

CATHÉDRALE
NOTRE-DAME DE PARIS

TRAVAUX DE RESTAURATION
POST 2024



C.C.T.P – LOT 18_{PH3a}
CONTRÔLES LABORATOIRE
(Prélèvements -Analyses)

DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES PH3-SO1

Phase 3a

Novembre 2025



Maîtrise d'Ouvrage :
ETABLISSEMENT PUBLIC CHARGÉ DE
LA CONSERVATION ET DE LA
RESTAURATION DE LA CATHÉDRALE
NOTRE-DAME DE PARIS



Maîtrise d'Œuvre : A.C.M.H.
Philippe VILLENEUVE
Rémi FROMONT

SOMMAIRE :

01.	DEFINITION DU PRESENT LOT	2
02.	NORMES ET RÈGLEMENTS	5
03.	CLAUSES PARTICULIERES	
	CONTRÔLE DE DESSALEMENT.....	6
03.01	GENERALITES	6
03.02	PRIX UNITAIRES	9
03.03	ANALYSES PRELIMINAIRES DES PAREMENTS	10
03.04	CONTROLE DES PAREMENTS APRES INTREVENTION DE DESSALEMENT	12
04.	CLAUSES PARTICULIERES	
	CONTRÔLE DE COMPOSITION D'OUVRAGES EN PLOMB NEUFS.....	14
04.01	GENERALITES	14
04.02	RECHERCHE ET COMPOSITION DES ÉLÉMENTS NEUFS EN PLOMB.....	15
05.	DOSSIERS DE FIN DE TRAVAUX - DOE.....	17
06.	NOTE FINALE :.....	18

ANNEXES

- A1.** Allotissement général des opérations phase 3 "Restauration post 2024"
- A2.** Plans des ouvrages en plomb restant à restaurer

-O-O-O-O-

01. DEFINITION DU PRESENT LOT

Le présent Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) a pour objet de définir les modalités d'exécution des ouvrages du **Lot n°18 PH3a – CONTRÔLES LABORATOIRE (Prélèvements – Analyses)**, comprenant :

- le contrôle de l'exécution des travaux de dessalement des maçonneries de Pierre de Taille, réalisés par les lots 06 - Restauration de sculpture.
- le contrôle des fournitures d'éléments neufs en plomb, réalisés par les lots 09 - Couverture plomb

Contexte d'intervention :

Le 16 septembre 2025 était prononcée la réception globale de l'opération de « Reconstruction de la cathédrale Notre-Dame de Paris suite à l'incendie du 15 avril 2019 » qui permet de réparer tous les dégâts provoqués par le sinistre et d'aboutir à la réouverture au public du rez-de-chaussée de la cathédrale et du trésor le 8 décembre 2024 et à l'inauguration du nouveau parcours de visite des tours (CMN) le 19 septembre 2025.

Pour autant, de nombreux travaux sont encore nécessaires pour garantir le parfait achèvement de la parfaite restauration de l'ensemble cathédral, la cathédrale, la sacristie ou encore le presbytère souffrant, et ce, bien avant l'incendie, des dégâts causés par le temps.

La majorité concernent les élévations extérieures de ces édifices, qu'il s'agisse des parements courants en pierre de taille, des organes de stabilité structurels (arcs-boutants, culées, etc.), ou encore des ornements et décors sculptés en pierre, ainsi que les couvertures (plomb, dalles de pierre, etc.).

Dans cet objectif, l'Établissement Public souhaite poursuivre, dans la continuité directe du chantier de Reconstruction, une nouvelle phase de travaux dite « Phase 3 « Restauration « Post 2024 » de la cathédrale Notre-Dame de Paris. Ainsi, entre février et fin septembre 2025, a été menée la restauration des élévations des murs gouttereaux du vaisseau principal du chœur, prémices, de l'opération d'ampleur de restauration du chevet qui a démarré à l'été de cette même année, pour une durée de 3 ans.

