basses, le contrefort reçoit un décor d'arcatures aveugles doubles, composé de colonnettes engagées surmontée d'arcs trilobés, supportant un quadrilobe inséré dans un arc en ogive. Le gâble au-dessus porte fleuron et crochets, et le pinacle principal de section carré est habillé de fausses tuiles. Sur la face située du côté de l'arc-boutant, se développe sous le gâble un petit pavillon recevant un passage. Il est surmonté d'une couverture de pierre à deux pans, décoré également de fausses tuiles.



•

3 - Synthèse de l'état sanitaire

Préambule et généralités



La cathédrale a fait l'objet d'une vaste restauration menée au XIX^{ème} siècle, qui a touché toutes ses parties. Depuis, de nombreuses interventions, plus ponctuelles, ont été effectuées. Chacune y a apporté les matériaux, les méthodes et les partis de restauration propres à son époque.

Ces différentes interventions sur un monument qui reste malgré tout parfaitement médiéval, ont également provoqué en s'accumulant, et parfois en interférant les unes avec les autres, des désordres qui ont modifié les qualités des matériaux et provoqué des altérations plus ou moins graves et dangereuses pour la stabilité ou la conservation du monument.

La dernière campagne d'envergure menée sur la cathédrale fut la restauration du massif occidental, en vue des célébrations pour l'entrée dans le troisième millénaire (quoique les élévations Est et Nord de la tour Sud n'aient pas été traitées). La flèche constituait le dernier programme mis en œuvre, auquel allaient succéder celui du chevet et de la sacristie...

Avant l'incendie, en effet, une étude approfondie sur le chevet avait été menée. Elle avait notamment porté sur une culée et un arc boutant, ainsi que le mur gouttereau correspondant, estimés représentatifs des multiples pathologies repérées sur l'édifice. Cette étude a permis de déterminer la nature des différentes pierres, des joints et des mortiers de pose mis en œuvre par des prélèvements et des analyses, d'identifier les pathologies et d'en trouver les causes. Cette étude est donc toujours d'actualité et sert de référence à toute l'étendue du monument.

L'incendie survenu le 15 avril 2019 a interrompu les études alors en cours et a dirigé l'attention et les travaux vers les parties qui avaient été endommagées, qui ont été menées lors de la phase II.

Les pinacles des culées des arcs-boutants n'ont pas été atteints par les conséquences de l'incendie. Cependant, leur état sanitaire est pour la plupart d'entre eux, resté alarmant. Si une partie des travaux a pu être réalisée sur les quatre pinacles les plus détériorés situés au Nord du chevet, des interventions importantes sont nécessaires sur les autres culées.

Etat sanitaire des maçonneries

Les pinacles du chevet de la cathédrale présentent un état sanitaire général relativement mauvais.

Leur exposition aux éléments et la finesse de leurs décors ont accéléré les phénomènes de dégradation qui peuvent être constatés. Côté Nord, quatre pinacles ont été restaurés durant la phase II des travaux. Côté Sud, certains d'entre eux sont en relativement bon état en raison de leur réfection à la suite de la tempête de 1999. Ils sont cependant à diagnostiquer une fois les échafaudages mis en place et à nettoyer.

On retrouve sur les pierres constituant les pinacles les mêmes pathologies que celles constatées sur l'ensemble du monument :

Altérations de surface : sur la surface des pierres, on retrouve différentes pulvérulence et érosions, et desquamations qui sont des phénomènes évolutifs qui à terme entraînent la destruction de la pierre. Liées à la fois à l'exposition aux intempéries et au vent et à la composition de certains mortiers ayant servi pour les joints, ces pathologies sont omniprésentes sur les maçonneries des pinacles.

Altérations mécaniques : les altérations mécaniques présentes sur la cathédrale sont toutes également présentes sur les pinacles. Ainsi, on peut constater différentes fissures, fractures ou lacunes résultant de mouvements ou encore causées par l'exposition aux intempéries. Ces pathologies sont principalement présentes dans les parties ouvragées ou saillantes des maçonneries, notamment les sculptures et autres décors présents sur les pinacles.

Altérations chromatiques : Des altérations chromatiques sont présentes sur les maçonneries des pinacles. On peut constater la présence de croûtes noires, issues essentiellement de la pollution atmosphérique. Également, des colonisations microbiologiques peuvent être observées sur certaines parties des maçonneries, notamment celles situées du côté Nord, ou encore sur les surfaces ouvragées des décors. Un certain nombre de traces de ruissellement sont également visibles sur les maçonneries.

Analyse des causes des altérations

Les principaux désordres affectant les maçonneries de la cathédrale sont dus à plusieurs raisons : d'une part, les multiples campagnes de restauration de la cathédrale, et, d'autre part, l'usure des matériaux liée aux conditions et phénomènes climatiques, ainsi qu'à l'orientation et l'exposition de certaines parties de l'édifice.

Les campagnes successives de restauration ont multiplié les techniques et méthodes de mise en œuvre ainsi que les différents matériaux utilisés.

On note notamment que la composition des mortiers de pose et de joint est relativement variée, et que la plupart de ceux mis en œuvre au XIX^{ème} siècle comportent une grande quantité de plâtre, qui en présence d'eau accélère l'apparition de sels.

Les restaurations menées au cours du XX^{ème} siècle quant à elles ont souvent mis en œuvre un mélange de chaux et de ciment (mortier bâtard), voire de ciment avec du sable.

La forte teneur en sels de tels mortiers, leur dureté et leur imperméabilité supérieures à celle des pierres environnantes qui, de fait, sont les seules voies possibles à leur migration et à leur précipitation, ont accéléré les phénomènes de dégradation des pierres.

Également, la multiplicité des natures de pierres employées dans les différentes campagnes de restauration a pu entraîner diverses pathologies. Notamment, on a pu constater l'accélération de certains désordres, en raison de duretés ou porosités différentielles au sein d'un même parement.

D'anciens traitements de consolidation ont également été constatés sur les parements, confirmés par le journal des travaux de Viollet-le-Duc. Cette silicatisation générale des parements a eu lieu entre 1853 et 1862.

Ce traitement, appliqué probablement sur l'ensemble des parements au XIX^{ème} siècle, n'est aujourd'hui plus que partiellement présent sur les zones abritées et encrassées. De par sa composition, ce procédé entraîne l'hydrofugation de la pierre en créant sur le parement un film étanche et peut être source de sels polluants. Il est donc finalement néfaste à la bonne conservation des parements.

Malheureusement, il n'existe actuellement aucune solution permettant d'éliminer un traitement de consolidation : intimement lié à l'épiderme de la pierre, ce traitement ne peut être retiré sans abîmer la surface du support.

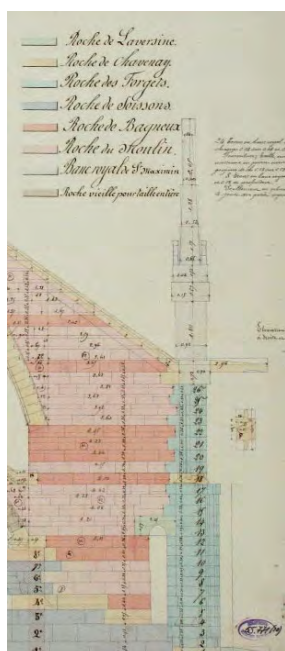
Enfin, les intempéries sont largement responsables de la plupart des dégradations observées.

Les intempéries, le ruissellement ou la stagnation des eaux de pluie, les vents, parfois les tempêtes, l'humidité ou la sécheresse, le gel, le brouillard... tous ces éléments interfèrent dans la conservation du monument.

Les vents dominants et les pluies sont orientés suivant l'axe Sud-Ouest. Une corrélation entre l'action des vents dominants et les pluies orientés Sud-ouest, et le degré d'usure des parements est clairement identifiable : les élévations Sud du chevet et les faces Ouest des arcs-boutants présentent des altérations plus importantes (pierres desquamées, lessivées, etc.) que celles exposées au Nord et à l'Est (pierres plus encrassées, colonisées par les mousses et lichens mais en meilleur état). Enfin, les variations de températures sont plus importantes du côté Sud du fait de l'ensoleillement qui succède aux nuits parfois froides, provoquant des chocs thermiques sur les pierres., ce qui n'est pas le cas au Nord.

Fragiles, saillants et exposés de toutes parts, les décors sculptés sont souvent altérés. Or, par exemple, les gargouilles dont le rôle est précisément d'éloigner les eaux de pluie, sont parfois brisées et contribuent à leur tour à détériorer les maçonneries. De même, lorsqu'un larmier est épaupré, l'eau ruisselle et ronge progressivement les sculptures des corniches.

Les pinacles



Eugène Viollet-le-Duc,
architecte,
« 20^{ème}
contrefort à droite du
transept méridional »
(F17), attachement
figuré n° 52, s.d. [1856]
MAP 1996-083 n°55771-
10 [cliché REA]

Les pathologies des pinacles du chœur sont nombreuses.

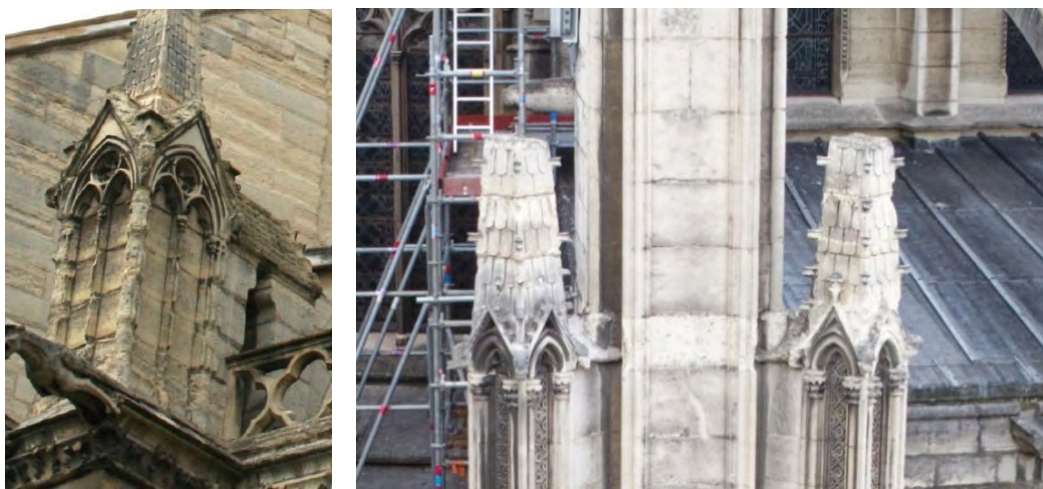
Elles sont principalement dûes à des phénomènes de dégradation, principalement chimique, de la pierre. Cependant, les lourdes pertes de matière subies par les pinacles (notamment la disparition quasi complète de nombreux pyramidions latéraux) modifient sensiblement les charges et pourraient à terme entraîner des destabilisations mécaniques.

Sur la culée de l'arc-boutant F03, un deversement des parties supérieures est engagé, créant une fissuration alarmante.

Les causes de ces pathologies importantes sont identifiables de par l'histoire de ces pinacles : comme l'indique l'historique des travaux, les interventions de restauration ont été moindres les concernant depuis leur remontage complet par Viollet-le-Duc.

Par ailleurs, l'étude des archives graphiques de Viollet-le-Duc indique que les natures des pierres utilisées au XIX^{ème} siècle diffèrent selon leur emplacement. On remarque que la roche des Forgets qui constitue la base des culées n'est plus utilisée ni dans les parties hautes des pinacles (banc royal de Saint-Maximin), ni pour les gargouilles et les blocs les soutenant (roche de Laversine et de Chavenay). Ces différences de dureté des pierres pourraient être à l'origine de certaines pathologies affectant les pinacles.

Les pathologies généralement constatées sont les suivantes :



Une altération des surfaces due à l'érosion et à une desquamation des parements. Au cours des différentes restaurations, plusieurs types de pierres ont été utilisés lors des travaux de substitution. Il en résulte une maçonnerie hétérogène composée d'une multiplicité de pierres de nature différente. Certaines pierres étant incompatibles, il est fortement possible que cela ait accentué le phénomène de dégradation des maçonneries. Des desquamations très importantes sont systématiquement constatées au droit des gargouilles, laissant formuler l'hypothèse d'une infiltration d'eau, au droit de la partie horizontale des rigoles des arcs-boutants.

Des altérations mécaniques de type microfissure ou fracture (selon leur profondeur), sont également à déplorer. De plus, les motifs décoratifs et sculptés sont très souvent lacunaires, comme les chimères qui amortissent les angles des fleurons et autres. Les nombreuses ouvertures de joints sont également préoccupantes.

On constate sensiblement les mêmes altérations et lacunes sur la majorité des pinacles : disparition quasi-totale des pyramidions latéraux et des décors fins à arcature, usure très importante de l'assise recevant la gargouille, et érosion générale des parties supérieures.



•

4 - Interventions projetées



Travaux préalables, en cours ou réalisés

Travaux d'urgence - sécurisation

Le chevet a été échafaudés très rapidement après l'incendie.

Un plancher placé au-dessus des terrasses hautes des chapelles et a servi de support à un échafaudage de pied situé sur la face externe des gouttereaux, ainsi qu'aux cintres des arcs boutants.

Une purge des parements instables et une aspiration THE /HEPA visant à abaisser le taux de plomb sur les parements ont été réalisés au sein de la phase 2.

Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction

- *Maçonnerie*

Les parties hautes de l'édifice ayant particulièrement souffert du feu, les murs bahuts ainsi que le chemin de ronde et son garde-corps, jusqu'au niveau du larmier sous de la frise à crochets (comprise) ainsi que le chaînage métallique d'Eugène Viollet-le-Duc, ont été restaurés au sein de la campagne de travaux de « Reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019 ». La corniche à trois niveaux de denticules et les maçonneries accessibles depuis l'échafaudage sont traitées dans le cadre d'un marché similaire.

Quelques rejointoiements ponctuels afin de stopper les infiltrations intempestives dans la cathédrale, ont été réalisés notamment au droit du bras de transept Sud.

En phase sécurisation, les baies des murs gouttereaux ont été étré sillonnés afin de rigidifier les murs gouttereaux. Les réseaux et encadrement en pierre de taille baies hautes, au contact immédiat des verrières de vitrail ont fait l'objet d'une restauration.

Quatre pinacles en état d'urgence ont aussi été restaurés dans cette première campagne de travaux (culées des arcs-boutants Nord F13, F15, F17 et F19)

Une partie des sculptures en état instable ont été déposées et stockées au lendemain de l'incendie, dans les dépôts lapidaires de Villacoublay et Saint-Witz. Neuf fleurons se trouvent dans le dépôt lapidaire, probablement déposés avant incendie. Leur emplacement n'étant pas connu, il conviendra de procéder à un repérage ultérieurement.

- *Vitraux*

A la suite de l'incendie, les vitraux des baies hautes ont rapidement été déposés afin de les préserver si une instabilité des structures venait à être constatée. A cette occasion, l'ensemble des panneaux de vitraux et armatures des baies hautes ont fait l'objet d'une restauration en atelier. Les verrières des chapelles et oculi ont fait l'objet d'une aspiration en place.

- **Couvertures**

Afin d'assurer le hors d'eau complet de la cathédrale et ne pas risquer d'endommager les nettoyages et restaurations intérieurs conduits pendant l'opération de Reconstruction, une partie des toitures terrasses en pierre de taille et en plomb ont été restaurées. Il s'agit des terrasses basses en pierre situées au-dessus des chapelles. Les chéneaux et raccords d'eau pluviales ont fait l'objet de réfection ponctuelles.

Parti de restauration

Les principes de restauration qui ont été mis au point lors de l'étude menée en 2015 sur une travée test du chevet (travée 10), ont été développés lors des travaux de restauration et seront à appliquer pour les travaux prévus sur la totalité du chevet. La phase de sécurisation a en outre permis la réalisation d'essais sur une chapelle test, côté Nord du chœur.

Les prélèvements, analyses et essais réalisés, ainsi que les recherches en carrière de pierres de substitution, ont permis d'élaborer une méthode que nous généraliserons dans son principe.

Un relevé complet des calepinages et des maçonneries sera à réaliser avant toute intervention.

Nous donnerons ci-après, par localisation, les principales prestations à réaliser dans le cadre de l'opération « Post 2024 ». Seront systématiquement compris dans cette opération les retours des bras de transept (Élévation Est des croisillons Nord et Sud), selon ce même découpage.

- **Les élévations des gouttereaux**

- Les travaux comprendront :
 - L'achèvement des travaux entrepris en phase 2 : le nettoyage et la restauration des parements en pierre de taille des gouttereaux du vaisseau principal, exception faite des encadrements de baies, et les parties maçonnées accessibles depuis l'échafaudage. Les zones concernées par les travaux de cette phase sont par conséquent les dossierets des arcs-boutants et les parties maçonnées situées sous le niveau du platelage mis en place sur les couvertures des tribunes. Les parties supérieures (garde-corps, larmier et corniche à crochet) ont été restaurés pendant la campagne de travaux de reconstruction.

- **Les arcs boutants et leurs culées**

- Les travaux comprendront :
 - le nettoyage et la restauration des volées des arcs-boutants et leurs culées au Nord (F21, F17, F15 F11 et F09) et au Sud (F12, F16, F18 et F20) dont l'état de conservation est plus satisfaisant.
 - la reconstruction des volées des arcs-boutants et leurs culées au Nord : F19 et F13 et au Sud F14 et F22
 - la reconstruction des volées des arcs boutants et leurs culées à l'Est, F03, F04 et F10
 - la restauration des arcs boutants à simple volées et leurs culées à l'Est, F01, F02, F05, F06, F07 et F08

- **les tribunes**

- Les travaux comprendront :
 - le nettoyage et la restauration des élévations des tribunes, garde-corps compris ;



À noter : les fleurons des garde-corps des terrasses hautes ont été déposés dans le cadre des travaux de sécurisation de la cathédrale pour permettre l'installation des cintres des arcs-boutants et ont été stockés dans un local provisoire. L'entreprise en charge de ces ouvrages devra leur récupération, l'établissement d'un état sanitaire complet et, en lien avec l'ACMH, la proposition d'un programme de travaux (restauration ou réfection à neuf selon leur état de conservation) ;

- la restauration en atelier des panneaux de vitraux et armatures des baies des tribunes ;
- les toitures terrasses en pierre des tribunes au niveau supérieur, initialement prévues au sein du chantier de « Reconstruction »- DCE5, seront réalisés après dépose des cintres et planchers ;

- **Les réserves**

- Les travaux comprendront :

Extérieur

- le nettoyage et la restauration des élévations des réserves
 - les couvertures des réserves en plomb

- **Les élévations des chapelles**

- Les travaux comprendront :

- le nettoyage et la restauration des élévations des chapelles toutes hauteurs, compris des reprises ponctuelles en intérieurs, lors du remplacement de pierres d'encadrement de baies ;
 - le chemisage en plomb des chéneaux et gargouilles. Dans ce cadre, sera également entrepris les modifications très ponctuelles des chéneaux alimentant les deux gargouilles recrachant les eaux pluviales récoltées dans l'espace public, côté rue du cloître. Ces dernières seront, par le reprofilage de contre-pente, condamnées et les eaux seront renvoyées vers d'autres gargouilles.

- Dans le cadre de l'opération de reconstruction, ont déjà été traités :

- les toitures-terrasses en pierre des chapelles.
 - Une partie des améliorations des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales au droit des gâbles des élévations des chapelles.
 - Les pinacles des files F13, F15, F17 et F19.

Interventions projetées

Déplombage et nettoyage

Avant toute opération de nettoyage et de restauration, le plomb déposé sur les maçonneries sera supprimé par aspiration THE.

A ce procédé, succédera, pour les zones présentant des dépôts de croûtes noires, un nettoyage complémentaire par micro-abrasion. Un média de type « archifine » sera employé pour les parements unis tandis qu'un média dur type « corindon » sera privilégié pour les parements moulurés et sculptés. Le diagnostic établi en 2015 avait permis de mettre en évidence qu'un nettoyage par micro-abrasion permettait de réduire de près d'un tiers la pollution au plomb des parements.

Les rejaillissements de plomb fondu au pied des murs gouttereaux, sur les parements et sur les toitures en dalles de pierre, seront enlevés à l'outil. Il en sera de même pour les coulures et dépôts dans les rigoles des arcs-boutants des tribunes.

On veillera cependant à conserver une ou deux coulées de plomb fondu à la suite de l'incendie présentes au droit des trous de boulins situés de part et d'autre de certaines baies hautes (Travées 15, 16, 18 et 20 du chevet).

Restauration des maçonneries

Le choix des pierres de substitution

Le choix des pierres de substitution est un des problèmes cruciaux de cette vaste campagne de restauration qui s'annonce. La multiplicité des pierres mises en œuvre depuis le XIX^{ème} siècle, ainsi que les mortiers utilisés, sont la principale cause des dégradations observées.

Les natures des pierres mises en œuvre dans la cathédrale sont connues par le biais des attachements figurés, couplés par les analyses qui ont été menées sur différents échantillons.

Les carrières ayant servi tant à la construction de la cathédrale à l'époque médiévale, qu'à sa restauration par Viollet-le-Duc au XIX^{ème} siècle ne sont pour la plupart plus en activité. La restauration de la cathédrale nécessitant un volume important de pierre neuve, il a fallu déterminer les possibilités qui existaient de remplacement ou substitution de pierres. Une mission réalisée par le BRGM a permis de recenser les carrières susceptibles de correspondre le mieux aux maçonneries de la cathédrale, tant d'un point de vue esthétique que mécanique.

Le rapport établi par la BRGM a permis de sélectionner les pierres utilisées en remplacement dans la phase de reconstruction suite à l'incendie.

Il a permis de compléter les investigations menées par le LRMH et l'entreprise ECMH sur l'arc-boutant G10, dans le cadre de l'étude de diagnostic d'octobre 2015 portant sur la restauration du chevet ¹. Également, l'expérience des travaux réalisés en phase II a permis d'affiner le choix de certaines natures de pierre.

Les pierres de substitution envisagées sont les suivantes :

- la pierre dure H4 de la carrière de la Croix Huyart (Aisne) pour les claveaux ou les pierres recevant une charge et une pression importante, ainsi que pour les pierres particulièrement soumises aux intempéries et au ruissellement (fleurons, gargouilles et glacis),
- la pierre Banc 3 de Saint-Maximin (Oise), ou la roche franche construction de Saint-Maximin (Oise), pour les maçonneries de remplissage, les murs gouttereaux, ainsi que les culées des arcs-boutants ;
- la pierre franche fine de la carrière de Saint Maximin (Oise) ou la H4 demi dure de la Croix Huyart pour les élévations des tribunes et des chapelles ;
- Le petit liais de Saint Maximin, qui présente des caractéristiques mécaniques et esthétiques proches de celles de la H4 dure de la Croix Huyart, pour les parties exposées

¹ Cathédrale Notre-Dame de Paris - Diagnostic complémentaire - Restauration des arcs-boutants et des murs gouttereaux du chevet - Philippe Villeneuve - Architecte en Chef des Monuments Historiques - Octobre 2015

- Le liais de Saint Maximin a également été prescrit pour les éléments en fort dévers, et très exposé comme les dalles de couverture ou les gargouilles.

Le changement de pierres

De manière générale, on conservera évidemment le plus de pierres possibles. Seules celles qui, du fait de leur fragilisation et de la perte de leurs qualités structurales, ne peuvent plus assurer la solidité de l'ouvrage, seront remplacées.

Selon le cas de figure, le remplacement de pierres altérées pourra répondre à deux critères distincts. Le premier consistera à privilégier la conservation du matériau originel (notamment pour les parties sculptées ou moulurées). Pour ce faire, on privilégiera, dans la mesure du possible, le recours aux greffes ou aux bouchons lorsque la pierre ne sera que partiellement altérée et que son état ne remettra pas en question la stabilité de l'ouvrage. Un joint marbrier réduira visiblement la jonction entre la partie ancienne et nouvelle. Le second, privilégiera, dans des cas particuliers, la conservation du calepin à celui de la matière ancienne et la pierre altérée sera remplacée dans son intégralité.

Afin d'harmoniser les pierres neuves avec les parements existants, on les vieillira manuellement à l'outil et elles pourront ponctuellement recevoir un badigeon léger d'harmonisation à base de lait de chaux. Un traitement biocide préventif sera appliqué sur les parties les plus exposées aux intempéries.

Les ragréages

On aura recours au ragréage avec parcimonie, afin d'éviter les grandes surfaces, dont on sait qu'elles ne se comportent pas comme les pierres, tant sur le plan esthétique (tendance à absorber davantage les salissures et la poussière que les pierres) que structurel. On utilisera un mortier de type Altar, selon les conclusions de l'étude de 2015 et les travaux menés pour la reconstruction.

Avant toute opération de consolidation ou ragréage, si la présence de sels est soupçonnée, les parements seront préalablement dessalés à l'aide de compresses (1 vol.de cellulose / 1vol.de sable / 2 vol. d'attapulgite) appliquées à la main en deux ou trois passes. Un travail de teinte (aspect des grains, coloration du mortier, veines d'oxydes de fer) et d'aspect (traitement des joints, finition coquillée, traces d'outils) sera réalisé afin d'harmoniser les surfaces ragréées et les épidermes de pierre conservés.

Les joints

Tous les parements seront déjointoyés sur 10 cm de profondeur minimum, afin de purger autant que possible les maçonneries des mortiers porteurs de sels.

Les maçonneries seront ensuite rejointoyées au mortier de chaux et de sable, à l'exclusion de tout autre adjuvant, exception faite des parties les plus exposées aux eaux de ruissellement (glacis, rigoles de récupération des eaux pluviales, etc.) qui seront traitées au mortier de chaux additionné d'hydrofuge.

La teinte et la granulométrie du mortier varieront afin que le résultat obtenu ne soit pas trop régulier.

Si des joints plomb sont constatés lors des démontages, ils seront reconduits dans les travaux de restauration.

Les garde-corps, gargouille, pinacles et fleurons



La stabilité et l'état de conservation des éléments de couronnement et de décors sculptés seront systématiquement vérifiés, notamment au niveau des pinacles, des édicules au-dessus des culées et des garde-corps.

Les garde-corps des tribunes et des terrasses basses seront vérifiés avec soin et sonnés. Les éléments seront posés et scellés au plomb, conformément à leur mise en œuvre originelle. Les gougeons de fers anciens seront alors réutilisés dans la mesure du possible.

Les fleurons qui surmontent ces garde-corps, qui ont été partiellement déposés, seront soit reposés, soit refaits à l'identique. Les photographies anciennes, voire certains dessins de Viollet-le-Duc, et bien sûr, les éléments encore en place et en bon état de conservation, seront des guides précieux pour leur restitution.

Les pinacles des culées du chœur qui, pour certains ne sont plus que de simples pyramides, tronquées, dépourvues de la plupart de leurs crochets, ou dont les assises traversées par les rigoles des arcs-boutants ne sont plus tenues que par des frettages de sangles et de bois, seront démontés et refaits à l'identique.

Les gargouilles seront toutes systématiquement vérifiées, comme elles l'ont déjà été lors des travaux de sécurisation, et seront déposées en cas de fracture ou de fissure constatée. Selon le cas et l'état des pierres, on procédera à leur remplacement à neuf en totalité ou on aura recours à l'utilisation de greffes. Celles qui ont disparu seront restituées.

Les décors, crochets ou feuillages seront refaits à l'identique, par la mise en œuvre de bouchons de pierres, avec joints marbrier ou ordinaire, selon le cas.

Restauration des éléments sculptés

Les éléments sculptés, simplement décoratifs ou ayant une fonction comme l'évacuation de l'eau, et qui foisonnent un peu partout, sont souvent très altérés, rongés, fragiles et illisibles, quand ils n'ont pas tout simplement disparu. Ils seront restitués.

Le fond iconographique de la restauration du XIX^{ème} siècle étant conséquent, les propositions de restitution des éléments sculptés s'en inspireront pour établir une proposition de restitution pertinente. On pourra sans doute, dans une certaine mesure, vérifier si les dessins en notre possession, portant la mention « bon pour exécution » et une localisation, de la main de Viollet-le-Duc, correspondent bien à ce qui fut mis en place et, dans la mesure du possible, prévoir leur restitution exacte... Les sculptures lacunaires nécessitant des compléments pourront être traitées dans la loge de modelage mise à disposition des sculpteurs sur site. Après validation des modèles par la MOE, la sculpture sera réalisée dans les ateliers des entreprises.

Le remplacement des parties altérées sera effectué par greffe afin de conserver un maximum la matière ancienne. Les sculptures remplacées seront déposées avec soin pour être entreposées dans le dépôt désigné par la MOA. Les sculptures sur lesquelles des sels sont soupçonnés seront dessalées à l'aide de compresses selon le même protocole que les maçonneries. Un traitement de consolidation à base de silicate d'éthyle ou par bio-minéralisation sera ensuite appliqué sur les épidermes dessalés en cas de pulvérulence ou perte de cohésion légère en surface du parement. Des solins en mortier additionné de poussière de pierre seront mis en œuvre sur les fissurations et toutes les parties susceptibles de laisser l'eau pénétrer.

Installation du paratonnerre

Les installations du paratonnerre avaient été très endommagées par l'incendie avec la perte des pointes caprices de la flèche et du chevet ainsi que tous les conducteurs situés sur les



couvertures de la flèche et du grand comble. Les travaux de la phase II ont permis la remise en état du système de protection de la cathédrale selon les dispositions qui avaient été prévues lors des travaux de mises en conformité effectués entre 2011 et 2013 et les conclusions du rapport de vérification de l'installation effectuées pendant les travaux de sécurisation. L'ensemble de l'installation est donc opérationnel. Cependant, les installations de chantier n'ont pas permis l'accès à une zone située au Nord Est du chevet (entre l'arc-boutant F09 et l'arc-boutant F04), sur laquelle une installation provisoire de bouclage en pied a été mise en place, et à la vérification de la conformité de la prise de terre située dans cette zone au droit de la file 04.

Par ailleurs, les installations (conducteurs et feuillards) présents sur les maçonneries du chevet feront l'objet d'une dépose et d'une repose par le lot paratonnerre, en accompagnement du lot 04 afin de permettre la restauration des parements et maçonneries, supports de ces installations.

Sont ainsi concernées : les maçonneries verticales des chapelles et maçonneries de couronnement des arcs-boutants, les maçonneries basses des pinacles entre couvrement des arcs-boutants et élévations de chapelles, les couvertures en pierre des terrasses basses le cas échéant, dans l'emprise des travaux au droit de l'arc boutant de la travée F09 (côté Nord-Est) et au droit de l'arc boutant F04 (côté Sud-Est) depuis le chemin de ronde jusqu'aux prises de terre situées au pied de l'édifice, au droit des travées 21 (côté Nord) et 22 (côté Sud) depuis l'arrivée des conducteurs depuis les maçonneries de l'élévation Est du transept sur les parements des terrasses et chapelles jusqu'aux prises de terre situées en pied d'édifice

À l'issue des travaux de restauration du chevet, après la dépose des échafaudages au droit des élévations des chapelles, les installations seront pérennisées sur la partie Nord-Est de l'édifice par la mise en place d'un conducteur définitif enterré permettant le bouclage complet autour de la cathédrale. Lors de ces travaux, les grilles de clôture rue du cloître Notre-Dame seront connectées à la liaison équipotentielle périphérique. L'achèvement de la mise en conformité de l'installation se fera par la vérification de la prise de terre située au droit de la file 04 (prise de terre n°6), la création d'une nouvelle prise de terre le cas échéant et la réalisation d'un regard de visite normatif au droit de la liaison entre les conducteurs de façade et la prise de terre.

Pour ce faire, les travaux concernant l'installation paratonnerre seront reportés sur deux lots : sur le lot 10_{CHVT} pour ce qui relève des travaux techniques spécifiques de l'installation proprement dite et sur le lot 04_{CHVT} pour ce qui concerne les déposes et poses des revêtements de sols (dallage et/ou pavage), les terrassements et remblaiements au droit de la prise terre nouvellement créée et du ceinturage entre les files 04 et 09. Les installations paratonnerre enterrées prendront place dans les dispositifs fournis et posés par ce même lot 04_{CHVT} : regard en béton et fourreau

•

5 - Les moyens d'accès et protections diverses

Les moyens d'accès

Dans le cadre de la sécurisation du monument, les moyens d'accès par échafaudages de pieds ont été disposés place au droit des murs gouttereaux du chœur, des planchers ont été mis en place au niveau des terrasses hautes du chœur pour permettre la fixation des cintres.

Dans le cadre de l'évolution des installations pour la phase 2 de Post 2024, une partie de ces installations seront maintenues jusqu'à la fin des opérations de la phase 2. Toutefois, le phasage des travaux impose une évolution des moyens d'accès en parallèle de l'évolution des restaurations.

- **Les pinacles**

- Le volume important de travaux à réaliser sur les pinacles (relevés, taille de pierre et sculpture) implique que les échafaudages seront mis en place dès le début des travaux, dans la continuité des échafaudages des façades des chapelles. Les accès pourront se faire depuis les lifts prévus.
- Les approvisionnements pourront être réalisés à la grue à condition que le survol de la cathédrale pendant les heures d'ouverture au public soit proscrit. Une sapine au droit de chacun des pinacles permettra également les approvisionnements.

Les protections

Les nombreux décors présents sur les pinacles devront faire l'objet d'une attention particulière. Toutes les protections nécessaires devront être mise en place afin de ne pas risquer d'altérer les décors.

•

6 - La contrainte plomb



Contamination plomb

Les différentes campagnes de mesures surfaciques réalisées sur les façades extérieures du chevet de la Cathédrale ont mis en évidence la présence d'une contamination par les poussières de plomb qu'il nous appartient d'intégrer dans l'analyse des risques pour les futurs travaux.

Les résultats des tests affichent une contamination non homogène, non excessivement élevée, avec une valeur moyenne à 4 167 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ mais aussi avec des pics importants à 19 595 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ et à 13949 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ sur l'élévation sud du Chœur.

MESURES SURFACIQUES ELEVATIONS EXTERIEURES CHŒUR	
Localisation	Concentration plomb ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)
Elévation Chœur Nord	12271
Elévation Chœur Nord	5352
Elévation Chœur Nord	410
Elévation Chœur Nord	326
Elévation Chœur Nord	382
Elévation Chœur Nord	1978
Elévation Chœur Nord	1997
Elévation Chœur Est	7625
Elévation Chœur Est	2116
Elévation Chœur Est	738
Elévation Chœur Est	3880
Elévation Chœur Est	1402
Elévation Chœur Est	418
Elévation Chœur Sud	19595
Elévation Chœur Sud	920
Elévation Chœur Sud	13949
Elévation Chœur Sud	754
Elévation Chœur Sud	903

Le repérage des revêtements en plomb, réalisé à l'aide d'un appareil à fluorescence X, ne détecte sur les parements extérieurs aucune peinture au plomb ; du plomb métal est toutefois présent en scellement des pierres au niveau des joints coulés au plomb, au niveau des éclaboussures de plomb fondu suite à l'incendie, des chemisages des chéneaux et des couvertures en tables de plomb coulées sur sable.

La présence de plomb dans le périmètre d'intervention et le risque d'exposition à cet élément pour les intervenants de cette opération ont porté au choix d'imposer à ces travaux la même contrainte plomb que le chantier de reconstruction.

L'organisation envisagée prévoit de déployer, au niveau des installations chantier et des protections collectives mises en place, tous les moyens de prévention pour limiter le risque d'exposition au plomb :

Organisation du chantier

Chantier clos et indépendant avec une séparation étanche entre la zone chantier dite « zone sale » et la zone base vie dite « zone propre » et des unités de décontamination à l'humide (douches) situées en tampon entre la zone sale et la zone propre.