A ce jour, un schéma directeur a été établi en octobre dernier par la maîtrise d'œuvre à l'attention de la maîtrise d'ouvrage afin d'aider cette dernière à la programmation des opérations à engager dans les années à venir. Dans les priorités, se distingue la restauration extérieure de sacristie. Celle-ci devrait s'engager courant 2026.

Pour mémoire :

Phase 1 : Sécurisation de la cathédrale Notre-Dame de Paris suite à l'incendie du 15 avril 2019

Phase 2 : Reconstruction de la cathédrale Notre-Dame de Paris suite à l'incendie du 15 avril 2019

Phase 3 : Restauration « Post 2024 » de la cathédrale Notre-Dame de Paris

Définition du cadre d'intervention :

Le présent marché a pour objectif d'accompagner l'ensemble des opérations de restauration de l'ensemble cathédrale engagées (restauration du chevet notamment) ou qui serait susceptibles de l'être pendant la durée de l'accord cadre du titulaire, dans le cadre de la phase 3 - « Restauration « Post 2024 » de la cathédrale Notre-Dame de Paris ».

Contenu de la mission et objectifs :

L'objet du présent lot consistera en un accompagnement technique à la maîtrise d'œuvre et aux entreprises dans le cadre d'une mission de contrôle par prélèvements et analyses en laboratoire concernant :

- Des opérations de dessalement sur maçonneries extérieures ;
Au-delà de l'identification et du contrôle des sels solubles dans les maçonneries, cette mission permettra une assistance à la maîtrise d'œuvre pour :
 - La définition et le contrôle des moyens de l'opération de dessalement (par compresses, sur la base des chantiers tests conduits en partenariat avec le LRMH), compris les compléments de prélèvements et analyses nécessaires à la réalisation de cette mission ;
 - Les décisions de poursuivre les opérations de dessalement jusqu'à ce que l'état de l'épiderme des parements soit considéré comme assaini et dans des conditions de conservation satisfaisantes.
- Un contrôle de la qualité des plombs de fabrication, à effectuer durant les différentes phases du chantier, à la fois en atelier et in situ.

Cette mission de contrôle sera confiée à un laboratoire ayant des compétences et des références dans le cadre de travaux de ce type et d'interventions sur des monuments historiques.

Emprise des travaux :

- **Contrôle de dessalement du présent lot :**
Ensemble des espaces extérieurs de la cathédrale, de la sacristie et du presbytère, selon opérations engagées pendant la durée de l'accord cadre, en accompagnement et contrôles des lots 06 – Restauration de sculpture en charge du dessalement.
- **Contrôle de la qualité des plombs de fabrication :**
Ensemble des ouvrages en plomb de la cathédrale, de la sacristie et du presbytère, selon opérations engagées pendant la durée de l'accord cadre, en contrôle des fournitures des lots 09 – Couverture plomb.

Préconisation générale de travaux :

- **Travaux préparatoires :**
 - Prescriptions techniques d'acheminement du matériel (entrées, remaniements, sorties),
 - Protocoles d'actions à mettre en œuvre et à respecter rigoureusement (et cela tâche après tâche et suivant le phasage et l'avancement des travaux).
- **Analyses préalables aux opérations de dessalement**
 - Visite préalable avec la MOE sur les différentes zones d'intervention ;
 - Analyses préalables prélèvements de pierre et de mortiers de jointoiement et de pose non encore caractérisés (mesures de la distribution porale des supports, etc.) ;
 - Identification et quantification des sels solubles sur pierre et mortier contaminés par les sels ;
 - Assistance, lorsque nécessaire, à la définition de la formulation des compresses de dessalement.

- **Travaux en accompagnement des lots 06 – Restauration de sculpture, en charge des opérations de dessalement sur les parements maçonnés (droits, voussurés, moulurés et sculptés) :**
 - Confirmation du programme de prélèvements-analyses avec la MOE ;
 - Prélèvements et analyses après chaque cycle de dessalement. Nombre de cycle jusqu'à obtention du résultat souhaité ;
 - Rapport de synthèse après chaque phase d'analyse et rapport final de recollement à établir par opérations de restauration.
- **Travaux d'accompagnement des lots 09 – Couverture plomb :**
 - Visite préalable avec la MOE en atelier de fabrication de l'entreprise,
 - Confirmation du programme de prélèvements-analyses avec la MOE,
 - Au préalable, essais de vieillissement accéléré (protocole à définir en partenariat avec l'ACMH et le LRMH) de la nuance de plomb sélectionnée par l'entreprise en charge du lot 09 ;
 - Durant le délai global des opérations, Contrôle de la composition des plombs fournis par méthode spectrométrique de type LA-ICPMS ou LIBS, dans les ateliers des lots 09 – Couverture plomb ainsi que sur le chantier - Participation au suivi du planning
 - Rapport de synthèse après chaque phase d'analyse et rapport final de recollement à établir par opérations de restauration.
- **Participation à des réunions de travail / chantier**
 - Selon besoin des chantiers, sur la durée de l'accord cadre.
- **Documents contractuels de suivis et de fin d'opération.**

Moyens d'accès :

Lors des interventions sur site, le titulaire du présent lot emploiera les moyens d'accès présents sur site, prévus dans le cadre des marchés travaux des opérations concernés (soit par les lots 03-Echafaudages, soit les compléments mis en place par les lots faisant l'objet des prestations de contrôle), après signatures des conventions d'utilisation adéquates.

Contraintes d'intervention sur le chantier

Les prestations réalisées dans le cadre de ce marché ne sont pas considérées comme génératrices d'une exposition au plomb de part de leur nature mais sont assujetties à la contrainte plomb du chantier du fait de leur contexte d'exécution (forte coactivité sur le site et présence d'une pollution résiduelle au plomb sur les maçonneries en pierre de taille après les travaux de nettoyage).

De ce fait, l'entreprise prendra connaissance de l'additif plomb au Cahier des Clauses Techniques Communes et renseignera son bordereau des prix veillant à intégrer dans les prix l'incidence plomb en termes d'EPI spécifiques, suivi médical et formation du personnel, temps d'habillage/déshabillage et douches obligatoires.

-O-O-O-O-

02. NORMES ET RÈGLEMENTS :

Les études et travaux seront exécutés conformément aux prescriptions des D.T.U. qui les concernent, aux Normes et Règlements, avec leurs additifs, mémentos, rectificatifs, commentaires et erratum(s) en vigueur à la date de la signature du Marché.

Et notamment, sans que l'énumération ci-dessous soit limitative :

- **Normes françaises publiées par l'Afnor,**
- **Documents Techniques Unifiés,**
- **Les Eurocodes,**
- **Les règles de calculs,**
- **La réglementation incendie en vigueur pour ce type d'Etablissement (arrêtés et circulaires),**
- **La dernière Réglementation Amiante en vigueur.**

Liste non exhaustive et documents dans leurs dernières rédactions au moment de la passation des marchés.

Documents Divers :

(Établis dans leurs dernières versions au moment des passations de marchés)

Ensemble des documents cités au CCTC (« documents techniques de référence) et au CCTC – Additif Plomb et Amiante (« Diagnostics réglementaires »)

En conséquence tout ce qui précède, l'entrepreneur s'engage à prendre connaissance de tous les fascicules ainsi que des plans et documents d'ensemble des pièces de référence (C.C.A.G. - C.C.A.P. - C.C.T.P.) dont les prescriptions ont valeur contractuelle. De ce fait aucun argument, pour justifier de sa part des erreurs ou omissions éventuelles concernant l'exécution des ouvrages qui lui seront confiés, ne sera recevable.

-O-O-O-O-

03. CLAUSES PARTICULIERES – CONTRÔLE DE DESSALEMENT

Note Préliminaire :

L'entrepreneur doit l'ensemble des prestations liées à la bonne exécution des travaux de son lot, il ne saurait se prévaloir de la non-exhaustivité des descriptions des articles ci-après.

Les ouvrages seront réalisés en étroite collaboration entre chaque corps d'état missionné par cette opération, et plus particulièrement avec les lots 04 – Maçonnerie/Pierre de taille et 06 - Restauration de sculpture.