Conditions d'accès/sortie du chantier

Accueil sécurisé avec sensibilisation plomb pour tous les intervenants y compris les visiteurs
Accès au site autorisé uniquement au personnel formé au risque plomb
Suivi individuel renforcé (SIR) avec contrôle plombémie sous avis du médecin du travail
Douche obligatoire à chaque sortie de la zone sale

Installations de chantier

Base vie avec vestiaire « sale » et vestiaire « propre » et attribution de double casier par opérateur
Equipe de nettoyage des parties communes du chantier à demeure sur place pour assainir et contrôler le niveau d'empoussièrement du chantier assurant les actions correctives nécessaires
Surveillance météorologique hebdomadaire pour contrôler l'évolution des taux de plomb

Organisation des travaux

Mode opératoire plomb à établir, précisant le choix des techniques moins émissives en poussières et les moyens mis en place pour éviter la dissémination de poussières
EPI plomb avec adaptation des protections respiratoires suivant résultats des contrôles VLEP

Gestion du matériel

Procédure de décontamination du matériel et des engins au jet d'eau avec récupération et traitement des effluents
Décontamination des éléments d'échafaudages
Gestion centralisée du nettoyage des EPI non jetables

Gestion des déchets solides et liquides

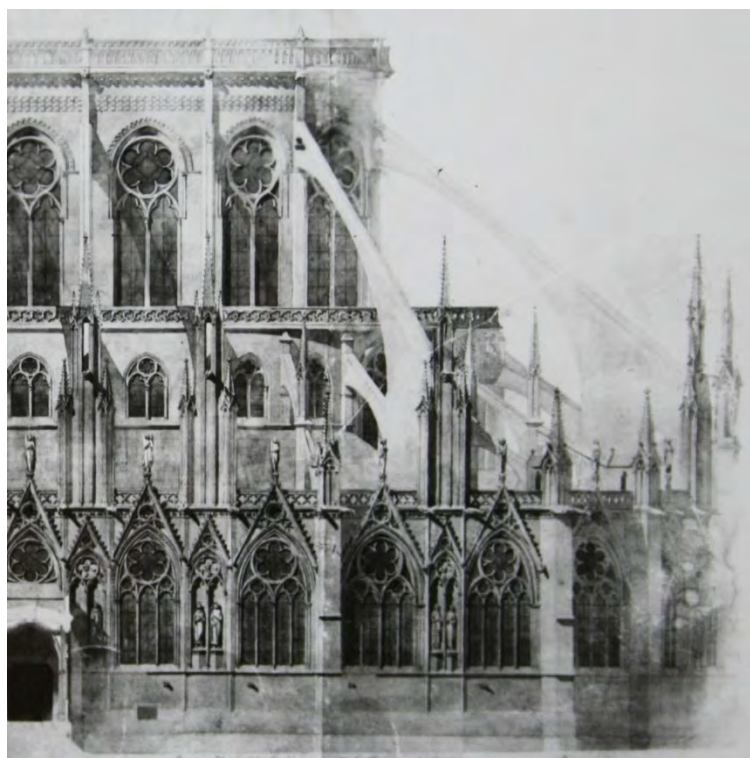
Caractérisation de chaque déchet solide issu de travaux par test de lixiviation
Caractérisation de chaque déchet liquide par analyse MES (Matière en Suspension) et teneur en plomb
Gestion centralisée des déchets solides et liquides du chantier par le titulaire du lot Installations chantier – Utilités plomb
Traitement des déchets solides du chantier par évacuation en ISDI (Installation de Stockage des Déchets Inertes), ISDND (Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux) et ISDD (Installation de Stockage des Déchets Dangereux)
Traitement des déchets liquides du chantier par décantation et filtration, avant rejet dans le réseau d'assainissement de la ville

• • •



6

Les couvertures en pierre



- 1- Définition des limites de l'opération
- 2- Description architecturale
- 3- Synthèse de l'Etat sanitaire
- 4- Interventions projetées
- 5- Moyens d'accès
- 6- La contrainte plomb





Sommaire

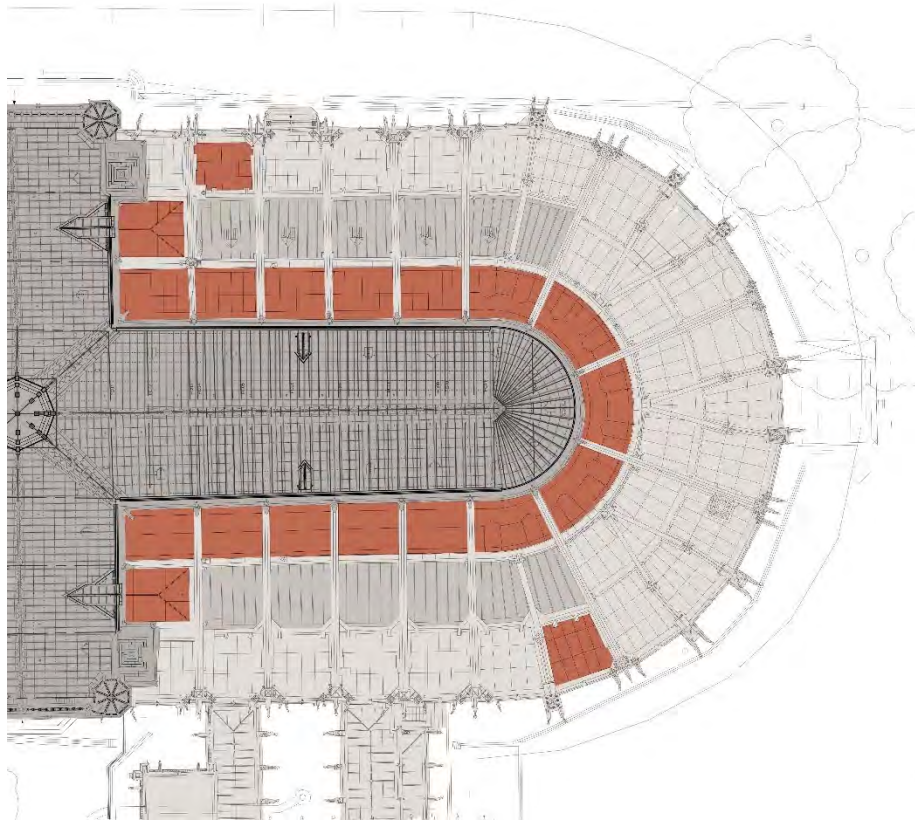
1 - DEFINITION DES LIMITES DE LA PRESENTE OPERATION.....	123
2 - DESCRIPTION ARCHITECTURALE.....	124
LES COUVERTURES EN PIERRE DES TRIBUNES (TERRASSES HAUTES DU CHŒUR)	124
<i>Les couvertures avant 1847.....</i>	<i>124</i>
<i>Les couvertures aujourd'hui</i>	<i>125</i>
3 - SYNTHESE DE L'ETAT SANITAIRE.....	128
PREAMBULE ET GENERALITES.....	128
ETAT SANITAIRE DES COUVERTURES EN DALLES DE PIERRE (TERRASSES HAUTES DU CHŒUR).....	128
<i>Identification et analyse des causes des altérations</i>	<i>129</i>
4 - INTERVENTIONS PROJETEES.....	130
TRAVAUX PREALABLES, EN COURS OU REALISES	130
<i>Travaux d'urgence - sécurisation.....</i>	<i>130</i>
<i>Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction.....</i>	<i>130</i>
PARTI DE RESTAURATION	131
INTERVENTIONS PROJETEES	132
<i>Déplombage et nettoyage.....</i>	<i>132</i>
<i>Restauration des maçonneries</i>	<i>133</i>
<i>Restauration des couvertures en pierre.....</i>	<i>134</i>
5 - LES MOYENS D'ACCES ET PROTECTIONS DIVERSE	136
<i>Les moyens d'accès</i>	<i>136</i>
<i>Les protections</i>	<i>136</i>
6 - LA CONTRAINTE PLOMB.....	137



1 - Définition des limites de la présente opération

Lors des travaux de reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019, une partie des maçonneries a été restaurée, et n'est par conséquent pas à prendre en compte dans la présente étude. Ces travaux concernent :

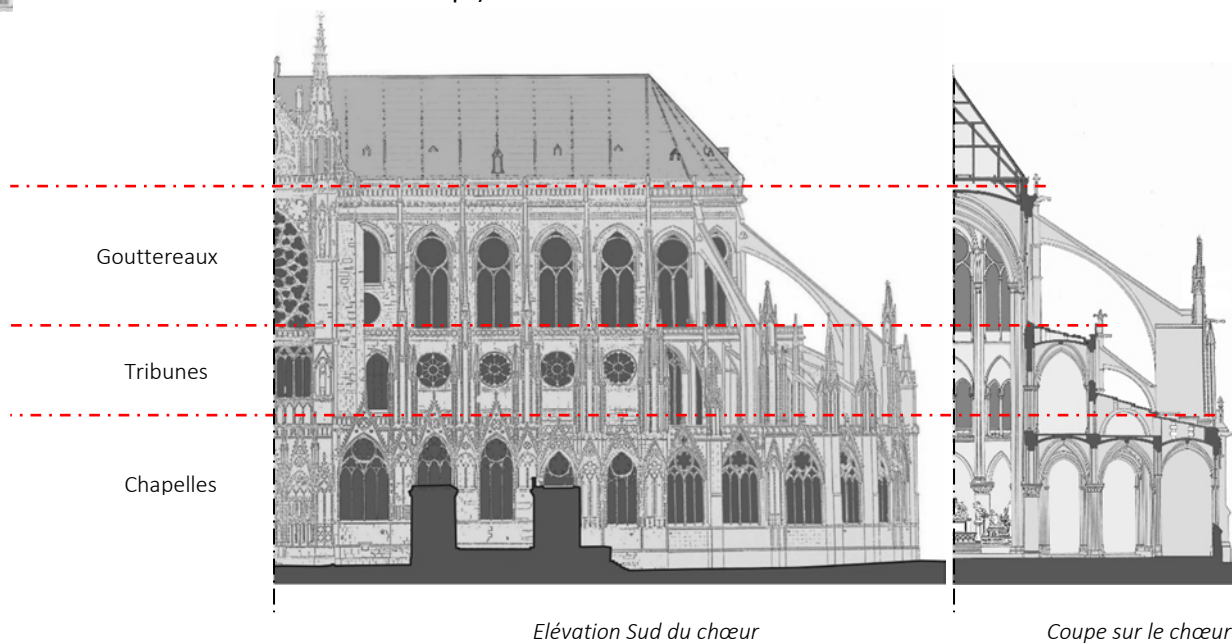
- Les gardes corps du chemin de ronde qui ont été entièrement restaurés jusqu'au niveau de la frise de corniche, ainsi que les fleurons.
- Les pierres de jambage et de remplage des baies haute ont fait l'objet de remplacement et nettoyage, à l'occasion des travaux de restauration des vitraux des baies hautes.
- Dans le cadre d'un marché similaire, les maçonneries des gouttereaux (hors celles qui demeurent inaccessibles en raison de la présence des étaielements et installations de la phase II) font également l'objet d'une restauration et d'un nettoyage. Ces interventions concernent aussi les façades en retour des bras de transept.
- La couverture en dalle de pierre des chapelles a fait l'objet d'important travaux de restauration. Seules 2 travées sur lesquelles les lifts sont installés n'ont pas pu être traitées et le seront dans la présente opération
- Les pinacles au Nord des files F13, F15, F17 et F19 ont fait l'objet d'un remplacement d'urgence.



•

2 - Description architecturale

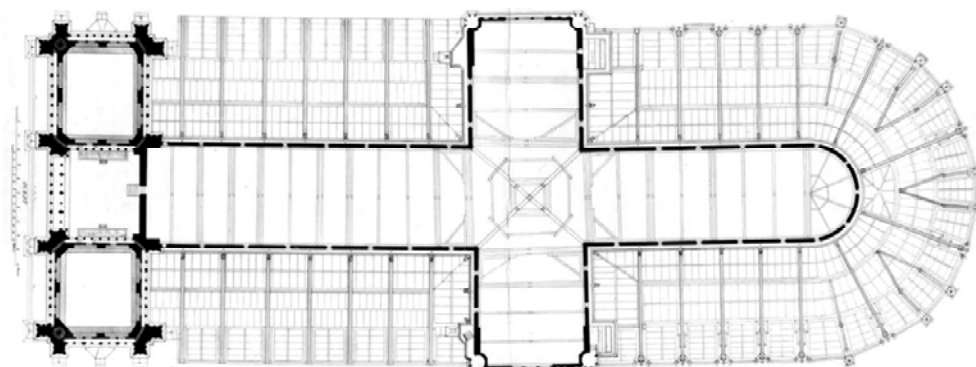
Le chœur, dont le plan est constitué de deux travées sexpartites et d'une abside à cinq pans, offre, sur trois niveaux successifs, des élévations qui se développent en rayonnant autour du chevet. Au premier niveau, les chapelles du déambulatoire présentent ainsi 23 travées, celui des tribunes, 18 travées (sans les retours côté Est), et celui des gouttereaux, 15 (sans les retours Est des croisillons du transept).



Les couvertures en pierre des tribunes (terrasses hautes du chœur)

Les dispositions des couvertures telles que nous les connaissons aujourd'hui sont, pour la majorité, liées aux importantes modifications apportées par Eugène Viollet-le-Duc dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle.

Les couvertures avant 1847



Plan de couvertures, coupé au niveau des combles du Grand comble par Emile Leconte (1^{ère} moitié du XIX^{ème} siècle. - Estampe conservée au Musée Carnavalet, Paris)

La maquette conservée à la Cité de l'Architecture et du Patrimoine (1843 – *photographie ci-dessous, à droite*) et les relevés établis par Emile Leconte (1841– *photographie ci-dessous, à*

CATHÉDRALE NOTRE-DAME DE PARIS - Travaux de restauration post-2024

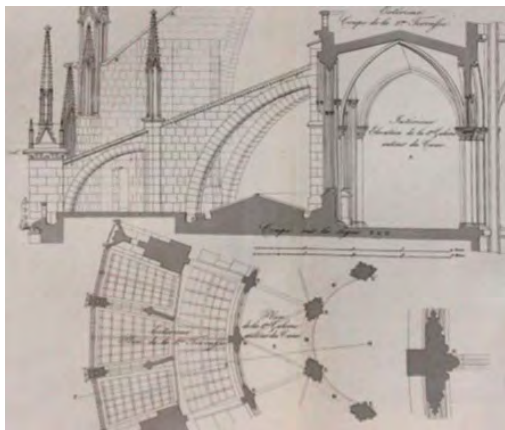
DCE – Restauration du chevet

Philippe VILLENEUVE, Rémi FROMONT, Architectes en Chef des Monuments Historiques

Février 2025

gauche) mettent en évidence l'existence, avant les grands travaux de restauration d'Eugène Viollet-le-Duc, de couvertures en dalles de pierre à double pente, au droit de la galerie des tribunes (nef et chœur) et des tribunes de l'abside (T00 à T08). Celles-ci se déversaient dans deux chéneaux encastrés, disposés au bas de chacun des versants.

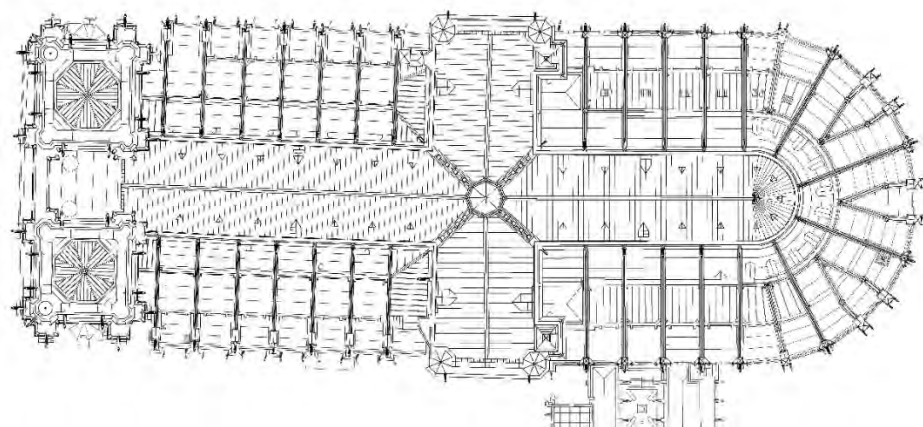
Ces dispositions en bâtière datent du début du XIII^{ème} siècle. Peut-être établies, à l'origine, en tuiles plates, elles ont remplacé, lors de l'agrandissement des baies hautes vers 1225, les appentis qui couvraient initialement cette partie de l'édifice.



Des couvertures en dalles de pierre à double pente couvraient également les chapelles du chœur et de la nef. Contrairement aux précédentes, leurs faitages étaient disposés perpendiculairement aux murs gouttereaux. Ces dispositions étaient mises en exergue, au Nord, par la présence de frontons en partie haute des élévations des chapelles de la nef. Ces derniers furent supprimés par Eugène Viollet-le-Duc pour permettre la restitution de garde-corps à lancettes, à l'identique des chapelles Sud.

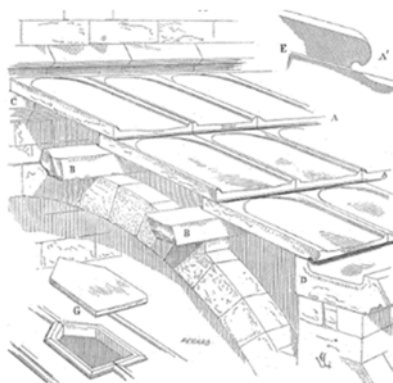
Seules faisaient exception les travées amorçant le rond-point du chœur (T09, T10, T11 et T12) qui étaient couvertes par des appentis à forte pente, en tuiles plates. Hormis les travées T16, 18 et 20 s'articulant avec l'ancienne sacristie, ce même couvrement concernait les réserves des tribunes du chœur.

Les couvertures aujourd'hui



Plan de couvertures, état avant incendie

Lors des travaux de restauration, Eugène Viollet-le-Duc, dans sa volonté de rétablir la cathédrale dans un « état complet », modifie l'ensemble des couvertures des déambulatoires et des chapelles. Probablement influencé par l'étude d'édifices ayant conservé leurs couvertures en dalles de pierre comme la cathédrale Saint-Just-et-Saint-Pasteur de Narbonne dont il a réalisé la restauration à la fin des années 1830, il remanie les couvertures en place sur le modèle de celles existantes au droit des tribunes de la nef et dont il décrit les dispositions dans son *Dictionnaire raisonné de l'architecture*.



« On songea donc, vers le commencement du XIII^{ème} siècle, à poser les dallages sur des arcs au-dessus des voûtes, de manière à laisser l'air circuler entre le dessous des dalles et l'extrados des voûtes, et à combiner ces dallages de manière à éviter autant que possible les joints découverts. (...) C'est ainsi que sont exécutés les dallages des terrasses de la cathédrale de Paris posés sur des arcs et complètement isolés des voûtes ».

Extrait du *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle* - « Dallage employé comme couverture » Eugène Viollet-le-Duc

A l'issue des travaux, toutes les couvertures de la galerie des tribunes, des chapelles de la nef et du chœur, et les couvertures du rond-point de l'abside reproduisent les dispositions du modèle retenu : une seule pente composée de trois degrés de dalles en pierre, se déversant dans un chéneau disposé côté balustrade, exception faite des travées accolées aux tourelles d'escalier Est des transepts observant un couvrement en croupe.

A cet ensemble homogène, quelques couvertures dérogeront à la règle et seront réalisées en plomb. Ce fut notamment le cas des réserves des tribunes du chœur et de certains édicules de la nef. Ces derniers permirent à Eugène Viollet-le-Duc de respecter les deux baies d'origine conservées au droit de la première travée de la nef et de réaliser une restitution, au droit de la dernière travée, de l'élévation quadripartite originale et de positionner ces nouveaux édicules couverts de plomb devant les roses ainsi restituées.

Les structures des couvertures en dalles de pierre

Les couvertures en dalles de pierre sont portées, selon trois typologies de structures porteuses, toutes recréées par Eugène Viollet-le-Duc :

- **Les couvertures des chapelles** prennent appui sur une succession d'arcs-diaphragmes surbaissés portant à chaque extrémité sur des murs pleins correspondant aux culées des arcs-boutants.



- **Les couvertures des tribunes** prennent appui, tout comme les chapelles, sur une succession d'arcs-diaphragmes surbaissés secondaires, parallèles aux murs gouttereaux, reportant leur charge sur des arcs surbaissés principaux perpendiculaires. Des variations dans les dispositions démontrent de l'évolution empirique du dispositif en cours de construction.

La configuration actuelle des structures de support au droit du chevet (et des tribunes de la nef Nord), reflètent selon leur localisation des ajouts, après percement des arcs-diaphragmes secondaires, de tirants destinés à contenir leurs poussées sous les effets de la charge importante des dalles de pierre.

On note également par endroits une modification des arcs-diaphragmes secondaires prenant appuis au-dessus des arcs surbaissés primaires afin d'éviter, lors de la mise en place des tirants métalliques, le percement de ces premiers.



•

3 - Synthèse de l'état sanitaire

Préambule et généralités

La cathédrale a fait l'objet d'une vaste restauration menée au XIX^{ème} siècle, qui a touché toutes ses parties. Depuis, de nombreuses interventions, plus ponctuelles, ont été effectuées. Chacune y a apporté les matériaux, les méthodes et les partis de restauration propres à son époque.

Ces différentes interventions sur un monument qui reste malgré tout parfaitement médiéval, ont également provoqué en s'accumulant, et parfois en interférant les unes avec les autres, des désordres qui ont modifié les qualités des matériaux et provoqué des altérations plus ou moins graves et dangereuses pour la stabilité ou la conservation du monument.

La dernière campagne d'envergure menée sur la cathédrale fut la restauration du massif occidental, en vue des célébrations pour l'entrée dans le troisième millénaire (quoique les élévations Est et Nord de la tour Sud n'aient pas été traitées). La flèche constituait le dernier programme mis en œuvre, auquel allaient succéder celui du chevet et de la sacristie...

Avant l'incendie, en effet, une étude approfondie sur le chevet avait été menée. Elle avait notamment porté sur une culée et un arc boutant, ainsi que le mur gouttereau correspondant, estimés représentatifs des multiples pathologies repérées sur l'édifice. Cette étude a permis de déterminer la nature des différentes pierres, des joints et des mortiers de pose mis en œuvre par des prélèvements et des analyses, d'identifier les pathologies et d'en trouver les causes. Cette étude est donc toujours d'actualité et sert de référence à toute l'étendue du monument.

L'incendie survenu le 15 avril 2019 a interrompu les études alors en cours et a dirigé l'attention et les travaux vers les parties qui avaient été endommagées, qui ont été menées lors de la phase II.

Les couvertures des tribunes n'ont pas été directement touchées par l'incendie, mais ont subi quelques conséquences. Tout d'abord, les coulures de plomb issues des trous de boulins au-dessus des baies hautes ont provoqué sur ces dalles un rejaillissement important, constellant les dalles d'éclaboussures de plomb. Également, la mise en place rapide du plancher sur les terrasses hautes, pour soutenir les échafaudages des murs gouttereaux, a masqué les dalles et empêché les travaux d'entretien habituels.

Etat sanitaire des couvertures en dalles de pierre (terrasses hautes du chœur)

Les bas-côtés de la cathédrale se composant du double déambulatoire et des chapelles, sont couverts, exception faite des réserves des tribunes du chœur et des édicules de la nef, de dalles de pierre. Ces ouvrages présentent aujourd'hui un état de conservation hétérogène selon leur localisation.

On constate ainsi de nombreux faïençages et épaufrures, qui rendent les blocs poreux, et altèrent leur étanchéité. De nombreuses réparations d'entretien ont par ailleurs été réalisées par les services du patrimoine (protection bitumineuse, ragréages...). Ces travaux récents ont mis en œuvre des solutions à l'économie et inesthétiques dans l'attente d'une campagne de restauration.



Sur cette partie du monument, les pathologies liées à l'incendie sont minimales, on constate quelques éclaboussures de plomb au droit des travées 18 et 16 sur le Sud du chevet. Un encrassement général a également été causé par les suies et charbons charriés par les vents.

De plus, l'installation du plancher sur structure métallique réalisée lors de la phase de sécurisation, a rendu difficile l'accès et l'entretien de ces parties du monument. Depuis 2019, les pathologies pre-existantes ont pu amplifier.



Identification et analyse des causes des altérations

Les intempéries et la nature des pierres

Les causes des pathologies majeures affectant les couvertures en dalles de pierre sont assez similaires à celles provoquant les désordres sur les maçonneries des élévations et arcs-boutants de la cathédrale.

Le premier facteur reste les intempéries. Les vents et pluies dominants orientés Sud-Ouest explicitent la dégradation plus importante des couvertures côté Sud par rapport aux autres couvertures du chevet. Le second facteur est lié à la nature de pierre choisie. Celle-ci, combinée au premier facteur, peut engendrer, elle aussi, une accélération de l'altération des ouvrages (porosité, etc.).

L'incendie du 15 avril 2019

L'incendie a peu dégradé les couvertures en pierre de la cathédrale, les flammes n'ayant pas atteint ces parties de l'édifice. Les principaux désordres découlant du sinistre sont principalement liés à la chute d'éléments de décor et maçonneries rubéfiées par le feu des parties hautes du vaisseau principal et n'ont affecté que les terrasses supérieures, en pied des baies hautes, qui ont été nettoyés lors de la phase de sécurisation.

A ces dégâts, s'ajoute la présence, sur certaines dalles de pierres, de concrétions et éclaboussures de plomb issues de la fusion des tables de plomb de la couverture du grand comble. Le plomb, aujourd'hui figé, s'est, le jour du sinistre, écoulé depuis les reins de voûtes par les trous de boulins conservés ouverts côté Sud du chevet, puis a chuté sur les terrasses hautes du chœur. Une fois sur les terrasses, il s'est ensuite écoulé par les avaloirs des chéneaux se déversant dans les canaux des volées inférieures des arcs-boutants. En partie basse de ces volées inférieures, il a été rejeté par les exutoires sur les terrasses des tribunes et chapelles, éclaboussant tous les parements et couvertures situés à proximité.



4 - Interventions projetées



Travaux préalables, en cours ou réalisés

Travaux d'urgence - sécurisation

Le chevet a été échafaudés très rapidement après l'incendie.

Un plancher placé au-dessus des terrasses hautes des chapelles et a servi de support à un échafaudage de pied situé sur la face externe des gouttereaux, ainsi qu'aux cintres des arcs boutants.

Une purge des parements instables et une aspiration THE /HEPA visant à abaisser le taux de plomb sur les parements ont été réalisés au sein de la phase 2.

Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction

- *Maçonnerie*

Les parties hautes de l'édifice ayant particulièrement souffert du feu, les murs bahuts ainsi que le chemin de ronde et son garde-corps, jusqu'au niveau du larmier sous de la frise à crochets (comprise) ainsi que le chaînage métallique d'Eugène Viollet-le-Duc, ont été restaurés au sein de la campagne de travaux de « Reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019 ». La corniche à trois niveaux de denticules n'a pas fait l'objet d'intervention à ce jour.

Quelques rejointoiements ponctuels afin de stopper les infiltrations intempestives dans la cathédrale, ont été réalisés notamment au droit du bras de transept Sud.

En phase sécurisation, les baies des murs gouttereaux ont été étrépillonnées afin de rigidifier les murs gouttereaux. Les réseaux et encadrement en pierre de taille baies hautes, au contact immédiat des verrières de vitrail ont fait l'objet d'une restauration.

Quatre pinacles en état d'urgence ont aussi été restaurés dans cette première campagne de travaux (culées des arcs-boutants Nord F13, F15, F17 et F19)

Une partie des sculptures en état instable ont été déposées et stockées au lendemain de l'incendie, dans les dépôts lapidaires de Villacoublay et Saint-Witz. Neuf fleurons se trouvent dans le dépôt lapidaire, probablement déposés avant incendie. Leur emplacement n'étant pas connu, il conviendra de procéder à un repérage ultérieurement.

- *Vitraux*

A la suite de l'incendie, les vitraux des baies hautes ont rapidement été déposés afin de les préserver si une instabilité des structures venait à être constatée. A cette occasion, l'ensemble des panneaux de vitraux et armatures des baies hautes ont fait l'objet d'une restauration en atelier. Les verrières des chapelles et oculi ont fait l'objet d'une aspiration en place.

- *Couvertures*

Afin d'assurer le hors d'eau complet de la cathédrale et ne pas risquer d'endommager les nettoyages et restaurations intérieurs conduits pendant l'opération de Reconstruction, une

partie des toitures terrasses en pierre de taille et en plomb ont été restaurées. Il s'agit des terrasses basses en pierre situées au-dessus des chapelles. Les chéneaux et raccords d'eau pluviales ont fait l'objet de réfection ponctuelles. Sur les deux travées accueillant les lifts, les travaux sur les terrasses basses n'ont pas pu être réalisés, et sont prévus lors de la phase à venir.

Parti de restauration

Les principes de restauration qui ont été mis au point lors de l'étude menée en 2015 sur une travée test du chevet (travée 10), ont été développés lors des travaux de restauration et seront à appliquer pour les travaux prévus sur la totalité du chevet. La phase de sécurisation a en outre permis la réalisation d'essais sur une chapelle test, côté Nord du chœur.

Les prélèvements, analyses et essais réalisés, ainsi que les recherches en carrière de pierres de substitution, ont permis d'élaborer une méthode que nous généraliserons dans son principe.

Un relevé complet des calepinages et des maçonneries sera à réaliser avant toute intervention.

Nous donnerons ci-après, par localisation, les principales prestations à réaliser dans le cadre de l'opération « Post 2024 ». Seront systématiquement compris dans cette opération les retours des bras de transept (Élévation Est des croisillons Nord et Sud), selon ce même découpage.

- **Les élévations des gouttereaux**

- Les travaux comprendront :

- le nettoyage et la restauration des parements en pierre de taille des gouttereaux du vaisseau principal, exception faite des encadrements de baies, compris la corniche médiévale composée de trois rangées de denticules. Les parties supérieures (garde-corps, larmier et corniche à crochet) ont été restaurés pendant la campagne de travaux de reconstruction.

À noter : Plusieurs concrétions plomb présentes sur les parements, conséquence de la fonte des tables de plomb de la couverture du grand comble lors de l'incendie et leur écoulement partiel par les trous de boulins présent en façade et communiquant avec l'intérieur du comble, seront à conserver comme témoignage du sinistre. Celles non retenues par l'ACMH seront supprimées. Ces concrétions seront enlevées par action mécanique suivant les tests établis par le LRMH.

- **Les arcs boutants et leurs culées**

- Les travaux comprendront :

- le nettoyage et la restauration des volées des arcs-boutants et leurs culées au Nord (F13, F15 et F17) et au Sud (F16) dont l'état de conservation est plus satisfaisant.
 - la reconstruction des volées des arcs-boutants et leurs culées au Nord : F21 et F19 et F09 et au Sud F14, F18, F20 et F22
 - la reconstruction des volées des arcs boutants et leurs culées à l'Est, F03, F04 et F10
 - la restauration des arcs boutants à simple volées et leurs culées à l'Est, F01, F02, F05, F06, F07 et F08
 - le chemisage en plomb des chéneaux des arcs boutants et gargouilles.
 -

- **les tribunes**

- Les travaux comprendront :

- Le nettoyage et la restauration des élévations des tribunes, garde-corps compris ;
À noter : les fleurons des garde-corps des terrasses hautes ont été déposés dans le cadre des travaux de sécurisation de la cathédrale pour permettre l'installation des cintres des arcs-boutants et ont été stockés dans un local provisoire. L'entreprise en charge de ces ouvrages devra leur récupération, l'établissement d'un état sanitaire complet et, en lien avec l'ACMH, la proposition d'un programme de travaux (restauration ou réfection à neuf selon leur état de conservation) ;
 - La restauration en atelier des panneaux de vitraux et armatures des baies des tribunes ;
 - Les toitures terrasses en pierre des tribunes au niveau supérieur, initialement prévues au sein du chantier de « Reconstruction »- DCE5, seront réalisés après dépose des cintres et planchers ;



- **Les réserves**

- Les travaux comprendront :

- Extérieur*

- Le nettoyage et la restauration des élévations des réserves
 - Les couvertures des réserves en plomb

- **Les élévations des chapelles**

- Les travaux comprendront :

- Le nettoyage et la restauration des élévations des chapelles toutes hauteurs, compris des reprises ponctuelles en intérieurs, lors du remplacement de pierres d'encadrement de baies ;
 - Le chemisage en plomb des chéneaux et gargouilles. Dans ce cadre, sera également entrepris les modifications très ponctuelles des chéneaux alimentant les deux gargouilles recrachant les eaux pluviales récoltées dans l'espace public, côté rue du cloître. Ces dernières seront, par le reprofilage de contre-pente, condamnées et les eaux seront renvoyées vers d'autres gargouilles.
 - Dans le cadre de l'opération de reconstruction, ont déjà été traités :
 - Les toitures-terrasses en pierre des chapelles (à l'exception de 2 travées).
 - Une partie des améliorations des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales au droit des gâbles des élévations des chapelles.

Interventions projetées

Déplombage et nettoyage

Avant toute opération de nettoyage et de restauration, le plomb déposé sur les maçonneries sera supprimé par aspiration THE.

A ce procédé, succédera, pour les zones présentant des dépôts de croûtes noires, un nettoyage complémentaire par micro-abrasion. Un média de type « archifine » sera employé pour les parements unis tandis qu'un média dur type « corindon » sera privilégié pour les parements moulurés et sculptés. Le diagnostic établi en 2015 avait permis de mettre en évidence qu'un

nettoyage par micro-abrasion permettait de réduire de près d'un tiers la pollution au plomb des parements.

Les rejaillissements de plomb fondu au pied des murs gouttereaux, sur les parements et sur les toitures en dalles de pierre, seront enlevés à l'outil. Il en sera de même pour les coulures et dépôts dans les rigoles des arcs-boutants des tribunes.

Restauration des maçonneries

Le choix des pierres de substitution

Le choix des pierres de substitution est un des problèmes cruciaux de cette vaste campagne de restauration et de reconstruction qui s'annonce. La multiplicité des pierres mises en œuvre depuis le XIX^{ème} siècle, ainsi que les mortiers utilisés, sont la principale cause des dégradations observées.

Les natures des pierres mises en œuvre dans la cathédrale sont connues par le biais des attachements figurés, couplés par les analyses qui ont été menées sur différents échantillons.

Les carrières ayant servi tant à la construction de la cathédrale à l'époque médiévale, qu'à sa restauration par Viollet-le-Duc au XIX^{ème} siècle ne sont pour la plupart plus en activité. La restauration de la cathédrale nécessitant un volume important de pierre neuve, il a fallu déterminer les possibilités qui existaient de remplacement ou substitution de pierres. Une mission réalisée par le BRGM a permis de recenser les carrières susceptibles de correspondre le mieux aux maçonneries de la cathédrale, tant d'un point de vue esthétique que mécanique.

Le rapport établi par la BRGM a permis de sélectionner les pierres utilisées en remplacement dans la phase de reconstruction suite à l'incendie.

Il a permis de compléter les investigations menées par le LRMH et l'entreprise ECMH sur l'arc-boutant G10, dans le cadre de l'étude de diagnostic d'octobre 2015 portant sur la restauration du chevet ¹. Également, l'expérience des travaux réalisés en phase II a permis d'affiner le choix de certaines natures de pierre.

Les pierres de substitution envisagées sont les suivantes :

- La pierre dure H4 de la carrière de la Croix Huyart (Aisne) pour les claveaux ou les pierres recevant une charge et une pression importante, ainsi que pour les pierres particulièrement soumises aux intempéries et au ruissellement (fleurons, gargouilles et glacis),
- La pierre Banc 3 de Saint-Maximin (Oise), ou la roche franche construction de Saint-Maximin (Oise), pour les maçonneries de remplissage, les murs gouttereaux, ainsi que les culées des arcs-boutants ;
- La pierre franche fine de la carrière de Saint Maximin (Oise) ou la H4 demi dure de la Croix Huyart pour les élévations des tribunes et des chapelles ;
- Le petit liais de Saint Maximin, qui présente des caractéristiques mécaniques et esthétiques proches de celles de la H4 dure de la Croix Huyart, pour les parties exposées
- Le liais de Saint Maximin est également prescrit pour les éléments en fort dévers, et très exposé comme les dalles de couverture ou les gargouilles ;

¹ Cathédrale Notre-Dame de Paris - Diagnostic complémentaire - Restauration des arcs-boutants et des murs gouttereaux du chevet - Philippe Villeneuve - Architecte en Chef des Monuments Historiques - Octobre 2015

Restauration des couvertures en pierre

Les gravats et poussières présents sur les couvertures seront déposés et un nettoyage complet des couvertures sera réalisé par brossage et par application d'un produit algicide et fongicide. Un micro-gommage complètera la suppression des croûtes noires, notamment sous les larmiers des chéneaux.

La totalité des joints des couvertures sera purgée et ils seront repris au mortier de chaux additionné d'hydrofuge.

Les dalles de pierre poreuses, fissurées ou recouvertes d'une étanchéité bitumineuse seront remplacés à neuf. L'étanchéité bitumineuse sera retirée et les dalles situées en dessous seront vérifiées.

Les dalles à changer seront descellées, et déposées par le haut. Les protocoles de dépose seront à détailler dans le mémoire technique, qui sera étudié avec soin par la maîtrise d'œuvre. Pour information, les sous-faces des dallages sont accessibles. Seules celles des travées du rond-point (T00 à T08) ne sont que très difficilement praticables.

Les étalements nécessaires à la bonne tenue des éléments adjacents aux dalles déposées devront être fournis. Afin de maintenir l'étanchéité du monument pendant les travaux, les dalles seront changées une à une (ou par parties contigües) et une protection étanche ponctuelle sera installée le temps nécessaire à ce changement de dalle.

Les supports des dalles (arcs maçonnés) seront vérifiés et pourront faire l'objet de reprises ponctuelles pour permettre la pose de la nouvelle dalle.

Les natures de pierres d'origines n'étant plus disponibles, il est recommandé la fourniture de dalles neuves en Liais de Saint-Maximin. Les dalles seront taillées à l'outil et posées au mortier de chaux hydrofuge. Les parements seront vieillis à l'outil, et un traitement biocide préventif leur sera appliqué.

Les ragréages

Dans le cadre des changements de dalles de pierre, les ragréages sont proscrits.

Les joints

Tous les dallages seront déjointoyés sur 10 cm de profondeur minimum, puis rejointoyés au mortier de chaux additionné d'hydrofuge et de sable.

La teinte et la granulométrie du mortier varieront afin que le résultat obtenu ne soit pas trop régulier.

Les ouvrages annexes

Les tampons permettant l'accès aux combles des tribunes feront d'une vérification soignée de leur étanchéité et seront changés si nécessaire.

Les travaux de changement de dalles devront être réalisés de façon concomitante avec ceux concernant les greffes des appuis de baies et les garde-corps couronnant les élévations des tribunes, afin de pouvoir traiter les pierres des chéneaux.

Habillage plomb des chéneaux

Afin de permettre la bonne étanchéité des chéneaux, leur habillage par un revêtement plomb est prévu. Ce traitement concerne les chéneaux des terrasses hautes et celles des terrasses basses. L'habillage des gargouilles est également prévu.

Après un nettoyage complet des chéneaux et des différentes, il est prévu la vérification des supports, et éventuellement la reprise de forme de pente au mortier. Un papier anglais qui servira d'interface avec les feuilles de plomb coulé de 5 mm sera ensuite installé. Une feuillure sera réalisée côté garde-corps afin de permettre l'insertion de la feuille de plomb.

Enfin, les crapaudines métalliques seront remises en place après vérification et éventuelle remise en état. Des crapaudines neuves seront fournies en remplacement des éléments manquants ou trop détériorés.

Sur la travée 22, un chéneau cuivre fera l'objet d'une révision, et d'un éventuel remplacement en plomb en fonction de son état sanitaire.

•

5 - Les moyens d'accès et protections diverse

Les moyens d'accès

Dans le cadre de la sécurisation du monument, les moyens d'accès par échafaudages de pieds ont été disposés place au droit des murs gouttereaux du chœur, des planchers ont été mis en place au niveau des terrasses hautes du chœur pour permettre la fixation des cintres.

Dans le cadre de l'évolution des installations pour la phase 2 de Post 2024, une partie de ces installations seront maintenues jusqu'à la fin des opérations de la phase 2. Toutefois, le phasage des travaux impose une évolution des moyens d'accès en parallèle de l'évolution des restaurations.

- **Dalles de pierre**

- La totalité des installations de la phase de reconstruction seront déposées dès la restauration des gouttereaux terminée. Côté Sud, une nouvelle sapine sera installée dans la travée 12, permettant de libérer la culée de l'arc-boutant 10 qui nécessite des travaux importants.
- Les travaux sur les dallages seront réalisés à la toute fin de l'opération, lorsque les cintres et les planchers auront été déposés, et que les dossierets seront terminés.
- Les accès seront assurés par le biais des sapines encore en place, qui seront alors réduites en hauteur mais permettront l'accès aux terrasses supérieures. Les deux travées des terrasses basses pourront être traitées dès qu'elles seront libérées de tout échafaudage (cf phasage).
- Les approvisionnements des pierres se feront à la grue en dehors des horaires d'ouverture au public de la cathédrale.

Les protections

- Lors des travaux de changement de dalles, toutes les précautions seront prises pour maintenir le hors d'eau de la cathédrale.
- En cas de changement de pierre de chéneau, des garde-corps seront installés pour prévenir tout risque de chute.
- Les bases des vitraux recevront une protection renforcée permettant d'éviter toute dégradation ou salissure lors des travaux.

•

6 - La contrainte plomb

Contamination plomb

Les différentes campagnes de mesures surfaciques réalisées sur les façades extérieures du chevet de la Cathédrale ont mis en évidence la présence d'une contamination par les poussières de plomb qu'il nous appartient d'intégrer dans l'analyse des risques pour les futurs travaux.

Les résultats des tests affichent une contamination non homogène, non excessivement élevée, avec une valeur moyenne à 4 167 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ mais aussi avec des pics importants à 19 595 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ et à 13949 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ sur l'élévation sud du Chœur.

MESURES SURFACIQUES ELEVATIONS EXTERIEURES CHŒUR	
Localisation	Concentration plomb ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)
Elévation Chœur Nord	12271
Elévation Chœur Nord	5352
Elévation Chœur Nord	410
Elévation Chœur Nord	326
Elévation Chœur Nord	382
Elévation Chœur Nord	1978
Elévation Chœur Nord	1997
Elévation Chœur Est	7625
Elévation Chœur Est	2116
Elévation Chœur Est	738
Elévation Chœur Est	3880
Elévation Chœur Est	1402
Elévation Chœur Est	418
Elévation Chœur Sud	19595
Elévation Chœur Sud	920
Elévation Chœur Sud	13949
Elévation Chœur Sud	754
Elévation Chœur Sud	903

Le repérage des revêtements en plomb, réalisé à l'aide d'un appareil à fluorescence X, ne détecte sur les parements extérieurs aucune peinture au plomb ; du plomb métal est toutefois présent en scellement des pierres au niveau des joints coulés au plomb, au niveau des éclaboussures de plomb fondu suite à l'incendie, des chemisages des chéneaux et des couvertures en tables de plomb coulées sur sable.

La présence de plomb dans le périmètre d'intervention et le risque d'exposition à cet élément pour les intervenants de cette opération ont porté au choix d'imposer à ces travaux la même contrainte plomb que le chantier de reconstruction.

L'organisation envisagée prévoit de déployer, au niveau des installations chantier et des protections collectives mises en place, tous les moyens de prévention pour limiter le risque d'exposition au plomb :

Organisation du chantier

Chantier clos et indépendant avec une séparation étanche entre la zone chantier dite « zone sale » et la zone base vie dite « zone propre » et des unités de décontamination à l'humide (douches) situées en tampon entre la zone sale et la zone propre.

Conditions d'accès/sortie du chantier

Accueil sécurité avec sensibilisation plomb pour tous les intervenants y compris les visiteurs
Accès au site autorisé uniquement au personnel formé au risque plomb
Suivi individuel renforcé (SIR) avec contrôle plombémie sous avis du médecin du travail
Douche obligatoire à chaque sortie de la zone sale

Installations de chantier

Base vie avec vestiaire « sale » et vestiaire « propre » et attribution de double casier par opérateur
Equipe de nettoyage des parties communes du chantier à demeure sur place pour assainir et contrôler le niveau d'empoussièrement du chantier assurant les actions correctives nécessaires
Surveillance météorologique hebdomadaire pour contrôler l'évolution des taux de plomb

Organisation des travaux

Mode opératoire plomb à établir, précisant le choix des techniques moins émissives en poussières et les moyens mis en place pour éviter la dissémination de poussières
EPI plomb avec adaptation des protections respiratoires suivant résultats des contrôles VLEP

Gestion du matériel

Procédure de décontamination du matériel et des engins au jet d'eau avec récupération et traitement des effluents
Décontamination des éléments d'échafaudages
Gestion centralisée du nettoyage des EPI non jetables

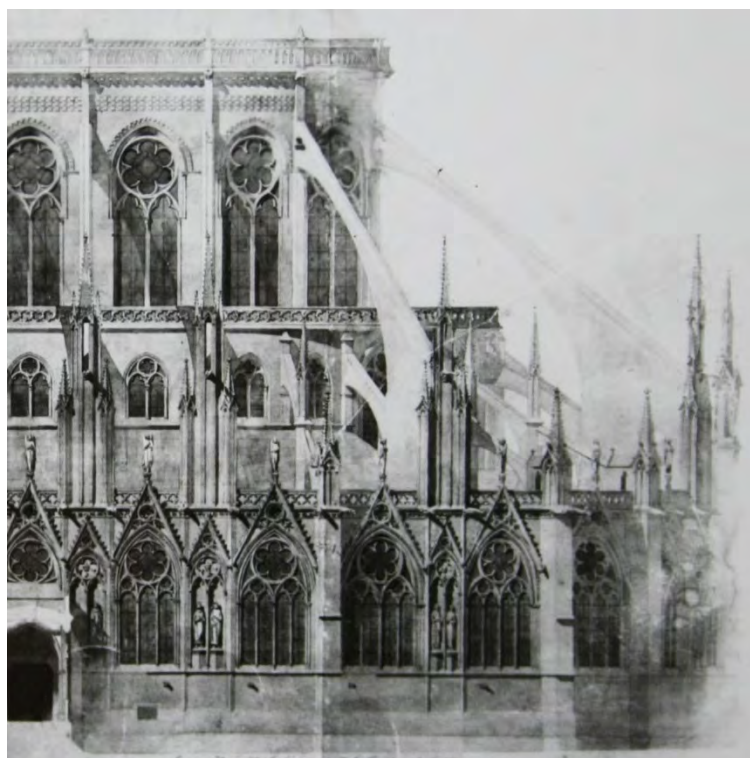
Gestion des déchets solides et liquides

Caractérisation de chaque déchet solide issu de travaux par test de lixiviation
Caractérisation de chaque déchet liquide par analyse MES (Matière en Suspension) et teneur en plomb
Gestion centralisée des déchets solides et liquides du chantier par le titulaire du lot Installations chantier – Utilités plomb
Traitement des déchets solides du chantier par évacuation en ISDI (Installation de Stockage des Déchets Inertes), ISDND (Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux) et ISDD (Installation de Stockage des Déchets Dangereux)
Traitement des déchets liquides du chantier par décantation et filtration, avant rejet dans le réseau d'assainissement de la ville

• • •

7

Les couvertures en plomb



- 1- Définition des limites de l'opération
- 2- Description architecturale
- 3- Synthèse de l'Etat sanitaire
- 4- Interventions projetées
- 5- Moyens d'accès
- 6- La contrainte plomb





Sommaire

1 - DEFINITION DES LIMITES DE LA PRESENTE OPERATION.....	143
2 - DESCRIPTION ARCHITECTURALE.....	144
LES COUVERTURES EN PLOMB DES RESERVES (TERRASSES BASSES DU CHŒUR)	144
3 - SYNTHESE DE L'ETAT SANITAIRE.....	146
PREAMBULE ET GENERALITES.....	146
ÉTAT SANITAIRE DES COUVERTURES EN PLOMB DES RESERVES DU CHŒUR (ET MAÇONNERIES ANNEXES).....	146
<i>Le recueil des eaux pluviales.....</i>	<i>149</i>
4 - PRESENTATION DES TRAVAUX	150
TRAVAUX PREALABLES, EN COURS OU REALISES	150
<i>Travaux d'urgence - sécurisation.....</i>	<i>150</i>
<i>Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction.....</i>	<i>150</i>
PARTI DE RESTAURATION	150
INTERVENTIONS PROJETÉES	151
<i>Restauration des couvertures en plomb et des eaux pluviales.....</i>	<i>151</i>
5 - LES MOYENS D'ACCES ET PROTECTIONS DIVERSES.....	152
<i>Les moyens d'accès</i>	<i>152</i>
6 - LA CONTRAINTE PLOMB.....	153



1 - Définition des limites de la présente opération

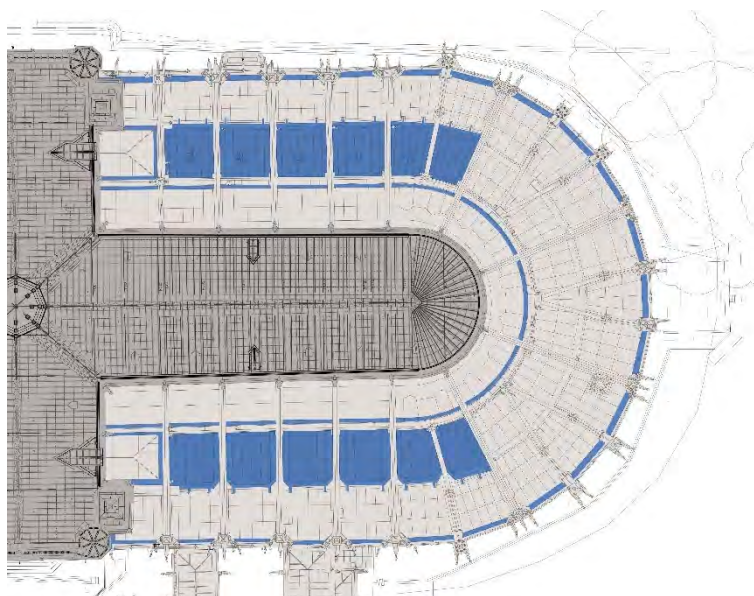
Lors des travaux de reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019, les couvertures en plomb du grand comble et de la flèche ont été restituées. Le projet de reconstruction prévoyait également en parallèle de la mise hors d'eau des parties hautes de la cathédrale, la mise hors d'eau des parties basses de l'édifice, par conséquent la restauration des toitures en plomb des réserves de la nef et du chœur, au vu de leur médiocre état de conservation. Il a été décidé que cette restauration ne serait pas menée sur les terrasses du chœur en raison de l'enchaînement des travaux de restauration du chevet avec les travaux de reconstruction.

En effet au-dessus de ces terrasses, il sera nécessaire pour la restauration du chevet et notamment des arcs-boutants, de mettre en place des échafaudages et autres étalements, dont une partie, à savoir les cintres et le plancher de travail situé au droit des gouttereaux, est restée en place à l'issue des travaux de reconstruction, de sorte à être utilisée pour les travaux de restauration du chevet. Il était donc préférable de surseoir à cette restauration des toitures des réserves du chœur et d'y procéder à l'issue de la restauration des parties hautes des maçonneries du chevet.

Enfin, à l'issue de la restauration des maçonneries du chevet, sera effectuée l'achèvement de la gestion des eaux pluviales provenant des couvertures du chevet et des terrasses.

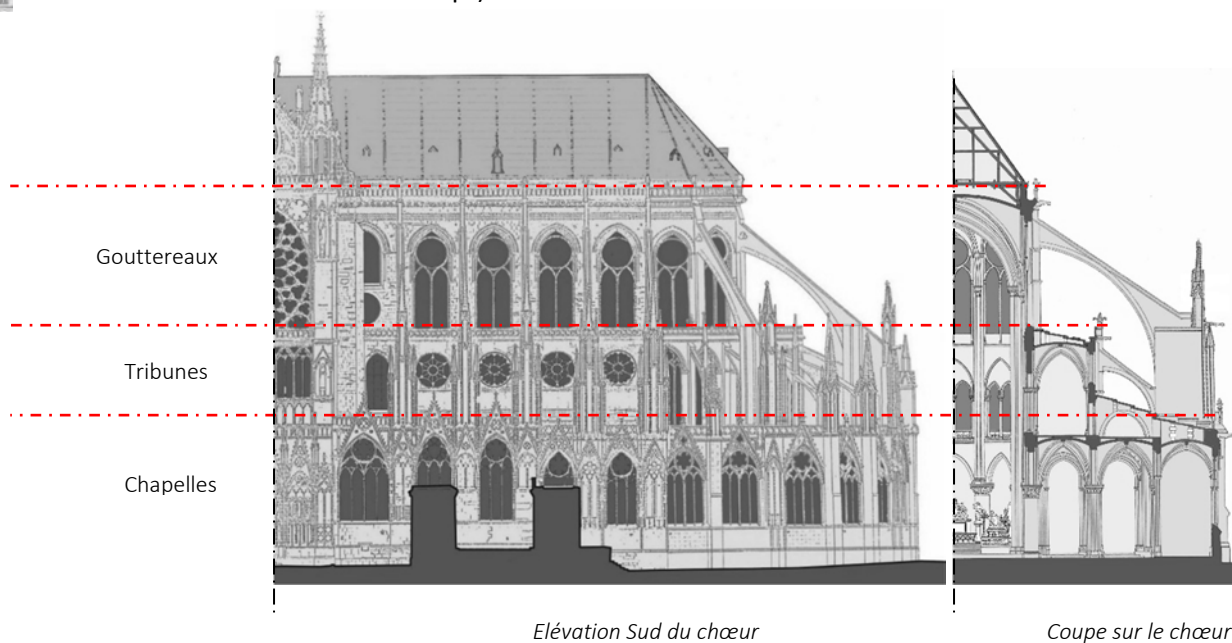
Ces travaux concernent, conformément aux localisations figurées en plan ci-dessous :

- La restauration des couvertures des réserves Nord et Sud du chœur
 - Chœur Nord : travées 09, 11, 13, 15, 17 et 19.
 - Chœur Sud : travées 10, 12, 14, 16, 18 et 20.
- La gestion des eaux pluviales provenant des parties hautes et basses du chevet par
 - la mise en œuvre d'habillage en plomb des chéneaux, gargouilles et exutoires
 - l'amélioration du dispositif d'évacuation des eaux pluviales des couvertures des réserves par le raccordement des avaloirs à des descentes EP nouvellement créées
 - le remplacement des descentes EP évacuant les eaux pluviales des tribunes sur les couvertures des réserves Sud
 - la mise en œuvre d'un dispositif d'étanchéité au revers des gâbles des tribunes



2 - Description architecturale

Le chœur, dont le plan est constitué de deux travées sexpartites et d'une abside à cinq pans, offre, sur trois niveaux successifs, des élévations qui se développent en rayonnant autour du chevet. Au premier niveau, les chapelles du déambulatoire présentent ainsi 23 travées, celui des tribunes, 18 travées (sans les retours côté Est), et celui des gouttereaux, 15 (sans les retours Est des croisillons du transept).



Les couvertures en plomb des réserves (terrasses basses du chœur)

Les dispositions des couvertures telles que nous les connaissons aujourd'hui sont, pour la majorité, liées aux importantes modifications apportées par Eugène Viollet-le-Duc dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle.

Lors des travaux de restauration, Eugène Viollet-le-Duc, dans sa volonté de rétablir la cathédrale dans un « état complet », modifie l'ensemble des couvertures des déambulatoires et des chapelles.

A l'issue des travaux, toutes les couvertures de la galerie des tribunes, des chapelles de la nef et du chœur, et les couvertures du rond-point de l'abside reproduisent les dispositions du modèle retenu : une seule pente composée de trois degrés de dalles en pierre, se déversant dans un chéneau disposé côté balustrade, exception faite des travées accolées aux tourelles d'escalier Est des transepts observant un couvrement en croupe.

A cet ensemble homogène, quelques couvertures dérogeront à la règle et seront réalisées en **plomb**. Ce fut notamment le cas des réserves des tribunes du chœur.

Les structures des couvertures en plomb

Ainsi, les couvertures en plomb des réserves du chœur seront supportées par une structure composée de pots en terre cuite hourdés au plâtre, associés à une structure métallique. Ces

couvrements ont probablement d’abord été construits au Sud, puis au Nord. Deux typologies distinctes ont été mises en œuvre :

- Au sud, la structure s’étend sur six travées séparées par des arcs brisés en pierre et se compose de voûtes en poteries creuses très surbaissées, intégrant des fermettes dont seul le tirant est visible. Ces fermettes sont positionnées, selon les travées, parallèlement (orientation Nord-Sud – photographie ci-dessous, à gauche) ou perpendiculairement (orientation Est-Ouest – photographie ci-dessous à droite) au sens de la pente.



- Au nord, la structure de toiture s’étend également sur six travées et se compose de poutrelles métalliques avec profilés laminés dont l’aile inférieure est visible, d’entretoises, et de pots de terre cuite hourdés au plâtre, portant entre les arcs-diaphragmes. Ponctuellement, des trémies ont été percées pour la mise en place de châssis vitrés avec la création de chevêtres en béton. Certaines travées ont été recouvertes d’un enduit, dissimulant la structure.



•

3 - Synthèse de l'état sanitaire

Préambule et généralités

La cathédrale a fait l'objet d'une vaste restauration menée au XIX^{ème} siècle, qui a touché toutes ses parties. Depuis, de nombreuses interventions, plus ponctuelles, ont été effectuées. Chacune y a apporté les matériaux, les méthodes et les partis de restauration propres à son époque.

Ces différentes interventions sur un monument qui reste malgré tout parfaitement médiéval, ont également provoqué en s'accumulant, et parfois en interférant les unes avec les autres, des désordres qui ont modifié les qualités des matériaux et provoqué des altérations plus ou moins graves et dangereuses pour la stabilité ou la conservation du monument.

La dernière campagne d'envergure menée sur la cathédrale fut la restauration du massif occidental, en vue des célébrations pour l'entrée dans le troisième millénaire (quoique les élévations Est et Nord de la tour Sud n'aient pas été traitées). La flèche constituait le dernier programme mis en œuvre, auquel allaient succéder celui du chevet et de la sacristie...

Avant l'incendie, en effet, une étude approfondie sur le chevet avait été menée. Elle avait notamment porté sur une culée et un arc boutant, ainsi que le mur gouttereau correspondant, estimés représentatifs des multiples pathologies repérées sur l'édifice. Cette étude a permis de déterminer la nature des différentes pierres, des joints et des mortiers de pose mis en œuvre par des prélèvements et des analyses, d'identifier les pathologies et d'en trouver les causes. Cette étude est donc toujours d'actualité et sert de référence à toute l'étendue du monument.

L'incendie survenu le 15 avril 2019 a interrompu les études alors en cours et a dirigé l'attention et les travaux vers les parties qui avaient été endommagées, qui ont été menées lors de la phase II.

Le chevet, dont l'étude ici présente est l'objet, n'a que peu été touché par les suites de l'incendie. Seules des coulures de plomb fondu jaillissant depuis des trous de boulins situés à hauteur des reins de voûtes, se sont parfois produits, rejaillissant ponctuellement sur les parties basses des murs gouttereaux, en tombant sur les dalles de pierre des terrasses des tribunes ou les couvertures en plomb des réserves.

Les couvertures en plomb des réserves n'ont quasiment pas été touchées par l'incendie hormis par la chute des éléments provenant des parties hautes. Cependant, dans un mauvais état de conservation, elles présentaient avant le sinistre de nombreux désordres, notamment côté Sud beaucoup plus exposé aux aléas climatiques que celles côté Nord.

État sanitaire des couvertures en plomb des réserves du chœur (et maçonneries annexes)

Les couvertures des réserves présentent des pathologies similaires à celles que présentaient les couvertures du grand comble et de la flèche avant l'incendie, que l'on peut catégoriser en deux types d'altérations, les altérations d'ordre chimique et les altérations d'ordre mécaniques.

Altérations d'ordre chimique : les altérations d'ordre chimique ont fait varier la couleur de certaines tables de plomb, soit vers une teinte brune, qui serait due à une corrosion



atmosphérique du plomb selon les études et recherches menées par le LRMH, soit vers une teinte noire due à un encrassement, effet d'une accumulation de particules de pollution atmosphérique, de suie ou de poussière, ce dernier changement de teinte étant plus particulièrement situé dans les zones abritées qui favorisent ce type d'accumulation.

A ces changements de teintes, s'ajoutent deux autres types de détériorations dues également à l'exposition aux intempéries : des coulures de rouille sous les pattes de fixation des tables pouvant avoir un effet corrosif sur le plomb et des développements importants d'algues sur les zones non exposées au soleil, côté Nord, maintenant un taux constant d'humidité élevé également nocif pour la bonne conservation des tables de plomb.

Altérations d'ordre mécanique : Les altérations mécaniques peuvent être classées en trois catégories, les altérations dues à l'usure des couvertures aussi bien sur les tables de plomb que sur les systèmes de fixation ou les raccords entre les éléments de couverture, celles dues à l'incendie avec la chute des éléments provenant des parties hautes et enfin celles issues d'une intervention sur les couvertures soit pour pallier les dégradations constatées, soit pour permettre la mise en place de dispositifs pendant les travaux de sécurisation, soit enfin par simple vandalisme.

L'usure mécanique des couvertures se traduit par des fissures ou des manques. Les déchirures sont dues à la dilatation du plomb (différences de température, etc.). Ces désordres sont principalement observables sur les couvertures en plomb à proximité de soudures ou à proximité de tasseaux. Propice aux infiltrations d'eau, on observe le pourrissement des tasseaux situés sous ces fissures. Les manques sont constatés à la suite de la ruine des soudures sur les extrémités des tasseaux de couverture ou par suite de la corrosion des éléments de fixation qui se détachent.

Les altérations mécaniques dues à l'incendie, notamment par la chute d'éléments plus ou moins importants, sont des déformations pouvant aller parfois jusqu'aux percements des tables ou dégradations des baguettes roulées, préjudiciables à l'étanchéité de la couverture et des agglomérats de plomb solidifiés dus aux rejaillissements de plomb fondu provenant des parties hautes.

Enfin par suite des interventions sur les couvertures, on constate la présence de rustines formées soit de pièces de plomb soudée à la résine à la table, soit des pièces rapportées adhésives de type « Pax-alu », ces deux solutions étant peu pérennes et souvent inesthétiques et de découpages des baguettes roulées assurant la jonction entre deux tables de plomb dus à la mise en place des étalements d'urgence pour assurer la sécurisation de la cathédrale, et malheureusement de graffitis sous forme de gravures délibérément réalisées à la surface des tables de plomb. Bien que ne traversant pas l'épaisseur de la table de plomb, ces vandalismes fragilisent l'étanchéité des couvertures. Ils sont essentiellement présents sur les couvertures faciles d'accès, par le public notamment, comme celles des tours du massif occidental.

Les couvertures des réserves des tribunes Sud du chevet

Les couvertures en plomb des réserves des tribunes Sud du chœur sont en très mauvais état de conservation.

La dilatation du métal, liés aux variations de températures plus marquées sur le versant Sud, a entraîné l'apparition de fissures. Ces désordres, auxquels s'ajoutent l'usure des soudures mais également le percement des tables par suite de la chute d'éléments de décors en pierre, usés par le temps et les intempéries ou très ponctuellement, des suites de l'incendie, favorisent les

infiltrations d'eau et engendrent le pourrissement de nombreux tasseaux des couvertures des réserves des tribunes. Lorsque la dimension des perforations est devenue trop importante, des réparations successives, réalisées à l'économie, ont été réalisées : mise en œuvre de rustines par soudure ou à la résine, de plaques de plomb aux dimensions du percement, complément de tables, adjonctions ponctuelles de feuille d'étanchéité en bitume élastomère autoprotégée par une couche, de type « paxalu ».

La surface d'un grand nombre de tables présente également une teinte brune-rouge dénotant, d'après les recherches menées par le LRMH depuis plusieurs années, d'un type de corrosion atmosphérique du plomb.



Les couvertures des réserves des tribunes Nord du chevet

Contrairement aux couvertures exposées au Sud, celles des réserves des tribunes Nord du chevet sont en assez bon état de conservation. Seuls les châssis assurant, pour chaque travée, un complément d'éclairage naturel, sont en très mauvais état, les vitrages étant pour la plupart brisés.

Ils ont été déposés en phase II et remplacés par une étanchéité provisoire.

Hormis quelques faiblesses (manques ponctuels aux extrémités des tasseaux suite à l'usure de soudures, légères déformations, rustines en nombre très limité), les désordres majeurs affectant ces ouvrages sont principalement liés à un encrassement noircissement de la surface des couvertures, à un développement important d'algues et mousses et, dans des proportions un peu moins importantes que les toitures exposées au Sud, au développement de signes de corrosion atmosphérique du plomb par moirage brun des tables de plomb.



Les supports de couvertures des réserves des tribunes du chœur

Les structures des couvertures plomb des réserves des tribunes du chœur ont fait l'objet d'une restauration par l'intérieur lors de la phase II des travaux de la cathédrale.



Le recueil des eaux pluviales

La problématique du recueil des eaux pluviales issues du ruissellement sur les toitures en plomb de la cathédrale concerne une partie des évacuations issues du chevet. Le projet prévoit de mettre à distance du public les zones d'écoulement de ces eaux, principalement par les gargouilles ornant la cathédrale et de réduire la portée du rejaillissement de ces eaux chutant en eau libre depuis la cathédrale vers le sol.

Ces eaux seront recueillies dans un réseau propre à la cathédrale afin de pouvoir les traiter avant de les rejeter dans le réseau de la ville.

•

4 - Présentation des travaux



Travaux préalables, en cours ou réalisés

Travaux d'urgence - sécurisation

Le chevet a été échafaudé très rapidement après l'incendie.

Un plancher placé au-dessus des terrasses hautes des chapelles et a servi de support à un échafaudage de pied situé sur la face externe des gouttereaux, ainsi qu'aux cintres des arcs boutants.

Une purge des parements instables et une aspiration THE /HEPA visant à abaisser le taux de plomb sur les parements ont été réalisés au sein de la phase 2.

Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction

- *Couvertures*

Afin d'assurer le hors d'eau complet de la cathédrale et ne pas risquer d'endommager les nettoyages et restaurations intérieurs conduits pendant l'opération de Reconstruction, une partie des toitures terrasses en pierre de taille et en plomb ont été restaurées. Il s'agit des terrasses basses en pierre situées au-dessus des chapelles. Les chéneaux et raccords d'eau pluviales ont fait l'objet de réfection ponctuelles.

Les supports en terre cuite des couvertures en plomb ont également fait l'objet de travaux de restauration par l'intérieur.

Parti de restauration

Les principes de restauration qui ont été mis au point lors de l'étude menée en 2015 sur une travée test du chevet (travée 10), ont été développés lors des travaux de restauration et seront à appliquer pour les travaux prévus sur la totalité du chevet.

- **Les réserves**

- Les travaux comprendront :
 - les couvertures des réserves en plomb
 - la mise en place de descentes EP dans les exutoires afin de réduire les pathologies liées aux rejaillissements.

- **Les élévations des chapelles**

- Les travaux comprendront :
 - le chemisage en plomb des chéneaux et gargouilles. Dans ce cadre, seront également entreprises les modifications très ponctuelles des chéneaux alimentant les deux gargouilles recrachant les eaux pluviales récoltées dans l'espace public, côté rue du cloître. Ces dernières seront, par le reprofilage de contre-pente, condamnées et les eaux seront renvoyées vers d'autres gargouilles.
- Dans le cadre de l'opération de reconstruction, ont déjà été traités :

- Une partie des améliorations des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales au droit des gâbles des élévations des chapelles.

Interventions projetées

Restauration des couvertures en plomb et des eaux pluviales

Réfection des couvertures plomb des réserves du chevet

Les couvertures en plomb seront refaites à l'identique de celles en œuvre actuellement, à l'exception des lanterneaux côté Nord qui ne seront pas reconduits. Les couvertures actuelles seront déposées en démolition. Les tables déposées seront refondues pour être recyclées dans le coulage des nouvelles tables à mettre en œuvre.

Le support sera repris en recherche au mortier plâtre avec interposition de tasseaux horizontaux en sain, prévus pour la fixation en tête des tables de plomb. Une double épaisseur croisée de papier anglais sera mise en œuvre sur la forme au plâtre.

Les tables de plomb seront en plomb coulé sur sable de 3,5mm d'épaisseur et mises en œuvre à l'identique des dispositions existantes, à savoir :

- Rives de tête : Recouvrement de la feuille courante par une bande soline fixée à la maçonnerie par une bande de clouage en cuivre.
- Jonctions entre tables dans le sens de la pente à raccordement avec recouvrement sur tasseau en sapin section 30mm. Les tasseaux bois doivent être fixés sur la maçonnerie support.

Création de descentes EP dans les exutoires

Afin de résoudre le problème du rejaillissement des EP des couvertures de réserves du chevet sur les culées des contreforts, les exutoires de ces couvertures seront percés à leur naissance pour installer un avaloir en plomb, relié à une descente en cuivre qui évacuera les EP sur les terrasses basses. Les larmiers situés en contrebas seront taillés pour permettre le passage des descentes. Ces exutoires seront habillés de plomb, tout comme les chéneaux qu'ils évacuent. Au préalable, les coulures de plomb issues de l'incendie auront été soigneusement enlevées et les chéneaux restaurés (remplacement des pierres altérées, réfection des joints au mortier additionné d'hydrofuge).

•

5 - Les moyens d'accès et protections diverses

Les moyens d'accès

Dans le cadre de la sécurisation du monument, les moyens d'accès par échafaudages de pieds ont été disposés place au droit des murs gouttereaux du chœur, des planchers ont été mis en place au niveau des terrasses hautes du chœur pour permettre la fixation des cintres.

Dans le cadre de l'évolution des installations pour la phase 2 de Post 2024, une partie de ces installations seront maintenues jusqu'à la fin des opérations de la phase 2, pour permettre le commencement des travaux de la phase 3 sur les murs gouttereaux (planchers sur terrasses et échafaudages) ainsi que les travaux de restauration des arcs boutants (cintres).

L'ensemble des dispositifs d'étaisements et de platelage sera déposé à l'issue des travaux de restauration des arcs-boutants pour permettre la suite des interventions sur les parties basses du chevet.

- **Les réserves**

- Des échafaudages au-devant des élévations des murets soutenant l'égout des toitures des réserves seront à prévoir ; ils seront également utilisés pour les travaux de réfection des toitures en plomb.

- **Les élévations des chapelles**

- Des échafaudages au-devant des élévations des chapelles seront à prévoir, compris des sapines d'approvisionnement à intervalles réguliers. Ces échafaudages pourront être utilisés pour la mise en œuvre d'habillage en plomb des chéneaux, gargouilles et exutoires.

•

6 - La contrainte plomb

Contamination plomb

Les différentes campagnes de mesures surfaciques réalisées sur les façades extérieures du chevet de la Cathédrale ont mis en évidence la présence d'une contamination par les poussières de plomb qu'il nous appartient d'intégrer dans l'analyse des risques pour les futurs travaux.

Les résultats des tests affichent une contamination non homogène, non excessivement élevée, avec une valeur moyenne à 4 167 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ mais aussi avec des pics importants à 19 595 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ et à 13949 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ sur l'élévation sud du Chœur.

MESURES SURFACIQUES ELEVATIONS EXTERIEURES CHŒUR	
Localisation	Concentration plomb ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)
Elévation Chœur Nord	12271
Elévation Chœur Nord	5352
Elévation Chœur Nord	410
Elévation Chœur Nord	326
Elévation Chœur Nord	382
Elévation Chœur Nord	1978
Elévation Chœur Nord	1997
Elévation Chœur Est	7625
Elévation Chœur Est	2116
Elévation Chœur Est	738
Elévation Chœur Est	3880
Elévation Chœur Est	1402
Elévation Chœur Est	418
Elévation Chœur Sud	19595
Elévation Chœur Sud	920
Elévation Chœur Sud	13949
Elévation Chœur Sud	754
Elévation Chœur Sud	903

Le repérage des revêtements en plomb, réalisé à l'aide d'un appareil à fluorescence X, ne détecte sur les parements extérieurs aucune peinture au plomb ; du plomb métal est toutefois présent en scellement des pierres au niveau des joints coulés au plomb, au niveau des éclaboussures de plomb fondu suite à l'incendie, des chemisages des chéneaux et des couvertures en tables de plomb coulées sur sable.