L'entreprise doit étudier avec soin les pièces remises, s'entourer de tous les renseignements pour ce qui pourrait lui paraître douteux et visiter les lieux où doivent s'effectuer les travaux. Les solutions techniques qui ont été retenues, devront être vérifiées par l'entrepreneur adjudicataire. Il appartient alors à l'entreprise de présenter, avant la remise des prix, toutes observations ou suggestions qu'elle jugera utile quant aux dispositions du projet et à la solution technique retenue. Le fait de soumissionner constitue un engagement à respecter ladite conception et les diverses prescriptions des documents techniques, en prenant alors l'entière responsabilité des dispositions du projet.

03.01 GENERALITES

- Les étapes du processus de contrôle complet de dessalement sont les suivantes :

(Liste non exhaustive)

Travaux préalables :

- 1) Evaluer la nature des pierres en œuvre ainsi que des mortiers existants à ce jour, et en établir une cartographie
A la charge du MOE et entreprise des lots 04 – Maçonnerie/Pierre de taille et 06 – Restauration de sculpture.
- 2) Evaluer l'état de dégradation des pierres en œuvre ainsi que des mortiers existants à ce jour, et en établir une cartographie
A la charge du MOE et entreprise des lots 04 – Maçonnerie/Pierre de taille et 06 – Restauration de sculpture.
- 3) Etablir ou confirmer les caractéristiques (porosimétrie) des principales pierres et principaux mortiers existants en complément des données connues issues des chantiers test, des opérations de dessalement en cours, et en tant que de besoin.
A la charge du présent lot.
- 4) Effectuer des prélèvements sur site et des analyses en laboratoire pour identifier la nature des sels et quantifier les sels solubles responsables de l'altération des parements (contaminations salines des pierres et des mortiers).
A la charge du présent lot.
- 5) Proposer un traitement en conservation des parements dégradés par des sels solubles, sur la base des résultats des chantiers tests précédemment conduits sous la direction du LRMH et le retour d'expérience du chantier de Reconstruction de la cathédrale suite à l'incendie du 15 avril 2019.
A la charge du présent lot.
- 6) Evaluer l'altération surfacique après la purge et le brossage des supports en parement.
A la charge du présent lot, en coordination étroite avec les lots 04 – Maçonnerie/Pierre de taille et 06 – Restauration de sculpture.

- 7) Identifier les différentes options de compresses de dessalement compatibles avec les supports à traiter, qu'elles soient formulées par les entreprises, ou disponibles dans le commerce sous forme de produits prêts à l'emploi. Les modalités précises d'analyse seront établies au cas par cas en relation avec le LRMH.

A la charge du présent lot.

- 8) Evaluer les traitements in-situ (vitesse et aisance d'application/retrait, taux de résidus, modalités et faisabilité des post traitements (privilégier le brossage à sec, envisager une application de badigeon ou pelable latex non chargé en agents complexant dans certains cas).

A la charge du présent lot.

- 9) Résultats avant intervention.

A la charge du présent lot.

Puis :

- 10) Travaux à proprement dits de dessalement, à savoir (donné à titre informatif) :

A la charge des lots 06 - Restauration des sculptures

- Identification avec l'Architecte en Chef des Monuments Historiques des zones à traiter ;
- Relevés des zones de dégradation évolutives ;
- Purge de tous les joints situés sur les zones impactées par efflorescences salines ;
- Brossage et humidification des parements ;
- Dessalement proprement dit, en collaboration avec le titulaire du présent lot ;
- Application manuelle ou en projection de produits sous forme de compresses adaptées à la porosité des supports ;
- Deux, voir trois applications / cycles de dessalement seront nécessaires selon le cas et la résistance des pathologies salines à traiter,
- Séchage, retrait des produits à la fin de chaque cycle,
- Brossage de fin de travaux avec aspiration des parements traités,
- Pour mémoire : rejointoiement de finition au mortier de chaux, à la charge des lots 04 - Maçonnerie/Pierre de taille.