La présence de plomb dans le périmètre d'intervention et le risque d'exposition à cet élément pour les intervenants de cette opération ont porté au choix d'imposer à ces travaux la même contrainte plomb que le chantier de reconstruction.

L'organisation envisagée prévoit de déployer, au niveau des installations chantier et des protections collectives mises en place, tous les moyens de prévention pour limiter le risque d'exposition au plomb :

Organisation du chantier

Chantier clos et indépendant avec une séparation étanche entre la zone chantier dite « zone sale » et la zone base vie dite « zone propre » et des unités de décontamination à l'humide (douches) situées en tampon entre la zone sale et la zone propre.



Conditions d'accès/sortie du chantier

Accueil sécurisé avec sensibilisation plomb pour tous les intervenants y compris les visiteurs
Accès au site autorisé uniquement au personnel formé au risque plomb
Suivi individuel renforcé (SIR) avec contrôle plombémie sous avis du médecin du travail
Douche obligatoire à chaque sortie de la zone sale

Installations de chantier

Base vie avec vestiaire « sale » et vestiaire « propre » et attribution de double casier par opérateur
Equipe de nettoyage des parties communes du chantier à demeure sur place pour assainir et contrôler le niveau d'empoussièrement du chantier assurant les actions correctives nécessaires
Surveillance météorologique hebdomadaire pour contrôler l'évolution des taux de plomb

Organisation des travaux

Mode opératoire plomb à établir, précisant le choix des techniques moins émissives en poussières et les moyens mis en place pour éviter la dissémination de poussières
EPI plomb avec adaptation des protections respiratoires suivant résultats des contrôles VLEP

Gestion du matériel

Procédure de décontamination du matériel et des engins au jet d'eau avec récupération et traitement des effluents
Décontamination des éléments d'échafaudages
Gestion centralisée du nettoyage des EPI non jetables

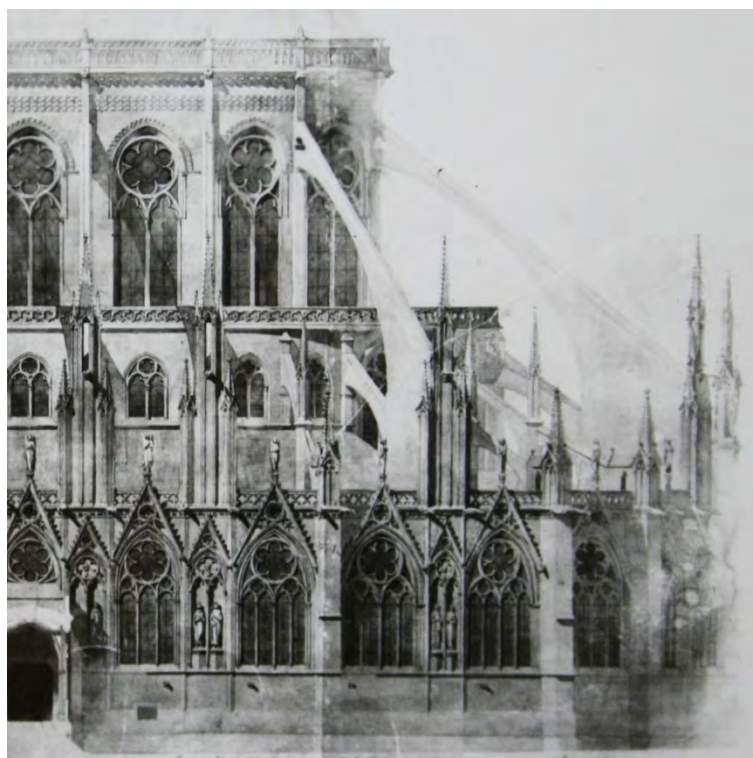
Gestion des déchets solides et liquides

Caractérisation de chaque déchet solide issu de travaux par test de lixiviation
Caractérisation de chaque déchet liquide par analyse MES (Matière en Suspension) et teneur en plomb
Gestion centralisée des déchets solides et liquides du chantier par le titulaire du lot Installations chantier – Utilités plomb
Traitement des déchets solides du chantier par évacuation en ISDI (Installation de Stockage des Déchets Inertes), ISDND (Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux) et ISDD (Installation de Stockage des Déchets Dangereux)
Traitement des déchets liquides du chantier par décantation et filtration, avant rejet dans le réseau d'assainissement de la ville

...

8

Les vitraux



- 1- Définition des limites de l'opération
- 2- Description architecturale
- 3- Synthèse de l'Etat sanitaire
- 4- Interventions projetées
- 5- Moyens d'accès
- 6- La contrainte plomb





Sommaire

1 - DEFINITION DES LIMITES DE LA PRESENTE OPERATION.....	159
2 - DESCRIPTION ARCHITECTURALE	160
LES VITRAUX ET SERRURERIES	160
<i>Les fenêtres hautes du chœur</i>	<i>160</i>
<i>Les fenêtres des tribunes du chœur.....</i>	<i>160</i>
<i>Les fenêtres des chapelles du chœur</i>	<i>161</i>
3 - SYNTHESE DE L'ETAT SANITAIRE.....	162
PREAMBULE ET GENERALITES.....	162
ETAT SANITAIRE DES VITRAUX ET SERRURERIES	162
<i>Généralités</i>	<i>162</i>
<i>Ventilations</i>	<i>164</i>
<i>Les vitraux du XIX^{ème} siècle</i>	<i>164</i>
4 - INTERVENTIONS PROJETEES.....	166
TRAVAUX PREALABLES, EN COURS OU REALISES	166
<i>Travaux d'urgence - sécurisation.....</i>	<i>166</i>
<i>Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction.....</i>	<i>166</i>
PARTI DE RESTAURATION	166
INTERVENTIONS PROJETEES	168
<i>Travaux en condition amiante.....</i>	<i>168</i>
<i>Restauration des vitraux et serrureries</i>	<i>168</i>
5 - LES MOYENS D'ACCES ET PROTECTIONS DIVERSE	170
<i>Les moyens d'accès.....</i>	<i>170</i>
<i>Les protections.....</i>	<i>170</i>
6 - LA CONTRAINTE PLOMB.....	171



1 - Définition des limites de la présente opération

Lors des travaux de reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019, une partie des maçonneries a été restaurée, et n'est par conséquent pas à prendre en compte dans la présente étude. Ces travaux concernent :

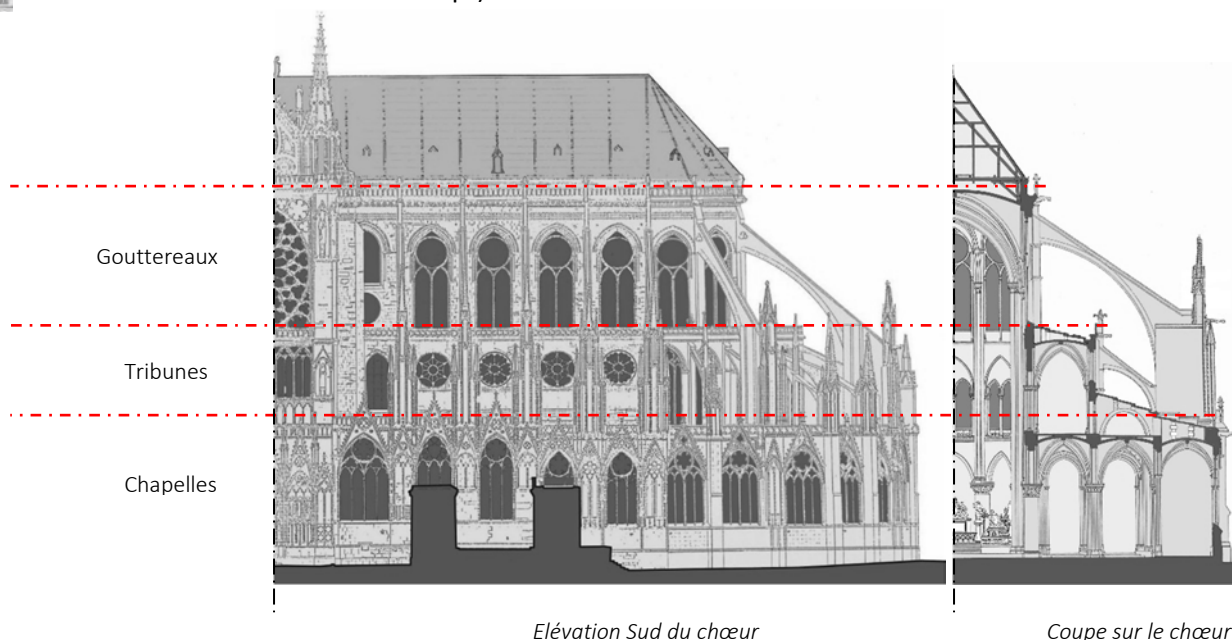
- Les gardes corps du chemin de ronde qui ont été entièrement restaurés jusqu'au niveau de la frise de corniche, ainsi que les fleurons.
- Les pierres de jambage et de remplage des baies haute ont fait l'objet de remplacement et nettoyage, à l'occasion des travaux de restauration des vitraux des baies hautes.
- La couverture en dalle de pierre des chapelles a fait l'objet d'important travaux de restauration.
- Les pinacles au Nord des files F13, F15, F17 et F19 ont fait l'objet d'un remplacement d'urgence.

Les vitraux concernés par la présente opération sont ceux des baies des tribunes du chœur, dont la restauration est prévue en atelier. Les baies des chapelles seront traitées lors d'une opération ultérieure. La repose de certains vitraux de la Nef déposés en phase II est également en option.

La phase II a permis la mise au jour de présence d'amiante dans certains mastics de pose et/ou calfeutrement, rendant la dépose des baies spécifique.

2 - Description architecturale

Le chœur, dont le plan est constitué de deux travées sexpartites et d'une abside à cinq pans, offre, sur trois niveaux successifs, des élévations qui se développent en rayonnant autour du chevet. Au premier niveau, les chapelles du déambulatoire présentent ainsi 23 travées, celui des tribunes, 18 travées (sans les retours côté Est), et celui des gouttereaux, 15 (sans les retours Est des croisillons du transept).



Les vitraux et serrureries

Les fenêtres hautes du chœur

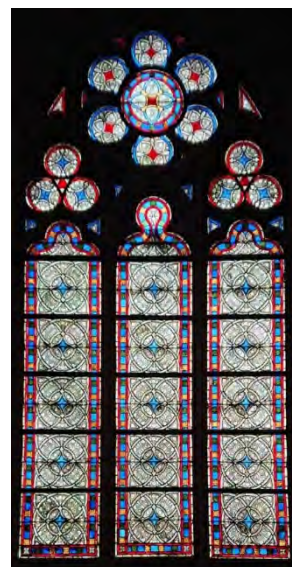
Les vitraux des baies hautes du chœur ont fait l'objet d'une campagne de restauration par une dépose et un nettoyage en atelier lors des travaux de reconstruction.

Les fenêtres des tribunes du chœur

Structure :

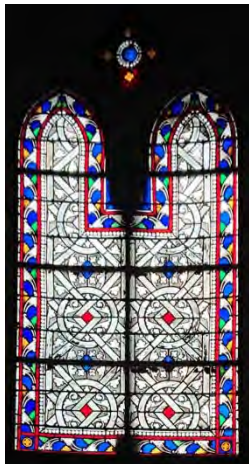
Les fenêtres du XIV^{ème} siècle qui remplaçaient les baies primitives plus simples ont été restaurées et recrées au XIX^{ème} siècle par Viollet-le-Duc. Au chevet, les baies au remplage gothique rayonnant s'apparentent aux baies des chapelles. Elles sont divisées en trois lancettes. La lancette centrale plus haute se termine en ogive, les lancettes latérales sont surmontées d'un trèfle. Le tympan est ajouré d'une rose polylobée à six pétales et écoinçons. Les travées les plus occidentales du chevet sont percées de petites baies géminées surmontées d'un petit quadrilobe qui réinterprètent l'architecture médiévale (baies 107, 109, 108, 110).

Les baies nord et sud sont formées par des oculi au remplage rayonnant, inventés par Viollet-le-Duc. Les baies les plus occidentales sont de simples lancettes.



Verrière ornementale, peinte par Baptiste XIX^{ème} siècle. (Baie 103)

Iconographie :



Baie sud 110, XIX^{ème} siècle.

Les verrières du XIX^{ème} siècle, réalisées par Baptiste sur des cartons de Steinheil, ont remplacé les verrières du XVIII^{ème} siècle de Pierre le Vieil. Les verrières non figuratives sont peintes en grisailles d'un décor géométrique et végétal.

Couleur et style :

Les verrières ornementales offrent une décoration proche de celle des baies basses avec rinceaux stylisés et entrelacs. La grisaille est réhaussée de touche polychrome. Les bordures s'ornent de motif végétal polychrome. Si l'usage de cartons est systématique, chaque verrière reste unique et développe son propre thème. L'exécution rapide reste soignée.



Verrière ornementale, XIX^{ème} siècle. (baie 113)



Verrière ornementale, XIX^{ème} siècle. (baie 112)

Les fenêtres des chapelles du chœur

Les fenêtres des chapelles du chœur seront traitées dans une opération ultérieure.

•

3 - Synthèse de l'état sanitaire

Préambule et généralités



La cathédrale a fait l'objet d'une vaste restauration menée au XIX^{ème} siècle, qui a touché toutes ses parties. Depuis, de nombreuses interventions, plus ponctuelles, ont été effectuées. Chacune y a apporté les matériaux, les méthodes et les partis de restauration propres à son époque.

Ces différentes interventions sur un monument qui reste malgré tout parfaitement médiéval, ont également provoqué en s'accumulant, et parfois en interférant les unes avec les autres, des désordres qui ont modifié les qualités des matériaux et provoqué des altérations plus ou moins graves et dangereuses pour la stabilité ou la conservation du monument.

La dernière campagne d'envergure menée sur la cathédrale fut la restauration du massif occidental, en vue des célébrations pour l'entrée dans le troisième millénaire (quoique les élévations Est et Nord de la tour Sud n'aient pas été traitées). La flèche constituait le dernier programme mis en œuvre, auquel allaient succéder celui du chevet et de la sacristie...

Avant l'incendie, en effet, une étude approfondie sur le chevet avait été menée. Elle avait notamment porté sur une culée et un arc boutant, ainsi que le mur gouttereau correspondant, estimés représentatifs des multiples pathologies repérées sur l'édifice. Cette étude a permis de déterminer la nature des différentes pierres, des joints et des mortiers de pose mis en œuvre par des prélèvements et des analyses, d'identifier les pathologies et d'en trouver les causes. Cette étude est donc toujours d'actualité et sert de référence à toute l'étendue du monument.

L'incendie survenu le 15 avril 2019 a interrompu les études alors en cours et a dirigé l'attention et les travaux vers les parties qui avaient été endommagées, qui ont été menées lors de la phase II.

Les vitraux ont conservé leur intégrité. Ils n'ont pas subi de dommages importants dus à l'incendie, hormis les vitraux losangés des 3 pignons détruits et quelques panneaux endommagés au nord de la nef lors de l'effondrement de la flèche.

Leur état de conservation est correct. Les altérations relèvent de pathologies courantes.

Les baies des jouées des réserves des tribunes losangées blanc ont été restaurées dans le cadre de la phase II.

Les travaux à réaliser sur les vitraux des tribunes relèvent essentiellement d'une restauration classique, en revanche leur dépose sera spécifique en raison de la présence d'amiante avérée dans certains mastics de pose ou calfeutrements. Une salle blanche permettant les travaux de dépollution sera mise à disposition sur site.

Etat sanitaire des vitraux et serrureries

Généralités

Encadrements en pierre et remplacements des baies

Les encadrements en pierre sont en relatif bon état pour l'ensemble des baies, leur structure paraît stable. Les baies des niveaux inférieurs des tribunes et des chapelles sont mieux conservées, peut-être moins exposées aux intempéries. Leurs remplacements sont dans un état passable, nonobstant les pierres de meneaux posées en délit à contrôler.

Calfeutrements

Les calfeutrements sont d'une manière générale en mauvais état. Ils ne remplissent plus leur fonction d'étanchéité. Souvent fissurés, ils présentent de nombreux retraits et manques. Parfois leur réalisation est grossière et inesthétique (baies des tribunes du chœur). En outre, certains ont révélé la présence d'amiante (cf chapitre suivant)



Détail des calfeutrement et armatures, baie 103, phot. P. Villeneuve mars 2020

Armatures métalliques fixes et mobiles

La stabilité des armatures fixes est à revoir car elles présentent quelques déchaussements résultants des scellements déficients. Les armatures sont fortement altérées par la rouille. Leur surface n'est plus protégée de peinture et des manques de matières localisées sont constatés. Les armatures des baies basses sont les mieux conservées que celles des baies hautes traitées en phase II. On note la disparition et le manque de pannetons. Il faut aussi remarquer que leur lumière est de taille réduite, les clavettes sont de petites dimensions ou inexistantes.

Les armatures mobiles, vergettes et feuillards, sont aussi très corrodés, surtout pour les verrières dont la pose est extérieure et qu'il faudra prévoir de remplacer.

Réseaux de plomb

Les réseaux de plomb sont dans un état altéré à très altéré. Leur vieillissement et leur usure ont des conséquences directes sur la stabilité des panneaux de vitraux. De nombreux panneaux montrent des signes d'affaissement ou sont déformés. Leurs ailes sont altérées, ouvertes causant le déchaussement des pièces de verre et l'apparition de manques. Leur dimension varie entre 6-8 mm, des plombs de 5-6 mm sont visibles dans les verrières des tribunes du chœur. La surface des plombs est altérée par des piqûres (infiltrations d'eau condensation). On note des fissures dans leurs réseaux et les soudures montrent des signes de faiblesse. Les rosettes qui entourent les vergettes ne sont pas toujours bien formées, distendues ou détachées, quelques fois manquantes. La faiblesse des plombs peut aussi provenir d'un défaut ou de la disparition du masticage.

L'analyse du LRMH en mai 2015 du panneau b5 de la baie 208 préalablement déposé a révélé l'état important d'altération des plombs. Visibles seulement après le nettoyage de la couche noire de salissure, une vingtaine de fissures ou ruptures sont révélées aux deux faces. Le panneau b5 présentait des ailes de plomb altérées et des plombs très altérés et piqués, conséquence d'infiltration d'eau et de l'importance de la condensation sur la face interne.



Baie 208-panneau b5 : relevé des casses du réseau de plomb, LRMH mai 2015

L'analyse a aussi révélé que les plombs ont été étamés par une couche d'étain-plomb réalisée sur toute la surface de l'aile de plomb en face interne comme externe, dans l'idée de rigidifier le panneau, mais qui a engendré un effet contraire sur leur solidité. Ce procédé est constaté aussi dans les baies des tribunes du chœur.

Verres peints

Toutes les verrières présentent d'importantes salissures et un fort taux d'encrassement (accumulation de poussière et dépôt de suies), intérieur comme extérieur, entraînant l'opacification des verres. Les altérations chimiques liées à la pollution atmosphérique et à l'environnement, le lessivage des panneaux par l'eau de pluie conduisent aussi à l'opacification des verres, la formation d'induration, l'érosion de leur surface et la formation de cratères. La corrosion des armatures entraîne des coulures de rouille (face externe).



Détail d'une casse multiple, baie 207 phot. Emma Groult avril 2019

La condensation intérieure, aggravée par le défaut de ventilation notamment en appui, favorise la formation de micro-cratères et le décollement des grisailles.

Les verrières présentent aussi des altérations mécaniques dues aux chocs et aux déformations avec des casses simples ou multiples des pièces de verres. Ici encore les verrières basses semblent mieux protégées. Des manques et lacunes sont aussi constatées.

Ventilations

L'absence d'un système de ventilation efficace est un facteur aggravant dans l'altération des verrières avec des conséquences directes sur leur pérennité.

Nota : Les notes d'état sanitaire suivantes s'appuient en partie sur le diagnostic de B. Mouton ACMH de juillet 2014.

Les vitraux du XIX^{ème} siècle des tribunes du chœur

Préambule

Les verrières des tribunes du chœur conservent une grisaille polychrome en état correct avec une couche picturale bien adhérente dans l'ensemble, peut-être parce que ces baies sont moins exposées que les autres baies du chœur et que les pièces de verres sont d'un format plus petit..

Remarques générales

Les vitraux des tribunes du chœur sont dans un état passable à altéré. Leur face interne a été dépoussiérée et nettoyée en œuvre au cours de la phase 2 reconstruction. Leur face externe, qui n'a pas fait l'objet de travaux en phase 2, reste très encrassée et salie.

Beaucoup présentent des plombs plus ou moins dessertis, certains ont été ragrésés avec des joints au silicone (ceux du vaisseau central notamment). Les calfeutrements sont majoritairement lacunaires, ce qui cause des coulures en intérieur (au droit de ceux du vaisseau central, du 1er bas-côté).

D'une manière générale sont constatées sur l'ensemble :

- Encrassement général, salissures.
- Corrosion des armatures métalliques.

- Calfeutrements lacunaires.
- Quelques déformations et casses.

Les fenêtres des tribunes du chœur

Etat de conservation

Les verrières sont en place. Il semble y avoir eu une campagne de restauration, les plombs ont été étamés, la couche d'étain (LRMH) est irrégulière.

Etat sanitaire

Moyen.

- Encrassement général des verrières et rosaces, y compris des remplages.
- Armatures et fers rouillés (corrosion avancée).
- Desquamation avancée du remplage de la 10^{ème} travée rayonnante (baie 04 et 06).
- Altération du scellement de certaines barlotières.
- Quelques verres cassés.
- Quelques panneaux déformés (en moyenne un panneau par baie).
- Sur certains panneaux, les ailes de plomb se décollent et se détachent.
- Clavettes manquantes.
- Certains plombs semblent neufs.
- Efflorescences blanches sur certains verres.
- Calfeutrements très sales, inesthétiques, lacunaires, fissurés.



Détail baie 105, phot. P. Villeneuve
ACMH mars 2020

Repérage de matériaux et produits contenant de l'amiante :

Le diagnostic amiante réalisé par le cabinet L3aDiag a mis en évidence la présence de matériaux et produits contenant de l'amiante dans les calfeutrements, les mastics de pose et les mastics vitriers de plusieurs vitraux des baies des tribunes du chœur.

Cf. Annexe générale 6 – Diagnostic amiante – Pré-rapport de mission de repérage des matériaux et produits contenant de l'amiante avant réalisation des travaux » - n°00283016 A V3 – L3aDiag – 06/01/2025.

•

4 - Interventions projetées

Travaux préalables, en cours ou réalisés

Travaux d'urgence - sécurisation

Le chevet a été échafaudés très rapidement après l'incendie.

Un plancher placé au-dessus des terrasses hautes des chapelles a servi de support à un échafaudage de pied situé sur la face externe des gouttereaux, ainsi qu'aux cintres des arcs boutants.

Une purge des parements instables et une aspiration THE /HEPA visant à abaisser le taux de plomb sur les parements des murs gouttereaux du chœur ont été réalisés au sein de la phase 2.

Travaux réalisés pendant le chantier de reconstruction

- *Vitraux*

A la suite de l'incendie, les vitraux des baies hautes ont rapidement été déposés afin de les préserver si une instabilité des structures venait à être constatée. A cette occasion, l'ensemble des panneaux de vitraux et armatures des baies hautes ont fait l'objet d'une restauration en atelier. Les verrières des tribunes et des chapelles et oculi ont fait l'objet d'une aspiration et d'un nettoyage en place de la face intérieures.

Parti de restauration

Il est proposé de restaurer les vitraux des tribunes du chœur en tenant compte de l'état et du diagnostic des vitraux et de leurs armatures fixes et mobiles, du repérage de matériaux amiantés nécessitant des travaux de décontamination en amiante niveau SS3, mais aussi des travaux nécessaires à la restauration des remplages en pierre.

Il est aussi prévu en option de reposer les panneaux de vitraux des autres panneaux des tribunes et RDC de la nef, remplacés par des panneaux de fac-similés en phase 2.

Nous donnerons ci-après, pour information, les principales prestations à réaliser dans le cadre de l'opération « Post 2024 ».

- **Les élévations des gouttereaux**

- Les travaux comprendront :

- le nettoyage et la restauration des parements en pierre de taille des gouttereaux du vaisseau principal, exception faite des encadrements de baies, compris la corniche médiévale composée de trois rangées de denticules. Les parties supérieures (garde-corps, larmier et corniche a crochet) ont été restaurés pendant la campagne de travaux de reconstruction.

À noter : Plusieurs concrétions plomb présentes sur les parements, conséquence de la fonte des tables de plomb de la couverture du grand comble lors de l'incendie et leur écoulement partiel par les trous de boulins présent en façade et communiquant avec l'intérieur du comble, seront à conserver comme témoignage du sinistre. Celles non retenues par l'ACMH seront supprimées. Ces concrétions seront enlevées par action mécanique suivant les tests établis par le LRMH.



- **Les arcs boutants et leurs culées**

- Les travaux comprendront :
 - le nettoyage et la restauration des volées des arcs-boutants et leurs culées au Nord (F13, F15 et F17) et au Sud (F16) dont l'état de conservation est plus satisfaisant.
 - la reconstruction des volées des arcs-boutants et leurs culées au Nord : F21 et F19 et F09 et au Sud F14, F 18, F20 et F22
 - la reconstruction des volées des arcs boutants et leurs culées à l'Est, F03, F04 et F10
 - la restauration des arcs boutants à simple volées et leurs culées à l'Est, F01, F02, F05, F06, F07 et F08
 - le chemisage en plomb des chéneaux des arcs boutants et gargouilles.

- **les tribunes**

- Les travaux comprendront :
 - le nettoyage et la restauration des élévations des tribunes, garde-corps compris ;
À noter : les fleurons des garde-corps des terrasses hautes ont été déposés dans le cadre des travaux de sécurisation de la cathédrale pour permettre l'installation des cintres des arcs-boutants et ont été stockés dans un local provisoire. L'entreprise en charge de ces ouvrages devra leur récupération, l'établissement d'un état sanitaire complet et, en lien avec l'ACMH, la proposition d'un programme de travaux (restauration ou réfection à neuf selon leur état de conservation) ;
 - la restauration en atelier des panneaux de vitraux et armatures des baies des tribunes, après dépose et traitement SS3 amiante en salle blanche sur site ;
 - les toitures terrasses en pierre des tribunes au niveau supérieur, initialement prévues au sein du chantier de « Reconstruction »- DCE5, seront réalisés après dépose des cintres et planchers ;

- **Les réserves**

- Les travaux comprendront :
Extérieur
 - le nettoyage et la restauration des élévations des réserves
 - les couvertures des réserves en plomb

- **Les élévations des chapelles**

- Les travaux comprendront :
 - le nettoyage et la restauration des élévations des chapelles toutes hauteurs, compris des reprises ponctuelles en intérieurs, lors du remplacement de pierres d'encadrement de baies ;
 - le chemisage en plomb des chéneaux et gargouilles. Dans ce cadre, sera également entrepris les modifications très ponctuelles des chéneaux alimentant les deux gargouilles recrachant les eaux pluviales récoltées dans l'espace public, côté rue du cloître. Ces dernières seront, par le reprofilage de contre-pente, condamnées et les eaux seront renvoyées vers d'autres gargouilles.

•

Interventions projetées

Travaux en condition amiante

Le repérage de matériaux et produits contenant de l'amiante réalisé sur les vitraux a mis en évidence la présence d'amiante au niveau des calfeutrements en mortier de chaux ainsi qu'au niveau des mastics de pose et des mastics vitriers.

Préalablement à toute opération de nettoyage et de restauration, les vitraux concernés par l'amiante devront être déposés avec un protocole amiante SS3 et désamiantés sur place.

Pour permettre la réalisation des travaux de traitement de l'amiante selon les règles de l'art, une salle blanche sera installée sur site par le titulaire du lot 31 – Amiante et mise à disposition du lot 11_{CHVT}. Les travaux spécifiques de désamiantage seront réalisés en coordination étroite avec le lot 31_{CHVT} : toute manipulation du vitrail sera confiée aux spécialistes du vitrail, sous le contrôle d'un spécialiste de l'amiante, chargé d'attester le retrait des matériaux amiantés.

Ce lot d'accompagnement au maître verrier assurera les prestations suivantes :

- Rédaction d'un plan de retrait des matériaux amiantés et transmission aux organismes
- Mise en place d'une salle blanche sur site pour permettre le retrait des matériaux amiantés par le maître verrier en milieu sécurisé
- Mise en place des unités de décontamination amiante
- Confinement intérieur et extérieur des échafaudages au droit de chaque baie
- Gestion des déchets en centre de traitement autorisé via FID (Fiche d'Identification Déchets) signé par la MOA, CAP (Certificat d'Acceptation Préalable) et BSDA (Bordereaux de Suivi des Déchets d'Amiante)
- Métrologie pendant les travaux, conformément à une stratégie d'échantillonnage préalablement définie par un laboratoire accrédité COFRAC
- Mesures de fin travaux et autocontrôle permettant d'acter le retrait des matériaux amiantés

Restauration des vitraux et serrureries

Les travaux concerneront les verrières des tribunes, qui sont (vitraux et armatures) datées du XIX^e siècle.

Les travaux concerneront aussi les quelques panneaux de vitraux, déposés en sécurisation pour les besoins en installations de chantier, et qui n'ont pas pu être reposés avant la réouverture de la cathédrale Notre-Dame de Paris en décembre 2024 (en option). Ces panneaux sont situés dans les écoinçons des baies des tribunes sud de la nef, et dans les baies des chapelles CA37, CA23, CA24, CA38 (nef) et CA12 (chœur).

Les travaux de restauration à réaliser confèrent à ceux déjà mis en œuvre pour les baies hautes de la cathédrale au cours de la sous-opération DCE1. Ils consistent en la dépose, le dépoussiérage et le nettoyage, la restauration en atelier, la repose avec création de ventilation basse en appui.

Le diagnostic amiante demandé par l'Etablissement Public Maître d'Ouvrage, établi par L3aDiag et suivi par ANTEAGROUP, a révélé la présence de matériaux amiantés dans les verrières des tribunes du chœur. Les investigations réalisées montrent que les éléments susceptibles de pouvoir contenir de l'amiante dans un vitrail sont :

- Le calfeutrement, en mortier de chaux, situé entre l'armature métallique et la maçonnerie
- Le mastic de pose, situé entre le panneau de vitrail et l'armature métallique



- Le mastic vitrier, situé entre la pièce de verre et le réseau en plomb

Lors du repérage des matériaux amiantés, 15 baies sur les 22 existant sur les tribunes ont montré la présence de matériaux amiantés.

Une synthèse des résultats du diagnostic amiante est intégrée dans l'additif amiante et plomb au cahier des charges du Lot11_{CHVT}-Vitreaux-Serrurerie-Ferronnerie.

Préalablement à toute restauration, ces vitraux feront donc l'objet d'une procédure de dépose et de retrait des matériaux contenant de l'amiante en sous-section 3 (SS3) et un accompagnement par une entreprise certifiée en traitement de l'amiante est envisagée (lot 31).

Compte tenu de la méthode de prélèvement du diagnostiqueur et de son échantillonnage, il conviendra de compléter le diagnostic amiante pour le mastic vitrier après la dépose des panneaux et leur amenée en salle blanche pour confirmer la nécessité d'un dessertissage complet. Ces prélèvements complémentaires s'appliqueront uniquement aux baies 102 et 116 des tribunes du chœur.

Les vitraux seront restaurés en atelier après leur décontamination.

Le nettoyage préalable de décontamination permettra de préciser le nombre de plombs cassés ou fissurés, le nombre et le type de casses dans les pièces de verres, l'état de conservation de la grisaille et des couches picturales et d'établir leur diagnostic définitif.

Les pièces de verres seront restaurées en conservation suivant le protocole défini par le LRMH. Les pièces cassées seront réparées par résine de collage ou résine de comblement, ou plomb Tyffany en fonction de leur type de casses. Les pièces de verre avec des casses multiples devront être doublées. Les peintures seront consolidées en fonction de leur état de conservation et d'adhérence au verre, leur degré d'opacification après nettoyage, le décollement de la couche de grisaille, son érosion. Des réintégrations à froid seront ponctuellement utiles pour restituer les manques et les lacunes. Les pièces manquantes seront à refaire à neuf à l'identique de l'existant. Enfin les anciens plombs de restauration et les plombs de casses pourront être remplacés et alléger.

Le ressertissage partiel des plombs sera privilégié. Toutefois, les plombs d'entourage seront refaits systématiquement. Les attaches, qui assurent la bonne tenue des panneaux de verres aux armatures devront être systématiquement révisées.

Leurs armatures seront récupérées et restaurées en conservation et recevront un traitement anticorrosion. Les armatures mobiles qui les complètent, vergettes, feuillards, clavettes devront aussi être restaurées ou remplacées. Les pièces manquantes tels que pannetons, vergettes, etc. devront être remplacées.

La création d'appui avec rejingot et bavette en plomb de protection assurera la bonne ventilation des vitraux et améliorera la récolte des eaux de condensation.

Les vitraux restaurés seront reposés à leur emplacement d'origine dans leurs armatures.



5 - Les moyens d'accès et protections diverse

Les moyens d'accès

Des moyens d'accès et des installations de chantier spécifiques seront mis en place pour la dépose des vitraux, qui est prévue avant le démarrage des autres travaux du chevet.

- Des échafaudages seront installés de part et d'autre des baies et recevront un confinement spécifique de façon à contenir toute pollution à l'amiante.
- Un accès spécifique sera mis en place sur la plateforme située à l'est de la cathédrale. Une unité de décontamination y sera installée pour les compagnons amenés à intervenir en condition amiante. Un cheminement permettra de relier la zone de dépose à l'unité de décontamination.
- La dépose et pose des vitraux des tribunes se fera par l'intérieur pour les élévations Nord et Sud, par l'extérieur pour les baies des tribunes au niveau du « rond-point ». Des échafaudages intérieurs, au-devant de ces ouvrages seront à prévoir, en appui sur le sol des tribunes. L'évacuation et l'approvisionnement des caisses de vitraux devront se faire par l'extérieur afin d'éviter l'installation d'une sapine d'approvisionnement intérieur, jusqu'au niveau du rez-de-chaussée.
- Ces échafaudages devront être protégés pour satisfaire une exigence SS3 pour l'amiante pour les travaux sur les vitraux.
- La repose des vitraux sera réalisée depuis des échafaudages remis en place après les autres travaux, lors de la réalisation des travaux de restauration sur les maçonneries des tribunes. Pour cette repose, les accès seront ceux du chantier, lifts et escaliers.
- Les approvisionnements pourront être faits à la grue (hors période d'ouverture de la cathédrale au public) ou par les sapines à disposition.

Les protections

Après la dépose des vitraux, des protections rigides et translucides seront mises en lieu et place des vitraux déposés (à la charge du lot 04). Ces protections devront présenter un degré d'étanchéité important (eau, bruit, poussières).

Le lot 11 assurera la mise en place des protections de ses propres ouvrages si nécessaire.



6 - La contrainte plomb

Contamination plomb

Les différentes campagnes de mesures surfaciques réalisées sur les façades extérieures du chevet de la Cathédrale ont mis en évidence la présence d'une contamination par les poussières de plomb qu'il nous appartient d'intégrer dans l'analyse des risques pour les futurs travaux.

Les résultats des tests affichent une contamination non homogène, non excessivement élevée, avec une valeur moyenne à 4 167 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ mais aussi avec des pics importants à 19 595 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ et à 13949 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ sur l'élévation sud du Chœur.

MESURES SURFACIQUES ELEVATIONS EXTERIEURES CHŒUR	
Localisation	Concentration plomb ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)
Elévation Chœur Nord	12271
Elévation Chœur Nord	5352
Elévation Chœur Nord	410
Elévation Chœur Nord	326
Elévation Chœur Nord	382
Elévation Chœur Nord	1978
Elévation Chœur Nord	1997
Elévation Chœur Est	7625
Elévation Chœur Est	2116
Elévation Chœur Est	738
Elévation Chœur Est	3880
Elévation Chœur Est	1402
Elévation Chœur Est	418
Elévation Chœur Sud	19595
Elévation Chœur Sud	920
Elévation Chœur Sud	13949
Elévation Chœur Sud	754
Elévation Chœur Sud	903

Le repérage des revêtements en plomb, réalisé à l'aide d'un appareil à fluorescence X, ne détecte sur les parements extérieurs aucune peinture au plomb ; du plomb métal est toutefois présent en scellement des pierres au niveau des joints coulés au plomb, au niveau des éclaboussures de plomb fondu suite à l'incendie, des chemisages des chéneaux et des couvertures en tables de plomb coulées sur sable.

La présence de plomb dans le périmètre d'intervention et le risque d'exposition à cet élément pour les intervenants de cette opération ont porté au choix d'imposer à ces travaux la même contrainte plomb que le chantier de reconstruction.

L'organisation envisagée prévoit de déployer, au niveau des installations chantier et des protections collectives mises en place, tous les moyens de prévention pour limiter le risque d'exposition au plomb :

Organisation du chantier

Chantier clos et indépendant avec une séparation étanche entre la zone chantier dite « zone sale » et la zone base vie dite « zone propre » et des unités de décontamination à l'humide (douches) situées en tampon entre la zone sale et la zone propre.

Conditions d'accès/sortie du chantier

Accueil sécurité avec sensibilisation plomb pour tous les intervenants y compris les visiteurs
Accès au site autorisé uniquement au personnel formé au risque plomb
Suivi individuel renforcé (SIR) avec contrôle plombémie sous avis du médecin du travail
Douche obligatoire à chaque sortie de la zone sale

Installations de chantier

Base vie avec vestiaire « sale » et vestiaire « propre » et attribution de double casier par opérateur
Equipe de nettoyage des parties communes du chantier à demeure sur place pour assainir et contrôler le niveau d'empoussièrement du chantier assurant les actions correctives nécessaires
Surveillance météorologique hebdomadaire pour contrôler l'évolution des taux de plomb

Organisation des travaux

Mode opératoire plomb à établir, précisant le choix des techniques moins émissives en poussières et les moyens mis en place pour éviter la dissémination de poussières
EPI plomb avec adaptation des protections respiratoires suivant résultats des contrôles VLEP

Gestion du matériel

Procédure de décontamination du matériel et des engins au jet d'eau avec récupération et traitement des effluents
Décontamination des éléments d'échafaudages
Gestion centralisée du nettoyage des EPI non jetables

Gestion des déchets solides et liquides

Caractérisation de chaque déchet solide issu de travaux par test de lixiviation
Caractérisation de chaque déchet liquide par analyse MES (Matière en Suspension) et teneur en plomb
Gestion centralisée des déchets solides et liquides du chantier par le titulaire du lot Installations chantier – Utilités plomb
Traitement des déchets solides du chantier par évacuation en ISDI (Installation de Stockage des Déchets Inertes), ISDND (Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux) et ISDD (Installation de Stockage des Déchets Dangereux)
Traitement des déchets liquides du chantier par décantation et filtration, avant rejet dans le réseau d'assainissement de la ville

• • •

CATHÉDRALE
NOTRE-DAME DE PARIS

TRAVAUX DE RESTAURATION
POST 2024



ORGANISATION DE CHANTIER

DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES

Restauration du chevet

Février 2025



Maîtrise d'Ouvrage :

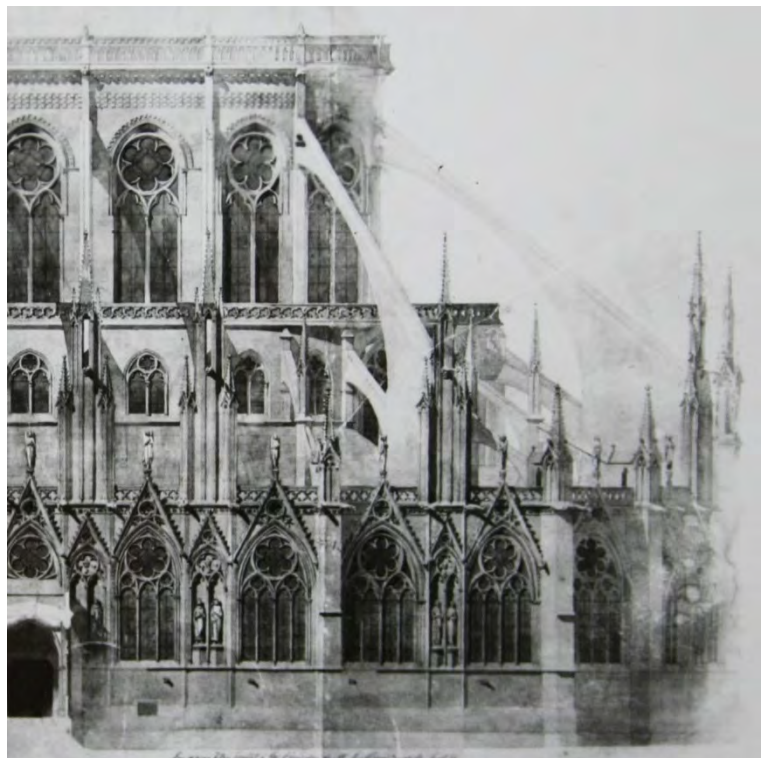
ETABLISSEMENT PUBLIC CHARGE DE
LA CONSERVATION ET DE LA
RESTAURATION DE LA CATHEDRALE
NOTRE-DAME DE PARIS



Maîtrise d'Œuvre : A.C.M.H.

Philippe VILLENEUVE
Rémi FROMONT

Allotissement





Allotissement

Cette opération comportera **9 lots**.

Au regard des délais prévisionnels et des phasages développés dans l'étude d'évaluation de novembre 2023, nous proposons le découpage de plusieurs corps d'état en lots distincts.

LOT 3 <small>CHVT</small>	Échafaudages et lifts	<i>1 marché</i>
LOT 4 <small>CHVT</small>	Maçonnerie/Pierre de taille	<i>2 marchés</i>
LOT 5 <small>CHVT</small>	Sculpture neuve	<i>3 marchés</i>
LOT 6 <small>CHVT</small>	Restauration de sculpture	<i>3 marchés</i>
LOT 9 <small>CHVT</small>	Couverture en plomb	<i>1 marché</i>
LOT 10 <small>CHVT</small>	Paratonnerre	<i>1 marché</i>
LOT 11 <small>CHVT</small>	Vitraux/serrurerie	<i>3 marchés</i>
LOT 18 <small>CHVT</small>	Contrôles /laboratoire	<i>1 marché</i>
LOT 31 <small>CHVT</small>	Traitement de l'amiante	<i>1 marché</i>

(TOTAL 16 marchés)

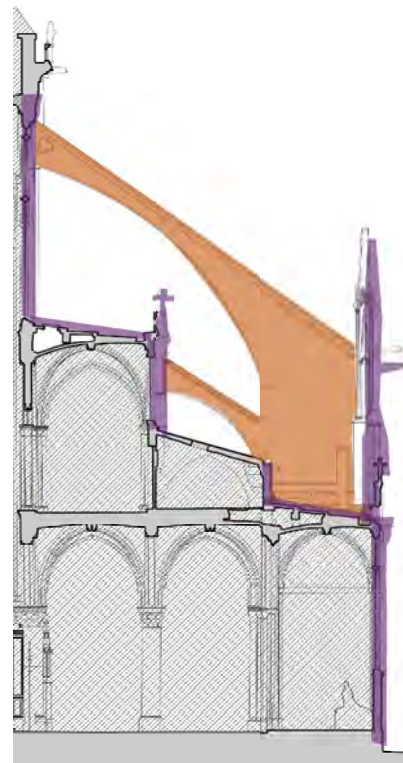
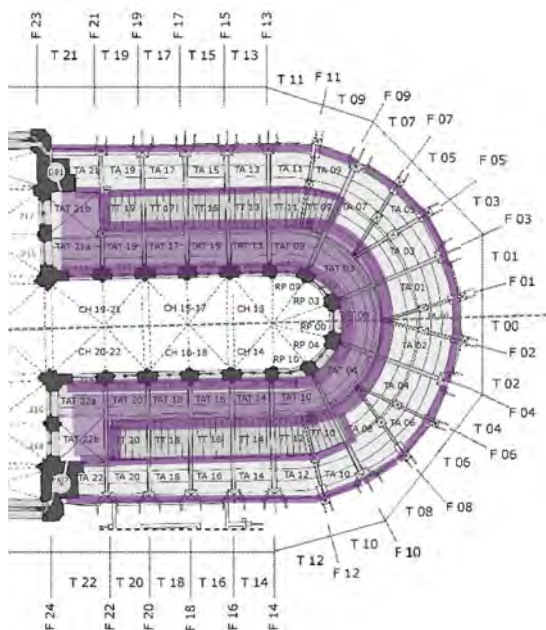


Corps d'état nécessitant d'être divisés en plusieurs marchés**1- Lot maçonnerie/Pierre de taille**

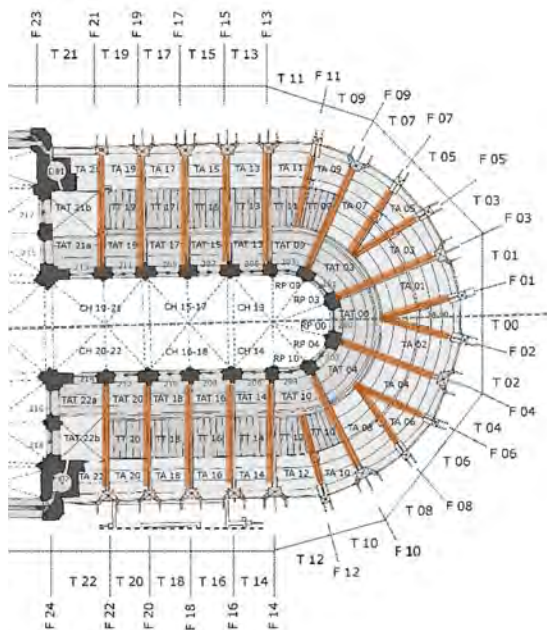
- 2 Marchés

La répartition est la suivante :

- **Façades des chapelles – pinacles des culées des arcs boutants – tribunes – réserves, dosserets des gouttereaux et terrasses :**

1 marchés LOT 04A « Maçonnerie-Pierre de taille »

- **Arcs-boutants**

1 marché LOT 04B « Maçonnerie-Pierre de taille »

2 - Lots sculpture neuve et restauration de sculpture

Concernant les lots « sculpture neuve » et « restauration de sculptures », les côtés Nord et Sud ont été étendus jusqu'aux pinacles près du rond-point, pour équilibrer les marchés : en effet, au Nord quatre pinacles des grands arcs-boutants sont déjà restaurés, et au Sud, les 4 pinacles les plus à l'Ouest sont en bon état.

La répartition est la suivante :

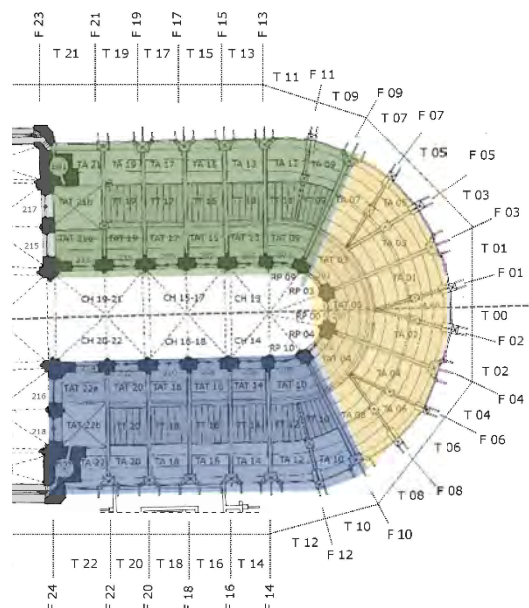
- **Chapelles – pinacles – tribunes – réserves et dossierets des gouttereaux :**

3 marchés LOT 05 « Sculptures neuves »

- Sud LOT 05A
- Est LOT 05B
- Nord LOT 05C

3 marchés LOT 06 « Restauration des sculptures »

- Sud LOT 06A
- Est LOT 06B
- Nord LOT 06C

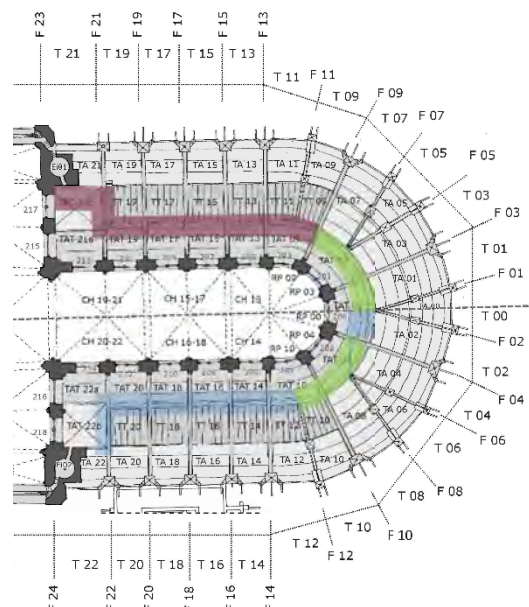


3 – Lot Vitraux-serrurerie

- **Tribunes du chœur Nord, Est et Sud :**

3 marchés LOT 11

- Sud LOT 11A (baies 110 à 120 + baie 102) baies amiantées
- Est LOT 11B (baies 105 à 101 et 104 à 108 et 122) baies non amiantées
- Nord LOT 11C (baies 121 à 107) baies amiantées

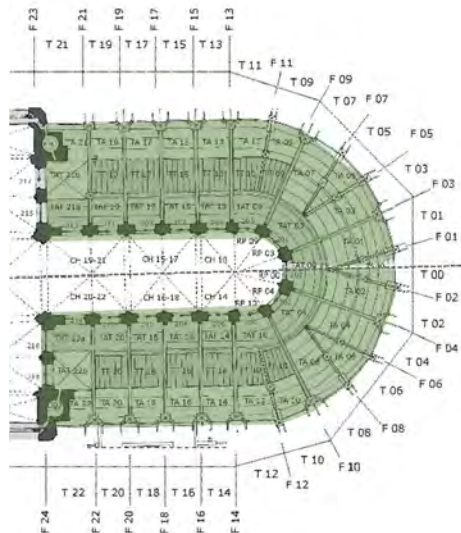


Corps d'état faisant l'objet d'un marché unique**Lot « échafaudages et lifts »**

Le lot « échafaudages » est prévu en lot unique, afin de faciliter l'organisation générale des tâches prévues.

Lot « couverture plomb »

Concernant la « **couverture plomb** », se portant sur des travaux de réfection des couvertures des réserves et au chemisage des chéneaux et gargouilles, un seul lot est également envisagé.

**Lot « paratonnerre » - Lot « contrôle/laboratoire » - Lot « traitement de l'amiante »**

Le **paratonnerre**, le lot **contrôle/laboratoire**, et le lot **traitement de l'amiante** sont également en lot unique

NOTA

La numérotation des lots correspond à la nomenclature générale établie en phase II pour l'ensemble du chantier de « Reconstruction de la cathédrale Notre-Dame de Paris à la suite de l'incendie du 15 avril 2019 » il a été décidé de reconduire en phase III cette numérotation.

Un indice, suivant le numéro de lot, indique l'opération. Pour cette opération, intitulée « POST 2024-Restauration extérieure du CHEVET », l'indice retenue est CHVT.

La liste complète des lots du chantier de « Reconstruction de la cathédrale Notre-Dame de Paris à la suite de l'incendie du 15 avril 2019 » est jointe en annexe à la fin du présent chapitre.

ANNEXE – Allotissement général de l’opération « Reconstruction de la cathédrale Notre-Dame de Paris à la suite de l’incendie du 15 avril 2019 »

N°Lot	Intitulé du lot
Lot n°01	Mutation des bases vie « propre » (BV1) et « plomb » (BV2ter)
Lot n°02	Installation de chantier
Lot n°03	Échafaudages & lifts
Lot n°04	Maçonnerie/Pierre de taille
Lot n°05	Sculpture neuve
Lot n°06	Restauration de sculpture
Lot n°07	Charpente bois
Lot n°08	Charpente métallique et défense incendie passive
Lot n°09	Couverture en plomb
Lot n°10	Paratonnerre
Lot n°11	Vitraux/serrurerie
Lot n°12	Ferronnerie d'Art
Lot n°13	Menuiserie
Lot n°14	Cloches
Lot n°15	Horlogerie
Lot n°16	Peintures murales-dorure
Lot n°17	Aménagements intérieurs
Lot n°18	Contrôle laboratoire
Lot n°19	Dispositifs anti-pigeons
Lot n°20	Restauration d'objets mobiliers, sculpture et statues
Lot n°21	Restauration d'objets menuisés et parquet
Lot n°22	Lustrerie
Lot n°23	Courants faible (CFA)
Lot n°24	Courants forts (CFO)
Lot n°25	Chauffage/ventilation/plomberie (CVC/PLB)
Lot n°26	SSI
Lot n°27	Plateformes élévatrices
Lot n°28	Protection incendie (Brumisation)
Lot n°29	VRD
Lot n°30	Groupe électrogène de sûreté
Lot n°31	Traitement de l’amiante

• • •

CATHÉDRALE
NOTRE-DAME DE PARIS

TRAVAUX DE RESTAURATION
POST 2024



DESCRIPTION DETAILLEE DES TRAVAUX

DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES

Restauration du chevet

Février 2025



Maîtrise d'Ouvrage :

ETABLISSEMENT PUBLIC CHARGE DE
LA CONSERVATION ET DE LA
RESTAURATION DE LA CATHEDRALE
NOTRE-DAME DE PARIS

Maîtrise d'Œuvre : A.C.M.H.

Philippe VILLENEUVE
Rémi FROMONT

LOT 3_{CHVT} : ECHAFAUDAGES & LIFTS

Rappel des marchés :

Lot 3_{CHVT} – Marché unique

- Echafaudages extérieurs – Classe 6 :
 - des élévations des chapelles du chœur,
 - des arcs-boutants du chœur (grands et petits), compris volées, culées et pinacles (toutes faces),
 - des élévations des tribunes et des réserves du chœur,
 - des dossierets des murs gouttereaux hauts du chœur,
 - Classe 6,
- Echafaudages intérieurs – Classe 2 :
 - des élévations intérieures des tribunes (gouttereaux),
- Sapines, escaliers et lifts,
- Passerelles d'accès – Classe 6 :
 - Pour liaisonnement entre les lifts/escaliers (avec accès aux différents niveaux d'interventions) :
 - Travée T03 ;
 - Travée T12 ;
 - Pour liaisonnement de la plateforme de travail installée à l'Est du chevet, sur laquelle sera bâtie la salle blanche pour le désamiantage des vitraux des tribunes et les échafaudages des élévations des tribunes.

Une équipe en régie sera prévue, sur site, pour permettre un accompagnement de ce lot, selon les besoins (adaptation de planchers, etc.).

Les montages, démontages, remaniement seront réalisés **selon le phasage** découlant du calendrier de l'opération.



Travaux préalables

- Ensembles des études EXE (plans, notes de calculs pour validation préalable par l'ACMH, compris toutes les synthèses nécessaires avec le lot 04CHVT – Maçonnerie/Pierre de taille en charge de la restauration des arcs-boutants pour maîtrise des appuis reportés sur la cathédrale.
- Platelages de répartition et toutes protections au droit des appuis des structures à la charge du présent lot ;
- Toutes les protections nécessaires des ouvrages existants pendant les opérations de montage et démontage :
 - Toitures,
 - Baies et vitraux des tribunes,
 - Gargouilles et ouvrages sculptés.



Passerelles, sapines, escaliers et lift d'accès

Moyens d'accès pour :

- . *Créer deux accès aux platelages des réserves, des tribunes et des terrasses hautes et des chapelles en remplacement de ceux installés au cours de la phase 2, prévus démontés au démarrage de la phase 3.*
- . *Créer des sapines de levage et des sapines d'escalier en tête des chaque arc-boutant pour permettre les interventions prévues sur les arcs-boutants, contreforts et pinacles.*
- . *Créer une passerelle d'accès Pour liaisonnement de la plateforme de travail installée à l'Est du chevet et les échafaudages des élévations des tribunes.*

- Mise en place d'une sapine d'escalier, d'une sapine de levage et d'un lift au droit de la Travée T03 et Travée T12 permettant l'accès des compagnons et le montage des matériels et matériaux, y compris les passerelles de liaison avec les platelages des réserves, des tribunes, des terrasses hautes et des chapelles permettant chemin de roulement ;
- Au droit de chaque arc-boutant, installation :
 - d'une sapine de levage ;
 - d'une sapine d'escalier.
- Toutes les sapines seront à équiper d'un treuil de levage d'une capacité de 500 kg minimum.
- Toutes les passerelles de liaisons avec l'ensemble des échafaudages, passerelles d'accès, etc. pour assurer une parfaite continuité de circulation.

Nota :

- Tous les moyens de levages annexes à ceux des sapines (treuil complémentaire, palan, etc.) seront à la charge des entreprises de maçonnerie.
- A la charge du lot 31 traitement de l'amiante : mise en place, sur la passerelle conduisant à la salle blanche depuis les échafaudages des tribunes, de toute protection nécessaire pour protocole amiante.

Echafaudages d'accès aux élévations des chapelles/pinacles/contreforts

Moyens d'accès et travail pour : *La restauration des façades des chapelles, des pinacles et des contreforts*

Pour mémoire, les pinacles des grands arcs-boutants des files F13, F15, F17 et F19 au Nord ont été restaurés durant la phase II. Les pinacles Sud F16, F18, F20 et F22 sont en bon état car restaurées dans les années 2000.

Les appuis sur les dalles des terrasses (tant cathédrale que sacristie) sont proscrits, les poids seront reportés en périphérie des terrasses de façon à se situer à l'aplomb des structures porteuses.

- Echafaudages de pieds, de classe 6, en appui au sol et sur les terrasses basses (au-dessus des chapelles), compris toutes protections du sol et des dalles de couverture des chapelles, mise en place, location et dépose, nettoyage et évacuation en fin d'opération.
- Maintien d'un passage d'homme au niveau des terrasses basses pour entretien ;

- Maintien des issues de secours de la porte rouge (T17) et de la sacristie (visite du trésor – T12) ainsi qu'un des deux accès à la cour de la sacristie (T18), compris tunnel de protection ;
- Prise en compte de l'emprise :
 - de la sacristie (au Sud),
 - du local chevet (à l'Est),
 - des murs bahuts et grilles (au Nord) ;
 - des ouvrages enterrés (type ovoïde et carnaux) ;
- Liaisonnement avec les escaliers et sapines des lifts ;
- Mise en place de pare-gravois au droit des échafaudages longeant la rue du cloître.

Echafaudages d'accès aux élévations des tribunes

Moyens d'accès et travail pour : La restauration des façades des tribunes compris dépose/repose des vitraux

Les appuis sur les dalles des terrasses sont proscrits, les poids seront reportés en périphérie des terrasses de façon à se situer à l'aplomb des structures porteuses.

De même, les appuis sur les structures porteuses des couvertures en plomb, en pots de terre cuite hourdées au plâtre, sont interdits.

Concernant les sols intérieurs des tribunes, la charge admissible étant peu élevée (portance du sol 150kg/m²), à prendre en compte dans la conception des échafaudages à mettre en place en appuis sur ces structures.

- Echafaudages de pieds, de classe 6, compris toutes sujétions structurelles pour prise en compte des mentions ci-avant, mise en place, location et dépose, nettoyage et évacuation en fin d'opération,
- Echafaudages de pieds légers, de classe 2 en appui au sol des tribunes au droit des vitraux à démonter, compris mise en place, location et dépose, nettoyage et évacuation en fin d'opération.
- A la charge du lot 31 traitement de l'amiante : mise en place, sur les structures du présent lot, de toute protection nécessaire pour protocole amiante.

Echafaudages d'accès aux arcs boutants (petits et grands)

Moyens d'accès et travail pour : La restauration des arcs-boutants (petits et grands)

Pour mémoire, les étalements sont à la charge du lot 04_{CHVT}, les échafaudages sont à installer dans leur encombrement et en coordination. Ils doivent permettre l'accès à toutes les zones concernées par les travaux envisagés.

Les appuis sur les dalles des terrasses sont proscrits, les poids seront reportés en périphérie des terrasses de façon à se situer à l'aplomb des structures porteuses.

- Echafaudages de pieds, de classe 6, en appui au sol et sur les terrasses basses (au-dessus des chapelles et du déambulatoire du rond-point) et sur les couvertures des réserves par le biais d'une semelle de répartition, compris toutes protections du sol et des dalles de

couverture des chapelles, mise en place, location et dépose, nettoyage et évacuation en fin d'opération.

- Maintien d'un passage d'homme au niveau des terrasses basses pour entretien ;
- Liaisonnement avec les échafaudages, escaliers et sapines.

Echafaudages d'accès pour la restauration des murs des réserves des tribunes Nord et Sud, et des couvertures plomb

Moyens d'accès et travail pour : La restauration des murs des réserves et la réfection des couvertures plomb, compris retour des réserves côté rond-point.

Les appuis sur les dalles des terrasses sont proscrits, les poids seront reportés en périphérie des terrasses de façon à se situer à l'aplomb des structures porteuses.

- Echafaudages de pieds, de classe 6, en appui sur les terrasses basses réserves par le biais d'une semelle de répartition, (au-dessus des chapelles), compris, compris toutes protections du sol et des dalles de couverture des chapelles, mise en place, location et dépose, nettoyage et évacuation en fin d'opération.



LOT 4_{CHVT} : MAÇONNERIE / PIERRE DE TAILLE

Rappel des localisations des marchés :

Lot 4A CHVT

- Chapelles/Pinacles/Gouttereaux/Tribunes/Couvertures en pierre

Lot 4B CHVT

- Arcs-boutants

Restauration des élévations (gouttereaux niveau chapelle, réserves, tribunes et baies hautes) et des arcs-boutants (volées et culées)

Sont concernées :

- Les élévations du chœur (niveaux chapelles, tribunes et baies hautes), jusqu'à la corniche à crochets, non comprise (déjà traitée dans le cadre de la phase 2) ;
- L'achèvement des travaux de changement de pierre sur les murs gouttereaux et les retours des transepts. Pour les murs gouttereaux, les travaux prévus ne concernent que les parties inaccessibles dissimulées par les cintres des arcs-boutants et le platelage installé sur les terrasses hautes.
- Les arcs-boutants et pinacles du chœur, à l'exception des pinacles des files 13, 15, 17, et 19, déjà traités dans le cadre de la phase 2.

Travaux en cours ou réalisés, dans le cadre des travaux d'urgence (phase 1) et du chantier de Reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019 (phase 2) - (Hors opération) :

- La corniche à crochets et le chemin de ronde situé au-dessus (compris chéneau, garde-corps et murs bahuts)
- Les encadrements des baies hautes et les maçonneries accessibles des gouttereaux et des retours des t=bras de transept ;
- Les 4 culées nord du chevet (travées 13, 15, 17, et 19) ;
- Le garde-corps, niveau chapelle, de la travée T02.

Pour mémoire, dans le cadre de la phase de sécurisation suite à l'incendie du 15 avril 2019 :

- Les fleurons des garde-corps des tribunes ont été déposés et stockés à Saint-Witz ;
- Des travaux de maçonneries provisoires, à déposer dans le cadre de la présente opération, ont été réalisés pour permettre la mise sur cintres des arcs-boutants du chœur ;

Les cintres mis en place en phase de sécurisation ont été conservés au droit des arcs-boutants du chœur (hors F21 et F22) pour permettre les opérations de restauration de la présente opération. Ils sont mis à disposition du lot 04_{CHVT} pour les travaux de réfection des arcs-boutants et leur mise en charge est à la charge du lot 04_{CHVT}.

Limites de prestations :

- La dépose des cintres et des planchers de la phase de sécurisation sera exécutée à la charge des entreprises les ayant mis en place lors des opérations de sécurisation de l'édifice.
- Toutes les opérations de dessalements sur les parements, qu'ils soient droits, voussurés, moulurés et/ou sculptés seront à la charge du titulaire du lot 06_{CHVT} - Restauration de sculpture (compris la purge préalable des joints présents dans les zones contaminées). Elles se feront en étroite collaboration avec le titulaire du présent lot qui restera chargé de la réfection des joints. Le lot 18 – Contrôles laboratoires effectuera des contrôles à chaque fin de cycle de dessalement.

Travaux préparatoires :

- Etablissement, après inspection et relevé des existants, d'un état sanitaire, puis proposition de protocoles, compris calepins avec mention des pierres à conserver, à restaurer ou à remplacer, en totalité ou partiellement et méthodologies d'intervention pour soumission à avis de l'ACMH.

Les constats et propositions d'intervention seront à réaliser conjointement avec :

- le lot 05 afin de définir les pierres sculptées nécessitant, soit une dépose soignée pour copie, soit une prise d'empreinte ;
- le lot 06 afin de définir les zones nécessitant un dessalement, ou une consolidation avant dépose.

Une attention particulière devra être portée aux méthodologies liées aux opérations de restauration des arcs-boutants (volées et culées) afin de ne pas risquer de modifier l'équilibre statique de la cathédrale.

Si les cintres sont conservés pour servir de fond de coffrage pour le démontage et remontage des volées d'arc-boutant les plus altérées, devront être pris en compte, à la charge du présent lot :

- La conception de dispositifs d'étaisements complémentaires assurant, lors de la décharge progressive des volées d'arcs-boutants, la reprise et le transfert de charge de la poussée des voûtes jusqu'à la culée ;
- La conception d'un système de surveillance par instrumentation pour s'assurer que la force appliquée pour reprendre la poussée des voûtes (qu'elle soit reprise par l'arc-boutant ou le dispositif d'étaisements provisoires) soit constante, compris aide à la mise en charge progressive ;
- La restauration des culées ne sera pas engagée en simultané de la restauration des volées ;
- Toutes les dispositions nécessaires pour éviter, lors du remplacement en recherche de pierres voussurées des arcs-boutants, le glissement des pierres situées au-dessus ;

→ La dépose limitée du nombre de pierres en simultanée des culées arcs-boutants pour ne pas remettre en question leur masse dans l'enchaînement du dispositif de contrebutement des arcs-boutants ;

- Fourniture et mise en place de cintres sous le grand arc-boutant de la file 22 et sous l'arc supérieur de la file 21. Dépose en fin de travaux
- Fourniture et mise en place de cintres sous tous les petits arcs-boutants. Dépose en fin de travaux. Conception à étudier pour permettre de laisser le passage sur les terrasses basses
- Fourniture, pose et dépose d'un système d'étaisements assurant, lors de la décharge progressive des volées d'arcs-boutants, le report de charge de la poussée des voûtes jusqu'à la culée ;
- Installation et dépose, en fin d'opération, d'un système de surveillance par instrumentation pour s'assurer que la force appliquée pour reprendre la poussée des voûtes (qu'elle soit reprise par l'arc-boutant ou le dispositif d'étaisements provisoires) soit constante, compris aide à la mise en charge progressive et l'astreinte ;
- Mise en place de moyens de levage intégrés à l'échafaudage : treuils électriques d'une capacité de 1 tonne environ : nombre à déterminer selon l'ordonnancement des travaux
- Protections mécaniques translucides des baies, tous niveaux (tribunes et baies hautes), compris pose, remaniement autant que de besoin compris dépose/repose) et entretien et dépose. Pour les tribunes, les protections devront assurer l'isolation parfaite entre l'intérieur et l'extérieur de la cathédrale.

Travaux préalables :

- Dépose des installations électriques éventuelles non réalisée dans le cadre de la phase 1 et 2 ;
- La dépose/repose de conducteurs de paratonnerre sera effectuée en concertation avec le lot 4_{CHVT} par le lot 10_{CHVT} – Paratonnerre en charge de l'installation sur l'ensemble de l'édifice

Nettoyage des parements

Pour mémoire : le nettoyage de parements sculptés est au lot 06_{CHVT} – Restauration de sculpture.

- Pré consolidation par micro-coulis des parements instables ou menaçant chute lors des opérations d'aspiration ;
- Suppression de concrétions ou éclaboussures de plomb fondu sur les parements en pierre de taille, sans endommagement de l'épiderme des parements par action mécanique (scalpel), suivant les tests établis par le LRMH.
- Dépoussiérage et brossage doux en simultanée de l'ensemble des parements extérieurs avec aspiration THE à la source ;

- Traitement curatif biocide, algicide et fongicide de chez « Amonit » type Miner-Mousse ou analogue pour suppression des colonisations microbiologiques, mousses et lichens, comprenant :
 - Application jusqu'à saturation (traitement anticryptogamique par badigeonnage et/ou pulvérisation) et brossage des parements après incubation ;
 - Opération effectuée en deux passes ;
 - Renouvellement du traitement si nécessaire.
- Nettoyage complémentaire (brossage et scalpel ou compresse) pour suppression des croûtes noires, gypse, plomb ou autre n'ayant pu être supprimées après les opérations précédentes. Les protocoles proposés s'appuieront sur les chantiers tests réalisés par le LRMH avant incendie et pendant les phases 1 et 2 de la reconstruction de la cathédrale suite à l'incendie.

Restauration des parements

Pour rappel : le choix d'intervention de restauration sur les pierres sera encadré par le rôle structurel que jouent celles-ci. Si pour les maçonneries de parements des gouttereaux, la conservation de la matière prévaudra (exception faite si la nature de la pierre en question, provenant d'une restauration antérieure, remet en question du fait d'une dureté trop importante, les parements adjacents), toutes les maçonneries jouant un rôle structurel majeur (volées d'arc-boutant notamment), seront systématiquement remplacées dans leur intégralité.

P.M. : comme indiqué plus haut, toutes les opérations de dessalement, sur tous types de supports (parements droits, voussurés, moulurés ou sculptés), seront à la charge du

lot 06_{CHVT} – Restauration de sculpture.

- Purge profonde de l'ensemble des ragréages existants, de toutes natures (ciment, plâtre...) et des parties desquamées et/ou instables ;
- Ragréages ponctuels en recherche à base de mortier préformulé Altar® ou présentant un module élastique adapté à ceux des pierres en œuvre. Teinte et finition coquillée, similaire aux pierres adjacentes et traitement de surface et vieillissement pour raccordement discret au parement.

Les ragréages seront limités à des zones ponctuelles et localisées afin de ne pas étendre leur application.

En cas de ragréages profonds (supérieur à 30mm), pose d'une armature laiton ou inox ou d'une résille en fibre de verre ;

- Mise en œuvre de solin en rive des zones desquamées au mortier Altar® ;
- Refichage des blocs fissurés ou fracturés ;
- Fourniture et pose de goudjons en fibre de verres, compris trous de fixation, percement ou forage selon cas, tranchées d'encastrement, pose et dispositif de scellement, pour :
 - pierres désolidarisées et/ou fracturées ;

- éléments sculptés par le lot sculpture.

Présentation des PV attestant des résultats mécaniques attendus (arrachement et autres...). Le scellement devra être couvert par une garantie décennale ;

- Remplacement des pierres unies, voussurées et moulurées lacunaires ou présentant des altérations avancées (totalité de la pierre ou partiellement par incrustation (minimum 30cm), greffes ou bouchons, selon état d'altération et/ou rôle structurel de la pierre concernée, tel que décrit dans le parti de restauration plus haut et suivant calepin validé en amont par l'ACMH), compris :

- la dépose de pierres existantes par le dessus ou par refouillement, compris étalement de la zone refouillée ;

- Parements unis : en démolition, compris évacuation en décharges publics ;
- Parements moulurés : en conservation, compris toutes sujétions et précautions au droit des parties conservées.

Transport dans la zone de stockage pour réalisation, si besoin, de prises d'empreintes.

A terme, pour les pierres non conservées, entrepôt dans le dépôt lapidaire ou évacuation en décharges publiques selon choix CRMH et MOA ; Concassage préalable des éléments sculptés non conservés.

- la dépose/repose soignée en conservation de pierres attenantes aux pierres altérées à remplacer pouvant faciliter ponctuellement le remplacement de ces dernières. Si besoin est, conservation dans zone de stockage, compris toutes sujétions de protections pendant les opérations de coltinage.
- la fourniture de pierres neuves suivant pierre de substitution sélectionnée ci-après :

- *Maçonnerie et éléments moulurés exposés : Pierre dure H4 Croix Huyart (Aisne) ou Petit Liais de Saint-Maximin*
- *Parement courant : Banc 3 de Saint-Maximin/ Roche franche fine de Saint-Maximin/Roche franche de Saint-Maximin/ roche h4 demi-dure de la Croix Huyart*
- *Gargouilles et dallages : liais de Saint-Maximin*

Nota : les blocs neufs seront taillés de telle sorte à conserver suffisamment de matière pour retaille à l'outil.

- la taille ;
- la pose par le dessus ou en tiroir :
 - au mortier de chaux pour les parements courants ;
 - au mortier de chaux additionné d'hydrofuge sur les parties les plus exposées et les éléments en saillie (gâbles, chaperon, exutoires, canaux d'évacuation des arcs-boutants, ...) ;
 - au plomb des éléments où des joints plomb ont été constatés lors de la dépose, comprenant :
 - La vérification du séchage des pierres,

- Le garnissage extérieur des joints avec des bandes d'étanchéité et fixation avec de la terre à modeler en laissant un retrait de 2 cm minimum pour la finition des joints au mortier,
- Façon des godets de coulée et des trous d'échappement d'air.
- Fonte du plomb (l'emploi de vieux plomb est strictement interdit) épuré par écumage et coulage.
- Puis enlèvement des bandes d'étanchéité et retaille des balèbres éventuelles du plomb au ciseau.
- Compris fourniture de goujons inox ou cuivre.
- Concernant les greffes et bouchons, jointoiement de type marbrier.
- Le vieillissement des parements à l'outils pour intégration des pierres neuves ;
- Passivation et traitement anti-corrosion d'éléments de renfort métalliques ou anciens fers mis à jour dans les parements et conservés.
- Plomb sous les canaux des arcs-boutants : Pose d'une feuille de plomb sous les pierres formant descente d'eau des arcs boutants, d'épaisseur similaire à celle découverte lors des démontages (5mm).
- Dégarnissage des remplissages disgracieux des trous boulins présents au droit de la partie haute des élévations des travées. Comblement de l'ensemble des trous de boulins (exception faite de ceux comblés en plomb suite à l'incendie – à conserver) par des bouchons pierre disposés légèrement en retrait pour conserver la lisibilité de ces dispositions anciennes d'aide à la construction.
- Amélioration des dispositifs d'évacuation d'eau au revers des gables des chapelles et des baies du rond-point, niveau tribune
 - Mise en œuvre en recherche de solins d'arrêt en mortier de chaux pour rétablissement de pente, sur les rampants à l'arrière des gâbles ;
 - Complément de maçonnerie par dé de pierre de calcaire dur type H4 dure de la Croix-Huyart à l'arrière du gâble – Tracé préalable et implantation.
- Purge sur une profondeur de 10 cm de la totalité des joints (toutes natures) et rejointoiement à 100% des parements extérieurs au mortier de chaux NHL 2,5. Les joints situés dans les zones ayant fait l'objet d'une opération de dessalement par le lot 06_{CHVT} – Restauration de sculpture, seront à réaliser au mortier absorption de sel ;
- Réalisation d'injection de micro-coulis à refus dans la maçonnerie de blocage ;
- Révision des joints au plomb et réfection ponctuelle des joints ouverts ;
- Traitement biocide préventif sur les éléments neufs en saillie (hors sculpture) : larmiers, canaux des arcs-boutants, etc.
- Patine d'harmonisation sur l'ensemble des parements restaurés et neufs. Composition de la patine et essais à soumettre pour validation à l'ACMH ;

Restauration des décors peints

- **Les vestiges de polychromie**

- Consolidation de vestiges de polychromie extérieur visibles sur les culées des arcs-boutants 10 et 03 au niveau des chapelles
- Réalisation d'un recensement et d'un relevé précis des décors identifiés
- Travaux préparatoires :
 - Etat des lieux – diagnostic contradictoire ;
 - Tests préalables et protocole d'intervention – coordination avec le LRMH et AMO plomb ;
 - Rapport écrit et photographique.
- Dépoussiérage et nettoyage :
 - Pré-consolidation de décors peints oud dorures dégradées
 - Aspiration complémentaire si nécessaire ;
 - Nettoyage et compléments de nettoyage selon protocole définis lors des travaux préparatoires ;
- Restaurations ponctuelles :
 - Collages et consolidation des fragments altérés ;
- Finition :
 - Protection finale par une couche de verni Paraloid B72 dilué dans l'acétone à 2% par vaporisation (application très diluée et en plusieurs passes).

Travaux d'accompagnement

- Accompagnement du lot 03_{CHVT} - Echafaudages :
 - Assistance au lot 3_{CHVT} échafaudages pour la mise en place d'un chemin de roulement pour approvisionnement des pierres par la grue depuis le Sud vers les travées Nord (inaccessibles par la grue à tour)
- Accompagnement du lot 05_{CHVT} - Sculpture neuve :
 - Dépose des parements et éléments sculptés en conservation et mise à disposition du lot 05_{CHVT} - Sculpture neuve, compris :
 - Transport dans la zone de stockage pour mise à disposition au lot 05_{CHVT} sculpture neuve pour réalisation, si besoin de prises d'empreintes.
 - A termes, pour les pierres non conservées, entrepôt dans le dépôt lapidaire ou évacuation en décharges publics selon choix CRMH et MOA ;
 - Suppression à l'avancement de la dépose des gargouilles altérées ou faisant l'objet de greffes, des dispositifs provisoires rapportées, de toutes natures.
 - Fourniture, épannelage des blocs selon les directives du lo 05_{CHVT} sculpture neuve.
 - Pose et jointoiement au mortier de blocs sculptés, statues ou greffes de dimensions conséquentes suit à la remise, par le lot Le lot 05_{CHVT} - Sculpture neuve de ses blocs finis.

Nota : seules les greffes de petites dimensions (joint marbrier/goujonnage) seront mises en place par le lot 05_{CHVT} Sculpture neuve.

- Accompagnement du lot 06_{CHVT} – Restauration de sculpture :
 - Récupération des fleurons déposés lors de la phase de sécurisation suite à l'incendie du 15 avril 2019, compris :
 - A la charge du lot 06_{CHVT} – Restauration de sculpture :
 - déconditionnement in situ et dépoussiérage par aspiration THE et brossage simultané :
 - Réalisation d'un constat d'état détaillé aboutissant sur la proposition d'un protocole d'intervention pour validation ACMH, conjointement avec le titulaire du lot 05_{CHVT} - Sculpture neuve;
 - Reconditionnement, transport sur site et mise à disposition des lots 06_{CHVT} et 05_{CHVT} en charge des opérations de nettoyage, restauration des éléments en assez bon état de conservation ou greffes ou copie des éléments brisés.
 - Repose in situ, compris fourniture et pose de goujons neufs ;
- Accompagnement du lot 10 - Paratonnerre :
 - Pour la réalisation de la prise de terre au droit de la prise 6 (travée F04)
 - Dépose dallage au droit de la prise n°6 (travée F04) pour pose des piquets de terre (4m² annoncés sur les plans établis par Eloi en octobre 2024)
 - Réalisation d'un regard 40x40cm, au droit de la descente à 1m minimum du mur
 - Réalisation d'une tranchée (200x50x50ht) vers la chambre de tirage pour raccord du ceinturage enfoui.
 - Remblaiement de la tranchée
 - Repose du dallage
 - Pour le ceinturage entre les prises 5 (travée F09) et 6 (travée F04) :
 - Dépose dallage au droit du ceinturage entre les deux prises
 - Terrassement sur 50 cm de large et profondeur 50cm (profondeur indiquée pour le ceinturage au droit de la prise de terre n°7 – à priori la profondeur doit être la même) et stockage des terres pour remblaiement à l'issue des travaux compris évacuation des terres excédentaires (par l'entreprise – les terres ne doivent pas être considérées comme des gravois évacués par le Maître d'Ouvrage)
 - Pose d'un fourreau en attente pour la liaison de terre entre les prises
 - Remblaiement des terres et repose du dallage à l'issue de l'intervention du lot paratonnerre

- Accompagnement du lot 11 - Vitrail :

- Dressement et retaille de feuillure ;
- Retaille d'appuis de baies, autant que de besoin pour permettre la mise en place d'une bavette plomb par le lot 11_{CHVT} – Vitraux-Serrurerie (en coordination avec ce dernier) au droit des baies 101 à 110 (niveau tribune) ;

Nota : les décalfeutrements et calfeutrements sont à la charge des lots 31_{CHVT} – Traitement de l'amiante et du lot 11_{CHVT} – Vitraux-Serrurerie.

Le repérage de matériaux et produits contenant de l'amiante réalisé par le cabinet L3aDiag, a mis en évidence la présence de calfeutrements en mortier de chaux amianté au niveau de plusieurs vitraux des tribunes du Chœur.

Lors de la dépose de ces vitraux, le lot 11_{CHVT} sera accompagné par le lot 31 – Traitement de l'amiante qui se chargera de la purge des calfeutrements amiantés et du nettoyage des maçonneries afin de retirer tout résidus des calfeutrements amiantés. Cette opération est prévue sous contrôle du titulaire du présent lot qui s'assurera de la pertinence du mode opératoire du lot 31 intervenant sur les maçonneries d'un monument historique.

Pour assurer la surveillance des travaux du lot 31 lors de la purge des calfeutrements amiantés, le titulaire du présent lot devra disposer de personnel formé SS4 et habilité par le médecin du travail aux travaux exposant à l'amiante via un Suivi Individuel Renforcé (SIR).

Le personnel affecté doit être titulaire d'une attestation de compétence conformément à l'article R.4412-117 du code du travail.

Le présent lot assurera par la suite la reprise des calfeutrements après la repose des vitraux restaurés, hors risque amiante.

L'accompagnement SS4 du titulaire du présent lot concerne les vitraux des tribunes du Chœur suivants :

- Vitraux 117, 115, 113, 111, 109 et 107 du Chœur Nord
- Vitraux 120, 118, 116, 114, 112 et 110 du Chœur Sud

Pour toute intervention à proximité des matériaux amiantés, le titulaire de ce lot devra établir un mode opératoire SS4 suivant l'article R 4412-145 du code du travail qui précisera :

- *La nature de l'intervention,*
- *Les matériaux concernés par cette intervention,*
- *La fréquence et les modalités de contrôle du niveau d'empoussièrement*
- *Le descriptif des méthodes de travail et des moyens techniques mis en œuvre,*
- *Les notices de poste,*
- *Les caractéristiques des équipements utilisés pour la protection et la décontamination des travailleurs ainsi que celles des moyens de protection de l'environnement,*

- *Les procédures de décontamination des travailleurs et des équipements,*
- *Les procédures de gestion des déchets,*
- *Les durées et temps de travail*

Dépose des ouvrages provisoires mis en place lors des opérations de sécurisation

- Dépose et évacuation d'ouvrages provisoires mis en place lors des opérations de sécurisation au lendemain de l'incendie pour assurer la pose des cintres et planchers de circulation provisoire, à savoir :
 - Les plots béton de calage de type Clavex et blocs de granit, goujonnés à la fibre de verre ;
 - Les sommiers béton en soutien des cintres sous les volées d'arcs-boutants,
 - Les semelles de répartition coulées au mortier de scellement,
 - Tous les petits ouvrages complémentaires à situer à la hauteur des terrasses hautes extérieures,
 - Toutes sujétions pour dépose/repose des dalles/tampons d'entrée dans les combles perdus des tribunes,
 - Tous les ouvrages provisoires d'évacuation des eaux pluviales rapportées suite à la mise en place des cintres.

NOTA : les chandelles et maçonnerie de briques situées sous le dallage pierre des terrasses hautes (à situer entre les tas de charge en extradors des voûtes des tribunes et la sous face des dalles) ne seront, quant à elles, pas déposées, mais conservées in situ.

Fin des opérations de couverture de la phase 2

NOTA : *Les interventions sur les pierres de chéneaux sont traitées (dépoussiérage et remplacement notamment des pierres altérées notamment, etc.) dans le cadre des chapitres précédents.*

La restauration des toitures terrasses hautes en pierre de taille (niveau baie haute)

Sont concernées :

- *les couvertures des hautes des tribunes du chevet et les deux travées des terrasses basses non traitées dans le cadre de la phase 2 (T10 et T17)*

Travaux en cours ou réalisés, dans le cadre des travaux d'urgence (phase 1) et du chantier de Reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019 (phase 2) - (Hors opération) :

- *Les terrasses basses des chapelles ;*
- *Les terrasses intermédiaires du rond-point du chevet.*

- Dépose de réseaux et dépose/repose d'aménagements divers ;
- Enlèvement en conservation, de vestiges de lapidaires. A déplacer, conditionner et stocker dans un lieu désigné par la maîtrise d'ouvrage ;
- Dépoussiérage et brossage doux en simultané de l'ensemble des dalles avec aspiration THE à la source ;
- Suppression des coulures et projections de plomb fondu présentes sur les dalles par action mécanique (scalpel), sans altération de la surface de la pierre), suivant les tests établis par le LRMH ;
- Nettoyage des couvertures en dalles de pierres par brossage et application de produit biocide, algicide et fongicide. Application jusqu'à saturation (traitement anticryptogamique par badigeonnage et/ou pulvérisation) et brossage des parements après incubation. Opération effectuée en deux passes minimum, et renouvellement si nécessaire.
- Purge et réfection de joints non adhérents, creux ou lacunaires (sur au moins 4cm de profondeur) et réfection à la chaux additionnée d'hydrofuge avec addition de stéarate de calcium dans la masse (0,5%). Harmonisation d'épiderme et de teinte ;
- Remplacement des dalles de pierres altérées, compris :
 - Etablissement d'un calepin pour validation par l'ACMH des pierres à remplacer ;
 - Protection étanche temporaire des terrasses afin d'assurer le hors d'eau pendant les travaux ;
 - Tous les moyens d'approvisionnement et coltinage ;
 - De la zone de stockage jusqu'à pied d'œuvre ;
 - A pied d'œuvre pour manœuvre des dalles (existantes ou neuves), en dépose et pose (petites structures d'échafaudages, palans, etc. selon méthodologie retenue – respect pour les appuis de ces dispositifs provisoires sur la structure existante des dalles, les appuis au centre des dalles sont interdits).

La méthodologie précise devra être développée dans le mémoire des entreprises à remettre lors de la consultation des entreprises.

 - Dépose par le dessus et par descellement des dalles de pierre à remplacer, compris l'étalement des dalles adjacentes, la protection des ouvrages adjacents et les dispositifs anti-chute adéquats ;
 - Vérification des supports de couverture en dalles de pierre ;
 - Fourniture de pierre suivant pierres de substitution sélectionnées ci-après :
 - Choix de la pierre de substitution : Liais de Saint-Maximin
 - Réalisation d'épure puis taille des pierres à l'outil ;
 - Pose au mortier de chaux hydrofuge, compris toutes sujétions de calage et jointoiement au mortier de chaux hydrofuge ;
 - Vieillessement des parements à l'outil pour intégration des pierres neuves ;
 - Traitement biocide préventif sur les éléments neufs.

- Remplacement ponctuel d'appuis de baies hautes n'ayant pu être traités dans le cadre de la phase 2 du fait des encombrements des installations de chantier. Ces remplacements se feront sans dépose de panneaux de vitraux, privilégiant les bouchons de pierre avec coupe en crossette, goujonnage et collage à la résine par points, joint mortier additionné d'hydrofuge.

La restauration des toitures des réserves en plomb

Sont concernées :

- *les couvertures en plomb des réserves du chœur Nord et Sud.*
- *les exutoires des couvertures des réserves du chœur*

Travaux en cours ou réalisés, dans le cadre des travaux d'urgence (phase 1) et du chantier de Reconstruction suite à l'incendie du 15 avril 2019 (phase 2) - (Hors opération) :

- *La restauration des structures en pots de terre cuite, traité depuis l'intérieur des réserves (accès en sous-face), compris le remplacement ponctuel de certains pots, le refichage et rejointoiement au plâtre, la révision des tirants.*
- *La dépose en démolition des châssis de toiture des réserves Nord ainsi que le bouchement des trémies liés à ces derniers.*
- Sur la face supérieure de la structure en terre cuite des réserves, réfection de la forme de pose en plâtre, support des couvertures en plomb. En coordination avec le lot 09_{CHVT} Couverture, compris toute sujétions pour pose de tasseaux bois fournis par ce dernier.
- Amélioration du dispositif d'évacuation des eaux pluviales des couvertures des réserves du chœur, pour raccordement des avaloirs à de nouvelles descentes EP, comprenant :
 - Carottage vertical à la pointe de diamant du canal d'évacuation des exutoires (2 unités par travée). Toute sujétions pour ne pas risquer de fragiliser la pierre percée ;
 - Tout refouillement en périphérie du percement de l'exutoire pour gestion des surépaisseurs liés à l'installation de la descente EP et du raccordement de cette dernière avec l'habillage en plomb du chéneau, selon besoin du lot 09_{CHVT} Couverture ;
 - Réserve verticale dans le larmier du gouttereau pour mise en place des nouvelles descentes EP jusqu'aux terrasses basses.
- En accompagnement du lot 09_{CHVT} Couverture :
 - Réalisation des engravures pour mise en place des habillages plomb ;
 - Mise en œuvre de solins au mortier additionné d'hydrofuge.

Habillage en plomb des chéneaux et gargouilles

Sont concernés :

- *Chéneaux et gargouilles des terrasses hautes (niveau baies hautes), compris retour contre les bras de transept ;*
- *Chéneaux et gargouilles des toitures en plomb des réserves ;*
- *Chéneaux et gargouilles des terrasses basses (niveau chapelle).*
- Vérification de l'état des supports et des pentes des chéneaux, compris le nettoyage et le rejointoiement au mortier hydrofuge des pierre de chéneaux ;
- En accompagnement du lot 09_{CHVT} Couverture, taille de feuillures côté extérieur, et refouillement des joints situés sous les nez de dalle pour engravure des remontées d'étanchéité en plomb et solins. L'engravure et le solin à réaliser au droit du garde-corps ne devra pas remettre en cause la stabilité de cette celui-ci ;
- Condamnation de deux gargouilles niveau chapelle, de l'arc-boutant F11 pour suppression des risques de rejets des eaux de ruissellement des toitures du grand comble sur la voie publique, compris :
 - Obstruction des avaloirs des deux gargouilles en question par la fourniture et mise en œuvre de bouchons pierre ;
 - Modification des pentes des chéneaux existants des travées T09 et T11, compris, outre le nettoyage et le rejointoiement hydrofuge tel que décrit au point précédent,
 - le creusement léger, si besoin du fond de chéneau ;
 - la réalisation d'une forme de pente au mortier de chaux hydrofugé (pente minimale de 0,05%), compris refouillement de maçonnerie en partie basse de l'élévation pour engravure.
- En accompagnement du lot 09_{CHVT} Couverture :
 - Réalisation des engravures pour mise en place des habillages plomb ;
 - Mise en œuvre de solins mortier additionné d'hydrofuge.

•



LOT 05_{CHVT} : SCULPTURE NEUVE

Rappel des localisations des marchés :

Lot 05 CHVT Sud
 Est
 Nord

Un atelier de modelage (hors opération/lot installations de chantier) sur site sera mis à disposition des sculpteurs afin de réaliser les modèles (sur vestiges ou sur moulages) qui seront ensuite sculptés dans les ateliers des sculpteurs. Une partie des travaux de sculpture (notamment les greffes de petite dimension) sera réalisée depuis les échafaudages.

Niveau Chapelles

Sont concernés :

- Les décors des niches des culées des arcs-boutants ;
- Les décors et figures historiées ;
- Les fleurons et décors floraux (choux) et végétaux (crochets) des gâbles ;
- Les frises à motifs végétaux des bandeaux sous les gardes corps des terrasses ;
- La frise feuillagée situées au-dessus des motifs en ogive ;
- Les chapiteaux des colonnettes engagées ;
- Les gargouilles situées sous le bandeau des terrasses basses ;
- Les exutoires des piscines liturgiques situées sur les allèges des baies ;
- Les ornements des voussures des baies des chapelles ;
- Côté Nord : La porte rouge et ses décors ;
 Les bas-reliefs.

Niveau Tribunes

Sont concernés :

- Les remplacements à motifs végétaux des baies des tribunes ;
- Les chapiteaux à motifs floraux des baies géminées (marchés Nord et Sud) ;
- Baies à remplacements (marché Est) :
 - o Les chapiteaux ;
 - o Les figures historiées ;
 - o Les crochets et fleurons des gâbles ;
- Les fleurons de la balustrade déposés lors de la phase de sécurisation.

Arcs boutants, culées et pinacles

Sont concernés :

- Les décors et figures historiées ;
- Les pinacles et leurs décors (gargouilles, figures historiées, gâbles fleurons, crochets, chapiteaux, tapisserie fleurie...) (sauf F13, F15, F17, et F19) ;
- Les frises à motifs floraux.

Limites de prestations :

- *Les pierres, épannelées, seront fournies par le lot n°04_{CHVT} Maçonnerie/Pierre de taille, selon les indications fournies par le présent lot ;*
 - *L'inspection et la consolidation des éléments fragiles des éléments sculptés est à la charge du lot 6_{CHVT} Restauration de sculpture ;*
 - *La dépose des parements et éléments sculptés en conservation est à la charge du lot 04_{CHVT} Maçonnerie/Pierre de taille e. Un constat préalable sera réalisé en coordination avec ce dernier pour définir les éléments qui seront moulés par le présent lot et serviront de modèle pour la réalisation de leur copie, ainsi que les éléments qui devront être déposés en conservation.*
 - *La pose des sculptures sera réalisée par le lot 04_{CHVT} Maçonnerie/Pierre de taille. Seules les greffes de petites dimensions (joint marbrier/goujonnage) seront mises en place par le titulaire du présent lot ;*
 - *Les parties qui seront jugées à conserver mais complétées sous forme de greffes feront l'objet d'un dessalement sous forme de compresses, à la charge du lot 06_{CHVT} Restauration de sculpture. Les taux de sels seront contrôlés par le lot 18 Contrôle de dessalement afin de vérifier l'efficacité du dessalement ;*
 - *Le traitement biocide, algicide et fongicide préventif sur l'ensemble des sculptures, y compris les éléments neufs, sculptés par le titulaire du présent lot est à la charge du lot 06_{CHVT} Restauration de sculpture.*
- Ensemble des études préalables nécessaires à la réalisation des travaux du présent lot, comprenant :
 - un constat conjoint avec l'ACMH, le lot 04_{CHVT} Maçonnerie/Pierre de taille et le lot 06_{CHVT} Restauration de sculpture, de l'ensemble des sculptures nécessitant remplacement ou greffe.
 - l'établissement d'une méthodologie d'intervention ;
 - un relevé précis des ouvrages existant des ouvrages devant faire l'objet d'une réfection ainsi que tous les moulages jugés nécessaires ;
 - pour les ouvrages manquants à restituer (absence de modèle) :
 - Réalisation d'esquisses et dessins préparatoires (vue d'ensemble et détails), et maquettes à échelle 1/10e et échelle 1 ou 1/2 pour les détails ;
- Les propositions des sculpteurs se baseront à la fois sur les sculptures existant sur la cathédrale, et sur les dessins d'archives.
- Réalisation de modelage à échelle 1 :
 - de l'intégralité des ouvrages à restituer lorsque celui-ci est à restituer dans sa totalité ;
 - d'un complément en mortier ou plâtre exécuté soit sur le modèle déposé, soit sur le moulage du vestige pour les greffes ;
 - Pour les compléments plus importants, possibilité de réalisation de scan 3D avec réalisation d'impression 3D échelle 1/1 pour servir de support aux modelages de restitution.

Ces ouvrages seront à mettre au point avec l'Architecte en Chef des Monuments Historiques et seront reprises, complétées voire affinées aux souhaits et à la demande de ce dernier et cela jusqu'à la validation « pour bon pour accord ».

- Ensemble des calepins d'appareillage.
- Après validation du calepin d'appareil par l'ACMH, transmission des besoins et des dimensions de taille des blocs et d'épannelage au lot 04_{CHVT} Maçonnerie/Pierre de taille.

Les blocs seront taillés de telle sorte à conserver suffisamment de matière pour retaille à l'outil, vieillissement in situ et raccords avec parties adjacentes.

- Après réception des blocs épannelés, réalisation des parements sculptés en pierre ; Pour rappel, la fourniture et l'épannelage des blocs sont à la charge du lot 04_{CHVT} Maçonnerie/Pierre de taille)

Choix des natures de pierre :

- *Maçonnerie et éléments moulurés exposés : Pierre dure H4 Croix Huyart (Aisne) ou Petit Liais de Saint-Maximin*
- *Parement courant : Banc 3 de Saint-Maximin/ Roche franche fine de Saint-Maximin/Roche franche de Saint-Maximin/ roche h4 demi-dure de la Croix Huyart*
- *Gargouilles et dallages : liais de Saint-Maximin*
- Taille et pose de greffes et bouchons en recherche après validation d'un calepin par l'ACMH, compris jointoiement, taille de finition et patine d'harmonisation. Greffes/bouchons par goujonnage à réaliser avec des tiges en titane ou en inox austénitique et collage à la résine (rejointoiement éventuel en raccord (joints marbriers), compris pose - En coordination avec le lot 06_{CHVT} Restauration de sculpture. Le scellement des blocs et greffes de grande dimension et le rejointoiement au plomb des éléments sculptés est à la charge du lot 04_{CHVT} – Maçonnerie/Pierre de taille
- Vieillissement des parements neufs à l'outils pour intégration des pierres neuves, patine d'harmonisation.

•



LOT 6_{CHVT} : RESTAURATION SCULPTURE

Rappel des marchés :

Lot 06 CHVT Sud
 Est
 Nord

La restauration des sculptures concernera trois cas de figure :

- *Les sculptures en œuvre ;*
- *Les sculptures déposées lors des phases 1 et 2 qui seront restaurées et remises en place (fleurons des garde-corps des tribunes) ;*
- *Les sculptures déposées par le lot 04_{CHVT} maçonnerie/ pierre de taille devant être restaurées/consolidées pour servir de modèle au lot 05_{CHVT} sculpture neuve ;*

Niveau Chapelles

Sont concernés :

- *Les décors des niches des culées des arcs-boutants ;*
- *Les décors et figures historiées ;*
- *Les fleurons et décors floraux (choux) et végétaux (crochets) des gâbles ;*
- *Les frises à motifs végétaux des bandeaux sous les gardes corps des terrasses ;*
- *La frise feuillagée situées au-dessus des motifs en ogive ;*
- *Les chapiteaux des colonnettes engagées ;*
- *Les gargouilles situées sous le bandeau des terrasses basses ;*
- *Les exutoires des piscines liturgiques situées sur les allèges des baies ;*
- *Les ornements des voussures des baies des chapelles ;*
- *Côté Nord : La porte rouge et ses décors ;*
 Les bas-reliefs.

Niveau Tribunes

Sont concernés :

- *Les remplacements à motifs végétaux des baies des tribunes ;*
- *Les chapiteaux à motifs floraux des baies géminées (marchés Nord et Sud) ;*
- *Baies à remplacements (marché Est) :*
 - o *Les chapiteaux ;*
 - o *Les figures historiées ;*
 - o *Les crochets et fleurons des gâbles ;*
- *Les fleurons de la balustrade déposés lors de la phase de sécurisation.*

Niveau Baies hautes (compris retour des bras de transept)

Sont concernés :

- *Les chapiteaux des colonnes situées aux angles des transepts ;*
- *Les chapiteaux des baies sur les retours des transepts.*

Arcs boutants, culées et pinacles

Sont concernés :

- *Les décors et figures historiées ;*
- *Les pinacles et leurs décors (gargouilles, figures historiées, gâbles fleurons, crochets, chapiteaux, tapisserie fleurie...) (sauf F13, F15, F17, et F19) ;*
- *Les frises à motifs floraux.*
- *Arc-boutant F21 : statuaire des rois mages*

- Etablissement d'un diagnostic complet des éléments sculptés, conjoint avec l'ACMH, le lot 04_{CHVT} Maçonnerie/Pierre de taille et le lot 05_{CHVT} Sculpture neuve, compris vérification de la présence éventuelle de sel, et proposition d'un protocole de restauration ;

Nota : toutes les opérations de dessalements sur les parements, qu'ils soient droits, voussurés, moulurés et sculptés seront à la charge du titulaire des lots 06_{CHVT} Restauration de sculpture. Elles se feront en étroite collaboration avec le lot 04_{CHVT} – Maçonnerie/Pierre de taille chargés de la réfection des joints (la purge des joints dans les zones contaminées sera, quant à elle, à la charge du présent lot) et du lot 18 – Contrôles laboratoires, qui effectuera des contrôles à chaque fin de cycle de dessalement.

Pour le cas particulier des fleurons des garde-corps des tribunes, déposés lors de la phase 1 de sécurisation pour la mise en place des cintres et stockés à Saint Witz, le diagnostic et la proposition de protocole d'intervention sera réalisé dans la zone de stockage actuel, après déconditionnement in situ, compris dépôt de chappe plâtre si besoin est et dépoussiérage par aspiration THE et brossage simultanée par le titulaire du présent lot.

S'en suivra, à la charge du lot 04_{CHVT} Maçonnerie/Pierre de taille, le conditionnement, transport sur site et la mise à disposition des lots 06_{CHVT} Restauration de sculpture et 05_{CHVT} Sculpture neuve. La repose sur site également dû au lot 04 Maçonnerie/Pierre de taille.

- Pré-consolidation des éléments les plus fragiles susceptibles de tomber ou disparaître lors des opérations de nettoyage ;
- Suppression des concrétions ou éclaboussures de plomb fondu sur les éléments sculptés, sans endommagement de l'épiderme des parements par action mécanique, suivant les tests établis par le LRMH ;
- Dépoussiérage et brossage doux simultanés de l'ensemble des sculptures avec aspiration THE à la source ;
- Nettoyage de parements sculptés : en fonction du niveau d'encrassement différentes techniques seront testées afin de déterminer le meilleur protocole :
 - Micro-abrasion au corindon ;
 - Nettoyage laser nouvelle génération ;
 - Compresses sans complexant ;

- Traitement biocide, algicide et fongicide curatif pour suppression des colonisations microbiologiques, mousses et lichens – application systématique sur les éléments en saillie, notamment les gargouilles ;
- Nettoyage complémentaire pour suppression des croûtes noires, gypse et plomb ne pouvant être supprimées (brossage et scalpel, compresses ou encore laser) ;
- Dessalement ponctuel par compresses à base de Kaolin, après purge de joints et nettoyage sur zones d'efflorescences salines et de dégradation alvéolaire actives :
 - Systématiquement sur les parties sculptées conservées, devant faire l'objet d'une greffe ou d'un ragréage ;
 - Sur les parements droits, moulurés ou sculptés où sont constatées des efflorescences salines ;
- Consolidation sur les parements conservés sculptés par injection PLM, pose de goujons et réalisation ponctuelle de solins à base de chaux, selon cas de figure ;
- Consolidation ponctuelle des épidermes des parties sculptées légèrement altérées par application de silicate d'éthyle ou bio-minéralisation ;
- Mise en œuvre de solin en rive des zones desquamées au mortier Altar® ;
- Ragréages ponctuels à base de poudre de pierre et chaux, en recherche après purge et dessalement de la pierre qui devra accueillir le ragréage, compris toutes protections des existants avoisinants. Traitement de surface et vieillissement pour raccordement discret au parement. En cas de ragréages profonds (supérieure à 30mm), pose d'une armature laiton ou inox – Solution à éviter autant que possible ;
- Patine d'harmonisation sur l'ensemble des parements restaurés. Composition de la patine et essais à soumettre pour validation à l'ACMH ;
- Traitement biocide, algicide et fongicide préventif sur l'ensemble des sculptures, y compris les éléments neufs, sculptés par le lot 05_{CHVT} – Sculpture neuve.

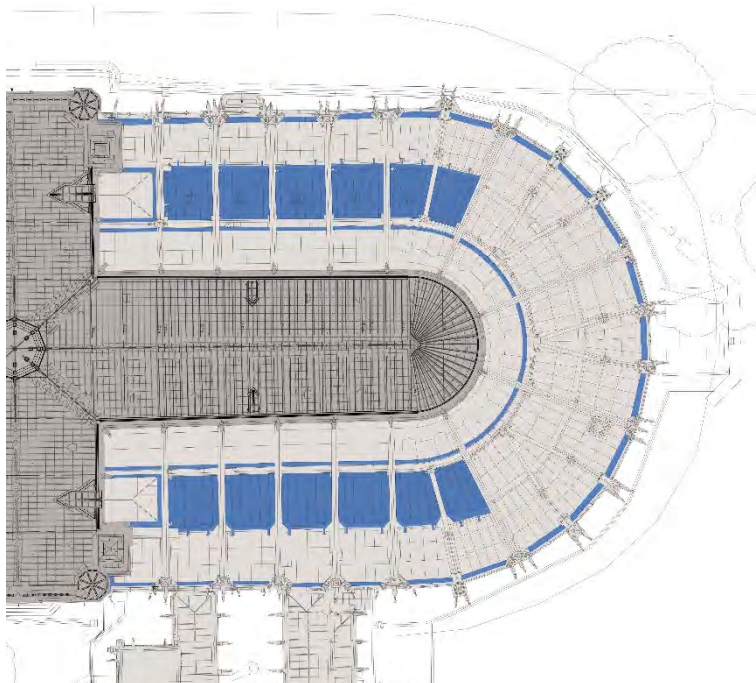
•



LOT 9_{CHVT} : COUVERTURE PLOMB

Rappel des localisations des marchés :

Lot 09_{CHVT} – Marché unique



Travaux préparatoires pour l'ensemble des prestations à réaliser

- Ensemble des études d'exécutions nécessaires à la réalisation des prestations incombant au présent lot pour accord préalable de l'Architecte en Chef des Monuments Historiques ;
- Réalisation de prototypes ;
- Toutes dispositions à mettre en œuvre pour réaliser les travaux de couverture (dispositifs de bâchages, de mécanisation des tâches de manutention des tables de plomb, anti-chutes, etc.).

Réfection des couvertures des réserves Nord et Sud du chœur

- Relevé complet détaillé des couvertures existantes avant démolition ;
- Dépose en démolition des couvertures existantes, compris :
 - Les éléments de couverture en plomb (éléments courants, remontées d'étanchéité, rives, égout, accessoires, etc.) ;
 - Les tasseaux en bois formant les jonctions verticales des couvertures ;
 - Tous les éléments de fixation et autres éléments particuliers.

Nota : la récupération du plomb pour refonte et réemploi ultérieur pourra être envisagé par l'entreprise. Elle le valorisera dans son offre (Prix à indiquer dans le BPU).

- Restauration du support de couverture, compris :

- PM, les structures en terre cuite hourdées au plâtre et ossature métallique ont été restaurées, depuis la face inférieure (intérieur des réserves du chœur) lors de la phase de « Reconstruction de la cathédrale Notre-Dame de Paris suite à l'incendie du 15 avril ».
- Révision en recherche, de la face supérieure, compris réfection de la forme de plâtre, par le lot 04 CHVT Maçonnerie/Pierre de taille.
- Réfection des tasseaux bois enchâssés dans l'épaisseur de la forme de plâtre susmentionnée :
 - La dépose en démolition des éléments anciens et la pose des éléments neufs seront à la charge du lot 04 CHVT Maçonnerie/Pierre de taille.
 - La fourniture, la taille, le traitement et le transport sur site seront à la charge du lot 09CHVT. Ce dernier les mettra à disposition du lot 04CHVT et devra un accompagnement pendant la pose.

PM, ces tasseaux permettront la fixation en tête des tables de plomb.

- Réfection à l'identique de la couverture en plomb avec jonctions latérales sur tasseaux, compris :
 - La fourniture, le traitement et la pose dans le sens de la pente, de tasseaux bois de sections trapézoïdales, pour assurer les jonctions verticales entre les tables de plomb ;
 - La fourniture et mise en œuvre d'une interface entre la forme de support au plâtre et les tables en plomb de type papier kraft huilé dit « papier anglais » en double épaisseur ;
 - La fourniture des tables coulées sur sable sera à la charge de la MOA. L'entreprise devra la réception des matériaux mis à disposition et leur rapatriement en atelier.
 - La préfabrication en atelier des tables de plomb, le conditionnement dans des dispositifs étanches, le transport sur site et jusqu'à pied d'œuvre ;
 - La mise en place et le rebattage des tables en plomb coulées sur sable, compris toutes sujétions de fixations, raccordements aux exutoires, relevés d'étanchéité, solins, traitement de rives, etc.
 - La réalisation de besaces pour le renvoi des eaux ruisselant contre des massifs de maçonnerie (en partie basse des toitures des travées T19 et T20 et contre les culées des arcs-boutants Nord).

Gestion des eaux pluviales

- Habillage en plomb des chéneaux, gargouilles et exutoires :

Sont concernés les chéneaux, gargouilles et exutoires :

- des terrasses hautes, compris retour contre les bras de transept (sauf partie traitée existante traitée en cuivre);
- des toitures en plomb des réserves ;
- des terrasses basses (niveau chapelle).

Sont compris :

- la vérification des supports en parfaite coordination par le lot 04CHVT Maçonnerie Pierre de Taille ;
- la réalisation d'un fond de forme, compris le réglage des pentes ;

Pour mémoire, modification de pente suite à la condamnation de deux gargouilles niveau chapelle, de l'arc-boutant F11 pour suppression des risques de rejets des eaux de ruissellement des toitures du grand comble sur la voie publique.

- la fourniture et mise en œuvre d'une interface entre le support et les tables en plomb de type papier kraft huilé dit « papier anglais » en double épaisseur ;
 - la fourniture, la mise en place et le rebattage de tables en plomb coulées sur sable, toutes sujétions comprises de fixations, raccordements aux exutoires, relevés d'étanchéité, solins, etc ;
 - le chemisage en plomb des gargouilles et exutoires ;
 - la fourniture et pose de crapaudines.
- Amélioration du dispositif d'évacuation des eaux pluviales des couvertures des réserves du chœur, pour raccordement des avaloirs à de nouvelles descentes EP, compris :
 - Le percement des exutoires et de la taille du larmier du mur gouttereau des réserves pour le passage de la descente EP par le lot 04CHVT – Maçonnerie/Pierre de taille ;
 - la fourniture et pose de nouvelles descente EP cuivre à manchon, toutes sujétions de fixations et raccordement comprises.
 - Dispositif d'étanchéité au revers des gâbles des tribunes
Sont concernées les travées T01, T02, T03, T04, T07, T08.
Sont compris :
 - La réalisation d'un dispositif de chéneau encaissé voussuré à réaliser entre le gâble et le mur gouttereau, toutes sujétions comprises de remontées d'étanchéité, solins, toutes sujétions comprises pour mise en place de cet ouvrage dans un espace restreint.
 - Traitement en partie basse de l'amortissement du gâble, compris toutes sujétions pour création de rive côté toiture, raccordement avec les gargouilles existantes ou restituées et façon de pente pour orienter les eaux vers ces dernières.
 - Remplacement à neuf des descentes EP évacuant les eaux pluviales des tribunes sur les réserves Sud (2 unités) :
 - La dépose en démolition des descentes EP vétustes ;
 - Le remplacement par des descentes en cuivre neuve à manchon, toutes sujétions de fixations et raccordement comprises.

•



LOT 11_{CHVT} : VITRAUX/SERRURERIE/ FERRONNERIE

Rappel des localisations des marchés :

Lot 11_{CHVT} Vitraux / Serrurerie : Vitraux des tribunes du chœur – oculi et baies à remplage :

3 lots :

Base :

- Lot 11_{CHVT} -A : Tribune chœur sud + 102 : Baies 120, 118, 116, 114, 112, 110 et 102.
- Lot 11_{CHVT} -B : Tribune chœur est + 122 : Baies 105, 103, 101, 104, 106, 108 et 122.
- Lot 11_{CHVT} -C : Tribune chœur nord : Baies 121, 119, 117, 115, 113, 111, 109, 107.

Option :

- Lot 11_{CHVT} -C : Autres panneaux : Baies 23, 24, 37, 38, 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 141.

L'option concerne les panneaux déposés en phase 1 sécurisation, remplacés pour la fermeture provisoire des baies par des panneaux fac-similés en phase 2 sécurisation, et dont les panneaux d'origine sont à reposer dans la présente opération.

Pour mémoire, travaux réalisés dans le cadre des travaux d'urgence (phase 1) et du chantier de Reconstruction à la suite de l'incendie du 15 avril 2019 (phase 2-DCE1) - (hors opération) :

- Dépoussiérage et décontamination générale intérieure (toutes baies du niveau tribunes et RDC chapelles, hors médaillons XIIIe s. des baies 09, 10, 11, 12).
- Récupération des panneaux, restauration atelier et repose des vitraux (baies hautes)
- Restauration des armatures fixes et mobiles, remise en jeu des ouvrants (baies hautes)
- Création d'une ventilation basse en appui avec rejingot et bavette plomb (baies hautes)
- Réfection des calfeutrements en recherche coté intérieurs des baies des chapelles du chœur.

Repérage de matériaux et produits contenant de l'amiante :

Le diagnostic amiante réalisé par le cabinet L3aDiag a mis en évidence la présence de matériaux et produits contenant de l'amianté dans les calfeutrements, les mastics de pose et les mastics vitriers de plusieurs vitraux des baies des tribunes du chœur.

Cf. Annexe générale 6 – Diagnostic amiante – Pré-rapport de mission de repérage des matériaux et produits contenant de l'amianté avant réalisation des travaux » - n°00283016 A V3 – L3aDiag – 06/01/2025.

Compétences requises au sein des ateliers de vitraux :

Les compétences minimales requises au sein des atelier de vitraux pour réaliser les travaux prescrits au lot 11_{CHVT} – Vitraux-Serrurerie sont :

- Au moins un restaurateur de vitraux qualifiés, diplôme M2 CRBC (master 2 en Conservation et Restauration des Biens Culturels, M2 CRBC de l'université Paris 1, Panthéon Sorbonne)
- Formation opérateur amiante en SS3

Restauration des vitraux et des serrureries des baies des tribunes du chœur

Principe d'intervention :

Il est proposé de restaurer les vitraux des tribunes du chœur en tenant compte de l'état et du diagnostic des vitraux et de leurs armatures fixes et mobiles, du repérage de matériaux amiantés nécessitant des travaux de décontamination en amiante niveau SS3, mais aussi des travaux nécessaires à la restauration des remplages en pierre.

Il est aussi prévu en option de reposer les panneaux de vitraux des autres panneaux des tribunes et RDC de la nef, remplacés par des panneaux de fac-similés en phase 2.

Travaux en condition amiante – niveau SS3 :

Synthèse du diagnostic amiante :

Le diagnostic amiante réalisés sur les baies des tribunes du chœur révèle 3 types de matériaux susceptibles de contenir de l'amiante :

- Le calfeutrement, en mortier de chaux, situé entre l'armature métallique et la maçonnerie.
- Le mastic de pose, situé entre le panneau de vitrail et l'armature métallique.
- Le mastic vitrier, situé entre la pièce de verre et son réseau en plomb.

Lors du repérage des matériaux amiantés, le diagnostiqueur L3aDiag a procédé à trois prélèvements par baie, un pour chaque type de matériau.

Tribunes du Chœur (base) :

15 baies sur 22 sont concernées par la présence d'au moins un des matériaux amiantés listés ci-dessus. Les lots intéressés sont :

- Lot 11_{CHVT} -A : Tribune chœur sud + 102 : Baies 120, 118, 116, 114, 112, 110 et 102.
- Lot 11_{CHVT} -C : Tribune chœur nord : Baies 121, 119, 117, 115, 113, 111, 109, 107.

7 baies sur 22 ne sont pas concernées. Elles ne contiennent pas de matériau amianté, les travaux sont en condition normale. Le lot intéressé est :

- Lot 11_{CHVT} -B : Tribune chœur est + 122 : Baies 105, 103, 101, 104, 106, 108 et 122.

Tableau de synthèse du diagnostic amiante par baie – Tribune du chœur :

Légende : a Absence de matériau amianté
 a Présence de matériau amianté

Baie	Matériau contenant de l'amiante			Procédure amiante SS3
	Calfeutrement	Mastic de pose	Mastic vitrier	
121	a	a	a	oui
119	a	a	a	oui
117	a	a	a	oui
115	a	a	a	oui
113	a	a	a	oui

Baie	Matériau contenant de l'amiante			Procédure amiante SS3
	Calfeutrement	Mastic de pose	Mastic vitrier	
111	a	a	⊘	oui
109	a	⊘	⊘	oui
107	a	a	⊘	oui
105	⊘	⊘	⊘	non
103	⊘	⊘	⊘	non
101	⊘	⊘	⊘	non
102	⊘	a	a	oui
104	⊘	⊘	⊘	non
106	⊘	⊘	⊘	non
108	⊘	⊘	⊘	non
110	a	⊘	⊘	oui
112	a	⊘	⊘	oui
114	a	a	⊘	oui
116	a	a	a	oui
118	a	a	⊘	oui
120	a	a	⊘	oui
122	⊘	⊘	⊘	non

Autres panneaux (option) :

Tribunes de la nef :

7 baies sur 8 sont concernées par des travaux en condition amiante SS3 dû à la présence d'au moins un des matériaux amiantés listés ci-dessus. Le lot concerné est :

- Lot 11_{CHVT} -C : Autres panneaux : Baies 130, 132, 134, 136, 140, 142, 141.

La baie 138 ne contient pas de matériau amianté n'est pas concernée. Pour cette baie les travaux sont en condition normale.

RDC – chapelles de la nef :

Le diagnostic amiante restant à finaliser ne permet la levée de doute sur la totalité des vitraux du RDC de la cathédrale. Les investigations doivent encore être menées, notamment pour les travaux proposés en option pour les baies suivantes :

- Lot 11_{CHVT} -C : Autres panneaux : Baies 24, 38, 37 et 23.

Tableau de synthèse du diagnostic amiante par baie – Option – Autres panneaux – Tribunes et chapelles de la nef :

Légende : ⊘ Absence de matériau amianté
 a Présence de matériau amianté

Baie	Matériau contenant de l'amiante			Procédure amiante SS3
	Calfeutrement	Mastic de pose	Mastic vitrier	
130	a	⊘	⊘	oui
132	a	⊘	a	oui
134	a	a	⊘	oui

Baie	Matériau contenant de l'amiante			Procédure amiante SS3
	Calfeutrement	Mastic de pose	Mastic vitrier	
136	a	a	a	oui
138	a	a	a	non
140	a	a	a	oui
142	a	a	a	oui
141	a	a	a	non
37	?	?	?	?
23	?	?	?	?
38	?	?	?	?
24	?	?	?	?

Principe des travaux de désamiantage :

Les travaux de désamiantage sont à réaliser en condition amiante SS3.

Le lot 11_{CHVT} intervient sur site, dans une salle blanche dédiée aux travaux de désamiantage.

La salle blanche et toutes les installations de chantier, nécessaires aux travaux de désamiantage, sont mises à disposition du lot 11_{CHVT}.

La procédure de retrait sur site dans une salle blanche a l'avantage de :

- Traiter l'amiante sur le chantier pour ne pas imposer de travaux en condition amiante au sein des ateliers des maîtres verrier qui ne sont pas équipés de salle blanche.
- Mutualiser une seule salle blanche pour l'ensemble des lots 11_{CHVT} et toutes les installations de chantier (bâches, confinements, etc.) nécessaires au curage des matériaux amiantés.
- Optimiser le traçage des produits amiantés retirés en mutualisant l'ensemble des déchets et un éventuel contrôle visuel par des organismes extérieurs
- Faciliter l'ordonnancement, la coordination et la coactivité entre les lots concernés (lots 04_{CHVT}, 11_{CHVT}, 13_{CHVT}) pour optimiser le calendrier d'exécution des travaux de désamiantage.
- Garantir la conformité des travaux et faciliter leur contrôle par les organismes compétents pour des travaux à risque amiante.
- Garantir la qualité des travaux de désamiantage sur des ouvrages classés Monuments Historiques et leurs contrôles par la MOE.

Le lot 11_{CHVT} réalise ses travaux de désamiantage en coordination et sous la supervision du Lot 31_{CHVT} - Amiante.

Les travaux à la charge du lot 11_{CHVT} concernent les panneaux de vitraux et leurs armatures fixes et mobiles, pour lesquels la présence de matériau contenant de l'amiante a été identifié dans le calfeutrement, le mastic de pose ou le mastic vitrier.

Les tâches à réaliser en condition amiante SS3 sont :

- Dépose des vitraux et de leurs armatures, compris conditionnement et transport en salle blanche.
- Retrait des matériaux amiantés par curage, compris conditionnement des déchets.
- Purge des calfeuttements résiduels dans les baies après dépose des panneaux et armatures.

Les baies concernées par des travaux en condition amiante SS3 sont :

Tribune du chœur (base) :

- Lot 11_{CHVT} -A : Baies 120, 118, 116, 114, 112, 110 et 102.
- Lot 11_{CHVT} -C : Baies 121, 119, 117, 115, 113, 111, 109, 107.

Autres panneaux (option) :

- Lot 11_{CHVT} -C : Autres panneaux : Baies 130, 132, 134, 136, 140, 142, 141.

Pour les baies 102 et 116, dont le diagnostic a identifié la présence de produit amianté dans l'unique prélèvement de mastic vitrier, un complément de diagnostic amiante est à réaliser en salle blanche, après dépose des panneaux, pour confirmer et préciser l'étendue du produit amianté dans l'ensemble du mastic vitrier, afin d'affiner et de préciser avant les travaux de curage la quantité de dessertissage du réseau de plomb à réaliser.

Les conditions de travaux restent à déterminer, et attente du diagnostic amiante à réaliser, pour les baies suivantes :

- Option : Lot 11_{CHVT} -C : Autres panneaux : Baies 24, 38, 37 et 23.

Description détaillée des travaux – lot 11_{CHVT} – Vitraux / Serrurerie :

Travaux préparatoires :

- Etat des lieux avant et après travaux.
- Prise de cotes sur site, au droit des baies, compris repérage des armatures fixes avant dépose, en coordination avec le lot 04_{CHVT} - Maçonnerie/Pierre de taille.
- Etude-constat d'état – protocole d'intervention.

Localisation – prescription spécifique :

Tous les vitraux des tribunes du chœur – oculi et baies à remplage.

Par panneau par baie avec établissement d'un rapport détaillé.

Base :

- Lot 11_{CHVT} -A : Baies 120, 118, 116, 114, 112, 110 et 102.
- Lot 11_{CHVT} -B : Baies 105, 103, 101, 104, 106, 108 et 122.
- Lot 11_{CHVT} -C : Baies 121, 119, 117, 115, 113, 111, 109, 107.

Option :

- Lot 11_{CHVT} -C : Autres panneaux : Baies 23, 24, 37, 38, 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 141.

Récupération des panneaux de vitraux et éléments de serrurerie :

- Récupération des panneaux de vitraux et de leurs éléments de serrurerie, déposés en phase 2 reconstruction, stockés en caisse dans les réserves des tribunes sud de la nef. Leur

transport en salle blanche pour contrôle d'absence de matériau amianté, compris toutes manutentions et protections.

- Nota : Les autres panneaux de vitraux en option au lot 11_{CHVT} -C ont été nettoyés en atelier en procédure amiante SS4, au cours de la phase 2 reconstruction, sous opération DCE1.

Localisation – prescription spécifique :

Panneaux de vitraux stockés en caisse – réserves tribunes sud nef :

- Base : Lot11_{CHVT} -A : Baie 102 panneaux a1 et c1.
- Option : Lot11_{CHVT} -C : Autres panneaux : Baies 23, 24, 37, 38, 130, 132, 136, 138, 140, 142, 141.

Dépose des panneaux vitraux et de leurs armatures :

- Les travaux de dépose sont réalisés depuis les échafaudages, moyens d'accès, moyens de manutention et de levage mis à disposition au lot 11_{CHVT}.
- Dépose des panneaux de vitraux et de leurs armatures fixes et mobiles, en condition et procédure amiante ou en condition normale, suivant diagnostic amiante.
 - Stabilisation provisoire en œuvre des pièces cassées avant dépose.
 - Dépose en conservation des panneaux de vitraux sur châssis métalliques, compris marquages, mise en caisse, et transport en salle blanche ou directement en atelier.
 - Dépose en conservation des armatures métalliques fixes (barlotières) et mobiles (vergettes, clavettes, feuillards) pour réemploi. Transport en salle blanche ou directement en atelier.
 - Enlèvement des calfeutremments.
- Les travaux de dépose des vitraux contenant de l'amiante seront réalisés par le présent lot 11_{CHVT} avec l'accompagnement du lot 31_{CHVT} – Amiante dont le titulaire est une entreprise certifiée en traitement de l'amiante (qualification QUALIBAT 1552, AFNOR ou GLOBAL) qui assurera les prestations suivantes :
 - Rédaction d'un plan de retrait des matériaux amiantés
 - Mise en place d'une salle blanche sur site pour permettre le retrait des matériaux amiantés par le maître verrier en milieu sécurisé
 - Gestion des déchets en centre de traitement autorisé via FID (Fiche d'Identification Déchets) signé par la MOA, CAP (Certificat d'Acceptation Préalable) et BSDA (Bordereaux de Suivi des Déchets d'Amiante)
 - Métrologie pendant les travaux, conformément à une stratégie d'échantillonnage préalablement définie par un laboratoire accrédité COFRAC
 - Mesures de fin travaux et autocontrôle permettant d'acter le retrait des matériaux amiantés
- L'accompagnement réalisé par lot 31_{CHVT} -Amiante concernera également :

- La mise en place des installations amiante (Unité Mobile de Décontamination et zone de stockage des déchets amiante) ;
- Le confinement intérieur et extérieur des échafaudages au droit de chaque baie ;
- Les protections collectives nécessaires à la dépose, le conditionnement et étiquetage des vitraux (le transport à la charge du présent lot) ;
- Le nettoyage fin et les mesures de contrôle de non-contamination de la zone après la dépose.

Localisation – prescription spécifique :

Tous les panneaux de vitraux et armatures fixes et mobiles, contenant au moins un matériau amianté – en procédure amiante SS3 – transport en salle blanche :

Base :

- Lot 11_{CHVT} -A : Tribune chœur sud + 102 : Baies 120, 118, 116, 114, 112, 110 et 102
- Lot 11_{CHVT} -C : Tribune chœur nord : Baies 121, 119, 117, 115, 113, 111, 109, 107

Option : pour contrôle de la présence ou non de matériaux amiantés

- Lot 11_{CHVT} -C : Autres panneaux : Baies 23, 24, 37, 38, 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 141

Tous les panneaux de vitraux et armatures fixes et mobiles, exemptes de matériau amianté – en condition normale – transport direct en atelier :

Base :

- Lot 11_{CHVT} -B : Tribune chœur est + 122 : Baies 105, 103, 101, 104, 106, 108 et 122

Option :

- Lot 11_{CHVT} -C : Autres panneaux : Baie 138

Travaux de désamiantage en salle blanche

Introduction :

Les travaux de restauration des vitraux et de leurs armatures fixes et mobiles sont prévus exécutés dans les ateliers des maîtres verriers seulement après le retrait des matériaux amiantés contenus dans les calfeutrements, les mastics de pose ou les mastics vitriers.

Les travaux de retrait et de curage de matériaux ou produits contenant de l'amiante sont prévus sur site dans une salle blanche installée par le lot 31_{CHVT} – Amiante dans l'emprise du chantier et mise à disposition du présent lot pour réaliser les travaux de désamiantage en situation protégée.

Pour information, la salle blanche installée par le lot 31_{CHVT} -Amiante propose une surface totale d'environ 35/40 m². Elle est organisée en plusieurs zones distinctes pour permettre les travaux de désamiantage du lot 11_{CHVT} conformément aux réglementations :

- Sas matériaux (environ $2.5 \times 5 = 10\text{m}^2$ - 1 module type Algeco) : les panneaux déposés sont transportés en caisse étanche fournies par le lot 11_{CHVT} et transitent par le sas matériaux.
- Salle de travail (environ $2 \times 2.5 \times 5 = 20\text{m}^2$ - 2 modules réunis type Algeco) : les travaux de désamiantage sont réalisés dans cette salle sur table lumineuse fournie et posée par le lot 11_{CHVT} – 1 table lumineuse à prévoir par lot, de dimension adaptée à la présentation de plusieurs panneaux par baie.
- Sas sortie matériel (environ $2 \times 1.50 = 3\text{m}^2$ - 1 petit module type Algeco) : Les panneaux et armatures désamiantés sont stockés dans ce sas, conditionnés en caisse pour les panneaux et en fagots pour les armatures pour être transportés en atelier pour restauration. Le lot 11_{CHVT} fournit les caisses nécessaires.
- Sas personnel (environ 5m^2) de 5 compartiments comprenant vestiaire propre, douche, vestiaire sale, séparé par homme et Femme. Le sas personnel communique avec la salle de travail et la salle de repose.
- Salle de repos : utilisée pour les vacations. Elle communique seulement avec le sas personnel.

Tous les vitraux et leurs armatures transportés aux ateliers sont exempts d’amiante.

Pour réaliser ces travaux de désamiantage sur les panneaux de vitraux et leurs armatures fixes et mobiles, le titulaire du lot 11_{CHVT} devra disposer de personnel habilité par le médecin du travail aux travaux exposant à l’amiante, via un Suivi Individuel Renforcé (SIR), et formé au risque amiante SS3 (opérateur amiante de sous-section 3 habilité au retrait des matériaux amiantés).

Pour information, le lot 31_{CHVT} -Amiante, entreprise certifiée en traitement de l’amiante, à la charge d’accompagner et d’encadrer les travaux du lot 11_{CHVT}, et assure les travaux suivants :

- La déclaration, dans le plan de retrait, d’un processus de retrait (suivant le mode opératoire du maître verrier) et établissement d’une stratégie d’échantillonnage ;
- Installation et mise à disposition d’une Unité Mobile de Décontamination (UMD), sur le chantier à pied d’œuvre.
- La mise en place d’une salle blanche confinée, sous dépression, et sa mise à disposition pour les travaux du maître verrier, et du ferronnier et d’un SAS de décontamination pour l’ensemble des intervenants. Détail salle blanche ci-dessus ;
- Le pilotage de la surveillance métrologique pendant les travaux et de la caractérisation des processus de travail du maître verrier ;
- Le nettoyage et entretien des installations amiante ;
- La gestion des déchets (conditionnement, stockage provisoire, évacuation et traitement en centre autorisé via FID, CAP et BSDA réglementaires) ;
- La supervision de la phase de retrait des mastics afin de pouvoir attester de la dépose des matériaux amiantés à l’issue des travaux (sous forme d’un autocontrôle après travaux de traitement de l’amiante)
- L’attestation finale de l’entreprise de désamiantage permettra de faire reposer les vitraux, désormais désamiantés, sur place.

Description détaillée des travaux de désamiantage – Lot 11_{CHVT}**Généralités :**

Les travaux à réaliser de désamiantage des vitraux et leurs armatures fixes et mobiles se réfèrent au diagnostic amiante jointe en annexe du présent DCE.

Les travaux de désamiantage se déroulent par étapes et sont réalisés en fonction du type de matériaux et/ou produit contenant de l'amiante :

- Etape 1.** Dépose du vitrail et acheminement en salle blanche. Les travaux de dépose sont décrits au chapitre précédent.
- Etape 2.** Examens préliminaires sur table lumineuse de tous les panneaux de vitraux et de toutes les armatures pour définition du protocole de retrait avant travaux de curage.
- Etape 3.** Retrait des matériaux amiantés :
 - Le retrait est une opération de désamiantage réalisée suivant un protocole de sous-section 3. Ces travaux sont réalisés par le lot 11_{CHVT} en tant qu'opérateur SS3 en coordination avec le lot 31_{CHVT} -Amiante en tant qu'encadrant.
 - Les travaux sont à exécuter en salle de travail sur table lumineuse, conformément au protocole préalablement défini, avec des moyens et outils adaptés aux ouvrages MH à conserver (verres peints, plomb, métal).
 - Les travaux comprennent :
 - Curage et retrait du matériau amianté
 - Nettoyage fin par Aspiration HEPA et brosse douce simultanée + nettoyage adapté aux ouvrages conservés MH à conserver.
- Etape 4.** Contrôle de fin de travaux.
- Etape 5.** Conditionnement des ouvrages pour transport en atelier pour restauration, compris résuivi d'étiquetage.

Dans tous les cas, une obligation existe de retirer la totalité de l'élément amianté avant de transporter les ouvrages en dehors du chantier.

Détails des travaux de désamiantage – Etape 3 de retrait des matériaux amiantés par type de matériau contenant de l'amiante :Type 1 : Calfeutrement contenant de l'amiante :**PANNEAUX DE VITRAUX :**

- Curage et retrait à 100% des calfeutrements amiantés sur les panneaux de vitraux non dessertis, au 2 faces.
- Aspiration HEPA + brosse douce simultanée des panneaux non dessertis aux 2 faces.
- Nettoyage des panneaux de vitraux (pièces de verres peints et plombs) non dessertis aux 2 faces, dans l'emprise des calfeutrements (bande périmétrique estimée de 2/3 cm de large environ), à la lingette humide à l'eau déminéralisée, sans solvant
- Contrôle visuel intermédiaire des panneaux pour s'assurer du parfait retrait du calfeutrement amianté avant dessertissage.
- Dessertissage à 100% du plomb périphérique.

- Dessertissage des plombs du réseau dans l’emprise des calfeutrements si nécessaire, suivant protocole.
- Resuivi de nettoyage des panneaux de vitraux (pièces de verres peints et plombs) partiellement dessertis aux 2 faces, à la lingette humide à l’eau déminéralisée, sans solvant, dans l’emprise des calfeutrements, si nécessaire après dessertissage partiel.
- Contrôle visuel final du parfait retrait du matériau amianté.

ARMATURES FIXES ET MOBILES :

- Curage et retrait à 100% des calfeutrements amiantés présents sur les armatures fixes et mobiles.
- Aspiration HEPA à la brosse des armatures complètes, toutes faces.
- Nettoyage à l’eau et brossage manuel des armatures fixes et mobiles dans l’emprise des calfeutrements.
- Contrôle visuel final du parfait retrait du matériau amianté.

Localisation – prescription spécifique :

Pour les panneaux de vitraux et armatures fixes et mobiles au contact des calfeutrements amiantés :

Base :

- Lot 11_{CHVT} -A : Tribune chœur sud + 102 : Baies 120, 118, 116, 114, 112, 110
- Lot 11_{CHVT} -C : Tribune chœur nord : Baies 117, 115, 113, 111, 109, 107

Option :

Panneaux précédemment restaurés en atelier en procédure SS4 (Phase 2 – DCE1).

Pour contrôle de la présence ou non de matériaux amiantés et reprises suivant protocole amiante si nécessaire.

- Lot 11_{CHVT} -C : Autres panneaux – tribune nef : Baies 130, 132, 134, 136, 141
- Lot 11_{CHVT} -C : Autres panneaux – RDC nef : 23, 24, 37, 38, en attente diagnostic amiante.

Type 2 : Mastic de pose contenant de l’amiante :

PANNEAUX DE VITRAUX :

- Curage et retrait à 100% des mastics de pose amiantés sur les panneaux de vitraux non dessertis. Enlèvement du mastic par couteau à mastic ou grattoir en plastique pour ne pas endommager la surface des verres. Ramollissement du mastic si nécessaire par chauffage ou autre procédé adapté. Utilisation de dissolvant approprié si nécessaire pour retirer les derniers résidus de mastics, suivant protocole, uniquement sur les parties de verre non peintes et les plombs.
- Aspiration HEPA + brosse douce simultanée des panneaux aux 2 faces.
- Nettoyage des panneaux non dessertis, aux 2 faces, dans l’emprise des mastics de pose (bande périmétrique estimée de 2/3 cm de large environ), à la lingette humide à l’eau déminéralisée
- Contrôle visuel intermédiaire des panneaux pour s’assurer du parfait retrait du mastic amianté avant dessertissage.

- Dessertissage à 100% du plomb périphérique.
- Dessertissage des plombs du réseau dans l’emprise des mastics de pose, si nécessaire en fonction des résultats du nettoyage et du contrôle visuel intermédiaire.
- Resuivi de nettoyage des panneaux de vitraux (pièces de verres peints et plombs) partiellement dessertis aux 2 faces, dans l’emprise des mastics de pose si nécessaire après dessertissage partiel.
- Contrôle visuel final du parfait retrait du matériau amianté.

ARMATURES FIXES ET MOBILES :

- Curage et retrait à 100% des mastics de pose présents sur les armatures fixes et mobiles. Enlèvement du mastic dito vitraux.
- Aspiration HEPA à la brosse des armatures complètes, toutes faces.
- Nettoyage à l’eau et brossage manuel des armatures fixes et mobiles dans l’emprise des mastics de pose.
- Contrôle visuel final du parfait retrait du matériau amianté.

Localisation – prescription spécifique :

Pour les panneaux de vitraux et armatures fixes et mobiles au contact des mastics de pose amiantés :

Base :

- Lot 11_{CHVT} -A : Tribune chœur sud + 102 : Baies 120, 118, 116, 114 et 102
- Lot 11_{CHVT} -C : Tribune chœur nord : Baies 121, 119, 117, 115, 113, 111, 107

Option :

Panneaux précédemment restaurés en atelier en procédure SS4 (Phase 2 – DCE1).

Pour contrôle de la présence ou non de matériaux amiantés et reprises suivant protocole amiante si nécessaire.

- Lot 11_{CHVT} -C : Autres panneaux – tribune nef : Baie 134
- Lot 11_{CHVT} – C : Autres panneaux – RDC nef : 23, 24, 37, 38, en attente diagnostic amiante.

Type 3 : Mastic vitrier contenant de l’amiante :

PANNEAUX DE VITRAUX :

- Diagnostic amiante complémentaire à réaliser par panneau pour confirmer la présence de matériau amianté dans le mastic vitrier. A réaliser avant curage, pour préciser et affiner le protocole de curage et confirmer l’étendue des dessertissages. Nombre de prélèvements nécessaires et suffisants.
- Aspiration HEPA + brosse douce simultanée des panneaux non dessertis aux 2 faces, pour permettre les travaux de curage dans les bonnes conditions.
- Curage et retrait à 100% des mastics vitriers amiantés avec dessertissage des plombs et enlèvement des mastics amiantés sur les verres, dito type 2.
- Dessertissage à 100% du plomb périphérique
- Dessertissage des plombs du réseau, suivant diagnostic complémentaire :

- Dessertissage à 100%, ou
- Dessertissage partiel, dans les zones contenant du mastic vitrier amianté.
- Nettoyage des panneaux partiellement dessertis ou des rives des pièces de verres des panneaux dessertis, dito type 2.
- Tous les contrôles visuels intermédiaires nécessaires.
- Contrôle visuel final du parfait retrait du matériau amianté.

Localisation – prescription spécifique :

Pour les panneaux de vitraux contenant des mastics vitriers amiantés :

Base :

- Lot 11_{CHVT} -A : 116 et 102

Option :

Panneaux précédemment restaurés en atelier en procédure SS4 (Phase 2 – DCE1).

Pour contrôle de la présence ou non de matériaux amiantés et reprises suivant protocole amiante si nécessaire.

- Lot 11_{CHVT} -C : Autres panneaux – tribune nef : 142, 140, 136, 132, 130.
- Lot 11_{CHVT} – C : Autres panneaux – RDC nef : 23, 24, 37, 38, en attente diagnostic amiante.

Restauration des vitraux en atelier :

Les vitraux des tribunes du chœur, dans un état de conservation de passable à mauvais (panneaux déformés, plombs vétustes, déchaussement des pièces, casses et lacunes, présence d’amiante, ...) sont à restaurer en atelier, suivant leur état sanitaire et diagnostic.

Les travaux de restauration en atelier concernent les panneaux de vitraux exemptes d’amiante. Tous les travaux de désamiantage sont réalisés au préalable en salle blanche sur site pour les panneaux contenant des matériaux amiantés voir chapitre précédent ci-dessus.

Les travaux de restauration en atelier comprennent :

- Présentation des panneaux sur table lumineuse.
- Critique d’authenticité.
- Etat sanitaire et complément de diagnostic.
- Rapport et protocole de restauration.
- Dépoussiérage préliminaire aspiration HEPA + pinceau doux simultané.

Localisation – prescription spécifique :

Panneaux non dessertis :

- Base : Lot 11_{CHVT} -B : Baies 105, 103, 101, 104, 106, 108 et 122
- Option : Lot 11_{CHVT} -C : Baies 23, 24, 37, 38, 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 141
- Nettoyage préliminaire des panneaux non dessertis, aux deux faces, par compresses à l’eau déminéralisée, à réaliser conformément au protocole du LRMH.

Localisation – prescription spécifique :

- Base : Lot 11_{CHVT} -B : Baies 105, 103, 101, 104, 106, 108 et 122
- Option : Lot 11_{CHVT} -C : Baies 23, 24, 37, 38, 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 141

- Nettoyage complémentaire des panneaux dessertis en partie et/ou en totalité, aux deux faces à l'aide de compresse de thiosulfate de sodium à 3%, ou équivalent, à réaliser conformément au protocole du LRMH. Procédure « normale ».

Localisation – prescription spécifique :

- Base : Tous les panneaux de vitraux des tribunes du chœur :
 - Lot 11_{CHVT} -A : Baies 120, 118, 116, 114, 112, 110 et 102
 - Lot 11_{CHVT} -B : Baies 105, 103, 101, 104, 106, 108 et 122
 - Lot 11_{CHVT} -C : Baies 121, 119, 117, 115, 113, 111, 109, 107
- Option : Tous les autres panneaux – tribunes et chapelles de la nef
 - Lot 11_{CHVT} -C : Autres panneaux : Baies 23, 24, 37, 38, 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 141

- Provision pour traitement biocide.

Localisation – prescription spécifique :

Tous les panneaux de vitraux, si besoin.

Localisation dito ci-dessus.

- Dessertissage du plomb :

- Dessertissage du plomb périphérique à 100% en atelier des panneaux de vitraux des tribunes du chœur.

Localisation – prescription spécifique :

- Lot 11_{CHVT} -B : Baies 105, 103, 101, 104, 106, 108 et 122
- Lot 11_{CHVT} -C : Baies 121, 119

- Nota : Les panneaux contenant de l'amiante dans le calfeutrement ou le mastic de pose ont été précédemment dessertis de leur plomb périphérique lors du désamiantage en salle blanche.

Localisation – prescription spécifique :

- Lot 11_{CHVT} -A : Baies 120, 118, 116, 114, 112, 110 et 102
- Lot 11_{CHVT} -C : Baies 121, 119, 117, 115, 113, 111, 109, 107

- Dessertissage en recherche du réseau de plomb, en fonction de l'état sanitaire des plombs préétabli, des panneaux ne contenant pas d'amiante dans le mastic vitrier.

Localisation – prescription spécifique :

- Lot 11_{CHVT} -A : Baies 120, 118, 116, 114, 112, 110 et 102.
- Lot 11_{CHVT} -B : Baies 121, 119, 117, 115, 113, 111, 109, 107
- Lot 11_{CHVT} -C : Baies 105, 103, 101 ; 104, 106, 108

- Dessertissage du réseau de plomb à 100% des panneaux de vitraux contenant de l'amiante dans le mastic vitrier, sous réserve diagnostic complémentaire en salle blanche :

Localisation-prescription spécifique :

- Lot 11_{CHVT} -A : Baies 116, 112.

- Resuivi de nettoyage des verres après dessertissage, après procédure de retrait d'amiante, au cas par cas, pièce par pièce, face par face. Cf. protocole du LRMH.
- Réparation de pièces brisées, suivant diagnostic, comprenant :
 - Suppression des plombs de casses.
 - Collage de pièces cassées (casses simples ou multiples) selon cas de figure, suivant protocole préétabli en concertation avec MOE / CST / LRMH par :
 - Résine de collage à joint fermé type GTS (ou équivalent), ou
 - Résine de comblement bord à bord, ou
 - Cuivre de casse (Tiffany) n'est pas privilégié pour ces verrières très claires, à limiter aux bordures, pièces sombres et filets de scellements, au cas par cas.
 - Provision pour doublage de pièces consolidées (casses multiples).
- Remplacement de pièces brisées, au cas par cas, pièces trop vétustes pour être réparées, et traitement des lacunes, compléments de pièces manquantes suivant état sanitaire :
 - Fourniture de verres neufs (blancs ou couleurs). Saint-Juste de St Gobain. A l'identique existant, leur découpe.
 - Peinture au trait simple et enlevé, et/ou peinture au trait modelé ou complexe.
 - Grisaille en réintégration à l'identique de l'existant pour pièces de verres neuves et traitement des lacunes.
 - Provision de réintégration à froid, au cas par cas suivant diagnostic.
- Ressertissage – masticage :
 - Ressertissage des panneaux précédemment dessertis,
 - Fourniture des plombs et le sertissage avec soudures et contre-soudures. Dimension des plombs dito existant.
 - Plomb d'entourage à ressertir à 100% systématiquement.
 - Reprise systématique des attaches / rosettes.
 - Provision de patine des plombs.
 - Remasticage des panneaux, faces non peintes, compris tous nettoyages nécessaires à l'enlèvement des résidus de mastic.

Localisation – prescription spécifique :

 - Pour l'ensemble des panneaux de vitraux. Dito chap. dessertissage.

Restauration des armatures fixes et mobiles en atelier :

- Etude-constat d'état – protocole d'intervention., cps repérage des marques, numérotations, poinçons ou autres.
- Restauration en atelier des armatures fixes et mobiles pour leur réemploi au maximum, comprenant :

PM : leur dépose est réalisée en même temps que les panneaux de vitraux en procédure SS3 (cf. ci-avant)

 - Décapage mécanique niveau DS2, type micro-sablage. Procédure SS3 avec enlèvement des résidus de calfeutrement, mastics de pose, mastics vitriers encore présents après déposes des armatures fixes et mobiles.

- Traitement anticorrosion par électrozyngage ou équivalent. Système de peinture anti rouille à 2 couches type ARM130 ultra. Teinte RAL 7022. Inclus resuivi de peinture à réaliser en œuvre après la repose des vitraux et leurs armatures.
- Révision et redressement des fers. Les travaux se font en conservation des armatures existantes, suivant état sanitaire préétabli.
- Provision pour compléments neufs. Les remplacements à neufs concernent les armatures fixes ou mobiles trop altérées pour être conservées et/ou disparus. A fournir à l'identique de l'existant en fer pauvre en carbone (type ARMCO) :

Armatures fixes : cadre, barlotières, réseaux, ...

- Fourniture de barlotière basse (ventilation de l'appui).
- Remplacement en recherche des éléments trop altérés pour être conservés.
- Provision pour remplacement de pannetons, si nécessaire, au cas par cas, façonnage, rivetage, etc...

Armatures mobiles : feuillards, clavettes, vergettes.

- Remplacement en recherche des éléments trop altérés pour être conservés.
- Fourniture à neufs des éléments disparus, à l'identique de l'existant, compris coupe, façons, etc.
- Section des vergettes : fer rond diamètre 8 mm. Façonnage, coupe à l'identique de l'existant.
- Feuillards fer plat compris façon de mortaises pour pannetons

Localisation – prescription spécifique :

Armatures fixes et mobiles :

- Lot 11_{CHVT} -A : Baies 120, 118, 116, 114, 112, 110 et 102
- Lot 11_{CHVT} -B : Baies 105, 103, 101, 104, 106, 108 et 122
- Lot 11_{CHVT} -C : Baies 121, 119, 117, 115, 113, 111, 109, 107

Création de ventilation basse en appui de baie :

Façon d'un système d'aération et de récolte des eaux de condensation par ventilation basse en appui. Protection par bavette en plomb, comprenant :

- Plans d'exécution et fourniture d'un prototype pour accord préalable de l'ACMH.
- Pose du panneau bas en appui sur barlotière basse.
- Création de ventilation basse par retaille et ou façonnage de rejingot par cornière. Coordination avec le lot 04_{CHVT} - Maçonnerie/Pierre de taille pour la retaille des ouvrages en pierre.
- Protection de l'appui ventilé par couvrement en plomb e= 2.5 mm compris fourniture, façonnage et pose.

Localisation – prescription spécifique :

- Lot 11_{CHVT} A : Baies 110 et 102

- Lot 11_{CHVT} -B : Baies 105, 103, 101 ; 104, 106, 108 et 122
- Lot 11_{CHVT} -C : Baies 121, 109, 107

Repose des panneaux de vitraux et de leurs armatures fixes et mobiles :

- Transport sur site des panneaux de vitraux et leurs armatures précédemment restaurés en atelier, compris la protection pendant toute la durée du transport depuis l'atelier, toutes manutentions et le coltinage à pied d'œuvre.
- Repose des armatures fixes, compris réglages, implantations, tous tracés, pré scellements et scellements. Coordination avec le lot04 CHVT - Maçonnerie/Pierre de taille pour les trous de réservation.
- Repose des panneaux de vitraux et des armatures mobiles, à l'identique de l'existant. Mastic de pose teinte au choix ACMH.
- Repose sur barlotière basse des panneaux en appui pour la ventilation et la condensation, en coordination avec le lot 04CHVT - Maçonnerie/Pierre de taille.
- Calfeutrement périphérique de l'ensemble, au mortier de chaux, teinte harmonisée aux parements pierre, selon présentation échantillon à l'ACMH.
- Nettoyage de livraison.

Localisation – prescription spécifique :

Base :

- Lot 11 CHVT -A : Baies 110 et 102
- Lot 11 CHVT -B : Baies 105, 103, 101 ; 104, 106, 108 et 122
- Lot 11 CHVT -C : Baies 121, 109, 107

Option :

- Lot 11 CHVT -C : Autres panneaux :
 - Baies 23, 24, 37, 38, 142, 141 : 1 panneau rectangulaire chaque
 - Baies 130, 132, 134, 136, 138, 140 : 2 écoinçons chaque

Dossier des Ouvrages Exécutés, suivant Manuel vitrail

- Le Dossier sera conforme au Manuel du vitrail
- De Type :
 - Dossier élaboré : toutes les baies à vitrail ornemental peint non figuratif.
 - Dossier de base : toutes les baies à vitrail losangé (vitrail sans décor et sans peinture).

Localisation – prescription spécifique :

Base :

- Lot 11_{CHVT} -A : Baies 120, 118, 116, 114, 112, 110 et 102.
- Lot 11_{CHVT} -B : Baies 105, 103, 101, 104, 106, 108 et 122.
- Lot 11_{CHVT} -C : Baies 121, 119, 117, 115, 113, 111, 109, 107.

Option :

- Lot 11_{CHVT} -C : Autres panneaux : Baies 23, 24, 37, 38, 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 141.

Lot 18_{CHVT} CONTROLES LABORATOIRE (Prélèvements - Analyses)

Rappel des localisations des marchés :

Lot 18_{CHVT} – Marché unique

Contrôle de dessalement

PM : toutes les opérations de dessalements sont assurées, quel que soit le type de support, sont à la charge du lot 06CHVT – Restauration de sculpture

- **Travaux préalables**

- Analyses préalables :
 - Caractérisation (porosimétrie) des principales pierres et principaux mortiers existants en complément des données connues issues des opérations précédentes ;
 - Identification et quantification des sels solubles sur pierre et mortier contaminés par les sels ;
- Proposition d'un traitement en conservation des parements dégradés par les sels, sur la base des résultats issus des test conduits avec le LRMH et du retour d'expérience du chantier de Reconstruction de la cathédrale suite à l'incendie du 15 avril 2019 et des résultats des analyses décrits ci-avant ;
- Dans les cas où les compresses issues des chantiers tests réalisés dans les phases de chantier précédentes ne seraient pas satisfaisantes, assistance à la définition de formulation des compresses de dessalement, compris :
 - La proposition de 5 formulations de compresses par le lot 06 – Restauration de sculpture, sur conseils du présent lot ;
 - La réalisation, par le présent lot, d'une batterie de mesures et analyses pour chaque formulation de compresses proposées

- **Contrôle des parements après intervention de dessalement**

- Contrôle des opérations de dessalement réalisées par le lot 06CHVT – Restauration de sculpture par prélèvements à 3 profondeurs des pierres et mortiers après chaque fin de cycle de traitement ;
- Etablissement d'un rapport de présentation, d'analyse et d'interprétation des résultats avec préconisation d'intervention selon l'état de dessalement et de conservation des parements par zone et typologie d'altération ;
- En cas d'évolution/résultats non satisfaisant, interruption du protocole et proposition de solution alternative
- En fin d'intervention, rebouchage des trous occasionnés par le prélèvement au mortier de chaux (en coordination avec le lot 04 CHVT pour choix de la formulation et à soumettre à la validation de l'ACMH.)

- **Fin d'opération**

- Etablissement d'un rapport de synthèse.

• • •



CATHÉDRALE
NOTRE-DAME DE PARIS

TRAVAUX DE RESTAURATION
POST 2024



ANNEXE : NOMENCLATURE DES ESPACES

DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES

Restauration du chevet

Février 2025



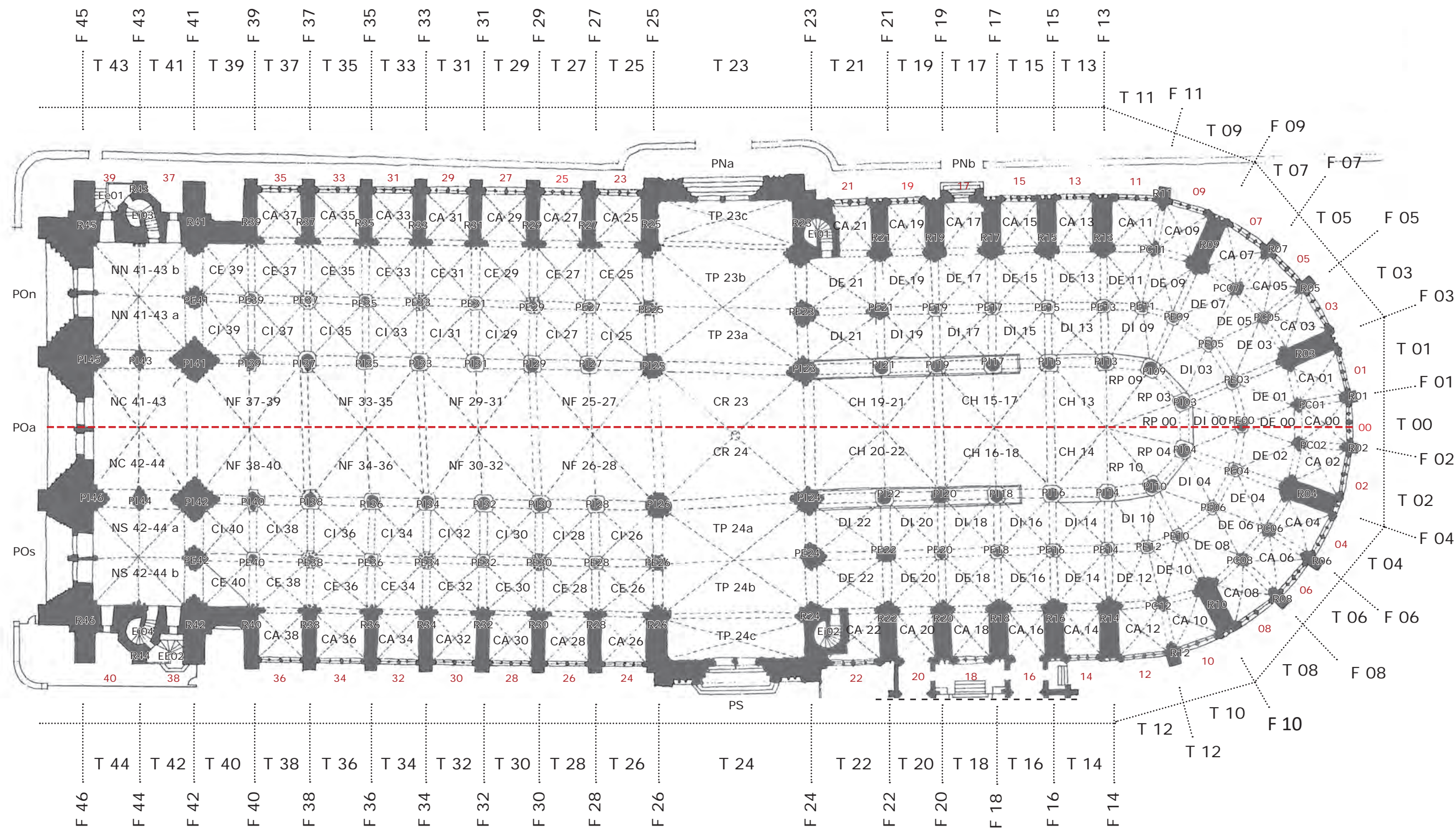
Maîtrise d'Ouvrage :

ETABLISSEMENT PUBLIC CHARGE DE
LA CONSERVATION ET DE LA
RESTAURATION DE LA CATHEDRALE
NOTRE-DAME DE PARIS

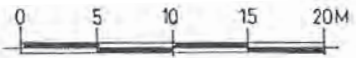


Maîtrise d'Œuvre : A.C.M.H.

Philippe VILLENEUVE
Rémi FROMONT



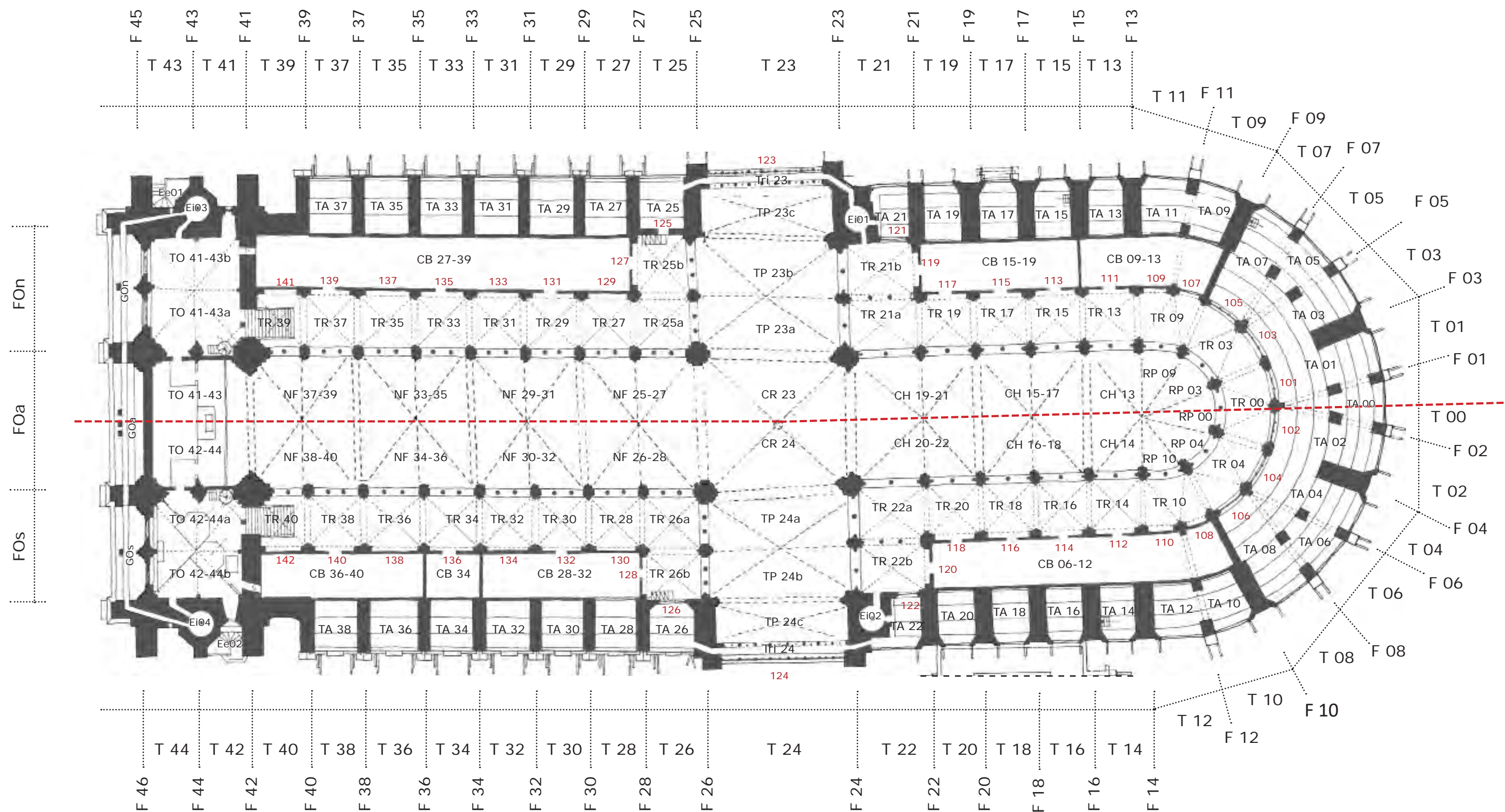
Fonds de plan : agence Benjamin Mouton, ACMH



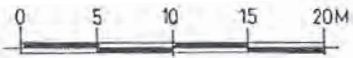
75 - CATHEDRALE NOTRE-DAME DE PARIS										NOM	
ETUDE D'EVALUATION à la suite de l'incendie du 15 avril 2019										A	
PHILIPPE VILLENEUVE - REMI FROMONT - PASCAL PRUNET										Ech. 1/500	
ARCHITECTES EN CHEF DES MONUMENTS HISTORIQUES										Juin 2020	

CA	Chapelle	DI	Déambulatoire int.	NC	Narthex central	PO	Portail ouest	R	Refend
CI	Collatéral int.	DE	Déambulatoire ext.	NN	Narthex nord	PS	Portail sud	RP	Rond-point
CE	Collatéral ext.	Ei	Escalier intérieur	NS	Narthex sud	PA	Pile chapelle	TP	Transept
CH	Choeur	F	File	NF	Nef	PI	Pile intérieure	T	Travée
CR	Croisée	FO	Façade ouest	PN	Portail nord	PE	Pile extérieure	00	Vitraux

Nomenclature des espaces
Plan de rez-de-chaussée



Fonds de plan : agence Benjamin Mouton, ACMH



CB	Combles	F	File	PI	Pile intérieure	TP	Transept	00	Vitraux
CH	Choeur	FO	Façade ouest	PE	Pile extérieure	TO	Tribune ouest		
CR	Croisée	GO	Galerie des rois	R	Refend	TR	Tribune		
Ei	Escalier int.	NF	Nef	RP	Rond-point	Tri	Triforium		
Ee	Escalier ext.	PA	Pile chapelle	TA	Terrasse	T	Travée		

75 - CATHEDRALE NOTRE-DAME DE PARIS

ETUDE D'EVALUATION à la suite de l'incendie du 15 avril 2019



PHILIPPE VILLENEUVE - REMI FROMONT - PASCAL PRUNET
ARCHITECTES EN CHEF DES MONUMENTS HISTORIQUES

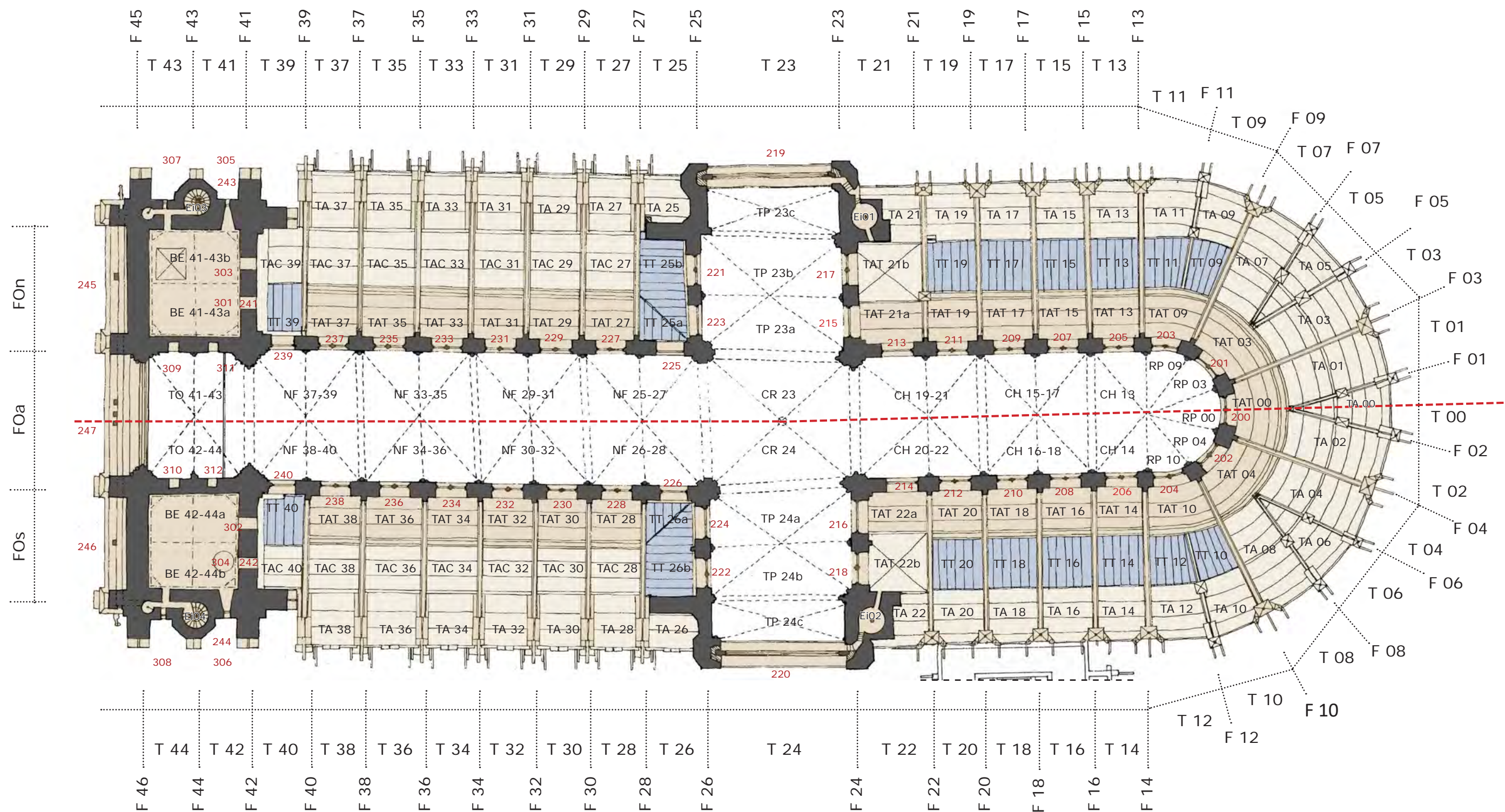
Nomenclature des espaces

Plan des tribunes

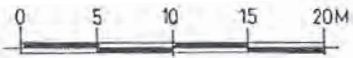
NOM
B

Ech. 1/500

Juin 2020



Fonds de plan : agence Benjamin Mouton, ACMH



BE	Beffroi	FO	Façade ouest	TAC	Terrasse sur combles
CH	Choeur	NF	Nef	TP	Transept
CR	Croisée	RP	Rond-point	T	Travée
Ei	Escalier int.	TA	Terrasse	TT	Toiture
F	File	TAT	Terrasse sur tribune	OO	Vitraux

75 - CATHEDRALE NOTRE-DAME DE PARIS

ETUDE D'EVALUATION à la suite de l'incendie du 15 avril 2019



PHILIPPE VILLENEUVE - REMI FROMONT - PASCAL PRUNET
ARCHITECTES EN CHEF DES MONUMENTS HISTORIQUES

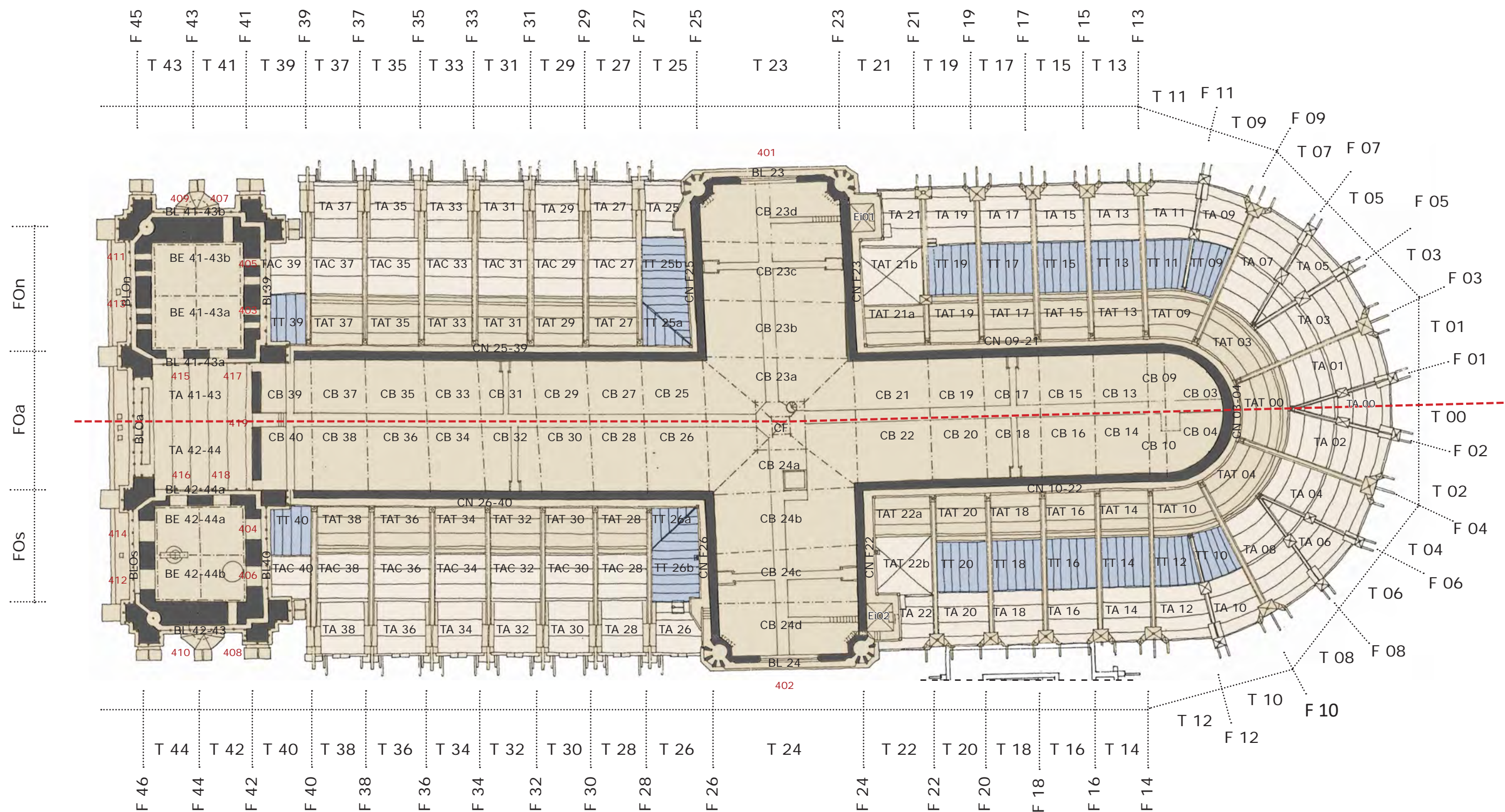
Nomenclature des espaces

Plan des terrasses

NOM
C

Ech. 1/500

Juin 2020



Fonds de plan : agence Benjamin Mouton, ACMH



BE Beffroi
BL Balcon
CB Combes
CF Charpente flèche

CN Cheneau
Ei Escalier int.
F File
FO Façade ouest

TA Terrasse
TAT Terrasse sur tribune
TAC Terrasse sur combes
T Travée

TT Toiture
00 Vitraux

75 - CATHEDRALE NOTRE-DAME DE PARIS

ETUDE D'EVALUATION à la suite de l'incendie du 15 avril 2019

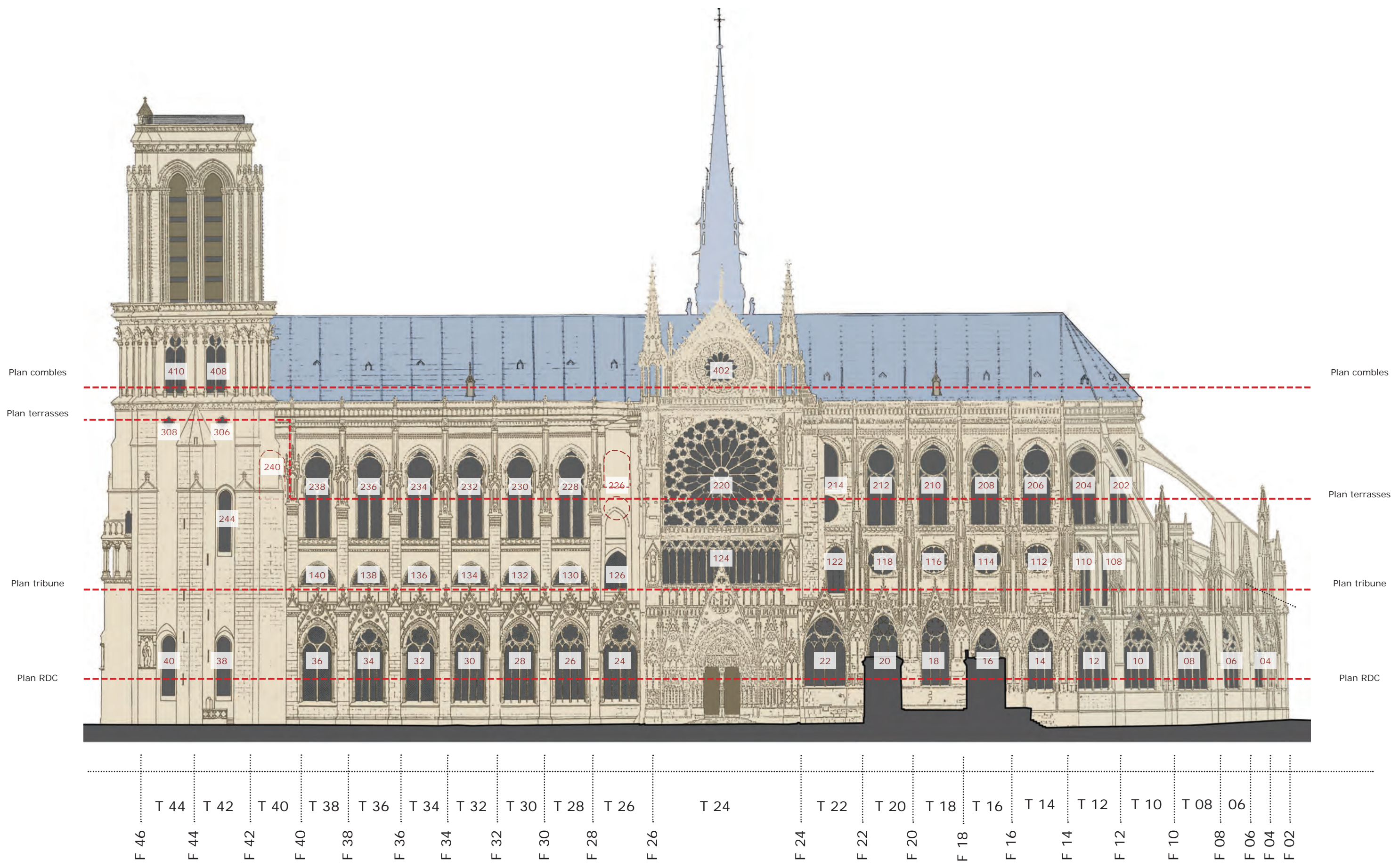
PHILIPPE VILLENEUVE - REMI FROMONT - PASCAL PRUNET
ARCHITECTES EN CHEF DES MONUMENTS HISTORIQUES

Nomenclature des espaces
Plan des combes

NOM
D


Ech. 1/500

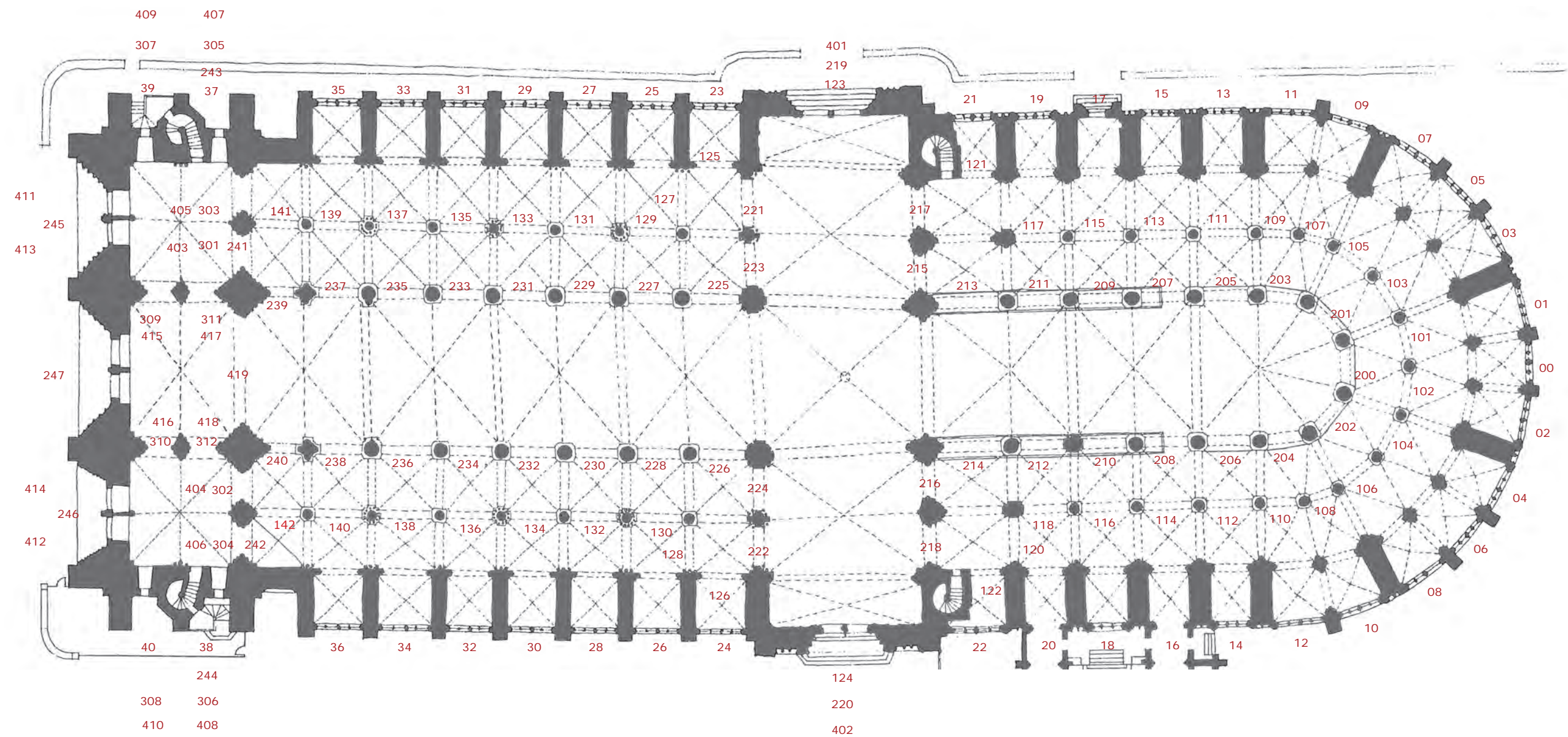
Juin 2020



Fonds de plan : agence Benjamin Mouton, ACMH




00 Vitraux	75 - CATHEDRALE NOTRE-DAME DE PARIS		Nomenclature des espaces Façade Sud	NOM
	ETUDE D'EVALUATION à la suite de l'incendie du 15 avril 2019			E
	 PHILIPPE VILLENEUVE - REMI FROMONT - PASCAL PRUNET			Ech. 1/500
	ARCHITECTES EN CHEF DES MONUMENTS HISTORIQUES			Juin 2020



Fonds de plan : agence Benjamin Mouton, ACMH



00 Vitraux	75 - CATHEDRALE NOTRE-DAME DE PARIS		Nomenclature des espaces Numérotation des verrière	NOM
	ETUDE D'EVALUATION à la suite de l'incendie du 15 avril 2019			F
	 PHILIPPE VILLENEUVE - REMI FROMONT - PASCAL PRUNET ARCHITECTES EN CHEF DES MONUMENTS HISTORIQUES			Ech. 1/500
				Juin 2020