Pour information : les opérations de dessalement ne seront conduites qu'après nettoyage des parements (aspiration, brossage, application de compresses ou latex, etc.).

- 11) Contrôle des travaux de dessalements ci-dessus.

A la charge du présent lot.

- 12) Réalisation de nouveaux cycles de dessalement jusqu'à obtention d'un résultat satisfaisant.

A la charge des lots 06 - Restauration des sculptures

Compris contrôle en fin de chaque cycle.

A la charge du présent lot.

OU

Interruption du protocole et proposition de solution alternative si évolution non satisfaisante. *A la charge du présent lot.*

• **Type de parements concernés :**

Maçonneries touchées par la migration des sels et la présence d'humidité en profondeur sur les parements extérieurs, que cela soit sur parements droits ou voussurés, qu'ils soient unis, moulurés ou, sculptés ou sur des décors sculptés.

- **Généralités à respecter pour tous les prélèvements à la charge du présent lot :**

Les prélèvements sont réalisés avec soin, adaptés au contexte patrimonial et réalisés conformément à la norme NF EN 16085. Ils sont soumis à l'accord du maître d'œuvre et du LRMH.

Ils se présenteront sous la forme de poudres obtenues après perforations qui seront étiquetées et localisées sur plans, avec précisions, pour chacun, de la nature des prélèvements (poussières, écailles, autres, etc...) et de la manière dont ils auront été réalisés (outils, etc.)

Ces prélèvements se feront par perçages successifs de diamètre 8 mm en trois profondeurs de prélèvements seront systématiquement prévues :

- 0-5 mm
- 10-15 mm
- 40-50mm

A la demande de l'ACMH, les profondeurs investiguées pourront être modifiées (selon les cas de figures (pathologies, nature des compresse utilisées, etc.)).

Si la surface du lieu de prélèvement est significativement dégradée (desquamation/désagrégation granulaire), prélever délicatement les tout premiers millimètres de matériau superficiel pour caractérisation minéralogique par diffractométrie de rayons X. Cette étape permet dans bien des cas d'identifier la nature minéralogique des sels directement responsables de l'altération en surface.

- o Pour éléments de parement en pierre ou mortier affectés de desquamations, pulvérulences...
- o Pour éléments de maçonnerie interne formant hourdage,
- o Pour éléments de joints en élévations (largeur, épaisseur, profondeur, nature, etc.), surtout au contact des voûtes hautes et murs gouttereaux.

Les trous occasionnés seront rebouchés par le laboratoire du présent lot au mortier de chaux, en coordination avec les lots 04 – Maçonnerie/Pierre de taille et 06 – Restauration de sculpture.

- **Généralités concernant les rapports à rédiger par le présent lot :**

L'ensemble des études effectuées par le laboratoire du présent lot en collaboration des lots 06 – Restauration de sculpture fera l'objet de rapports intermédiaires de suivi, destinés à la maîtrise d'œuvre, au LRMH et aux diverses entreprises, (par campagne de prélèvements et d'analyses) - édition de rapports d'analyses illustrés en 4 exemplaires dont 1 exemplaire sous forme numérique.

Ces rapports, à réaliser par zones, présenteront les études et synthèses avec interprétations des résultats, compris :

- La méthodologie complète mise en œuvre / Dossier technique.
- Le descriptif des examens effectués in situ, compris localisation sur plans (description des prélèvements, tels que décrit au point précédent (identification, report sur plan, nature du prélèvement, etc.), etc.
- Le bilan quantitatif des surfaces traitées et du nombre de cycles d'application des compresse dans le cadre des situations des entreprises.
- Les rapports de laboratoires et d'essais sur les produits employés, (description des analyses réalisées (méthodes, outils employés, délais, etc.).
- Les résultats détaillés (compris cartographie - report sur plans) assortie d'une synthèse des analyses.

- L'exposition des résultats avec rappels des seuils pathogène par nature de pierre, mortier, par type de sel, évaluation pondérale du degré d'assainissement et représentation graphique de l'évolution de la conductivité des compresses.
- L'interprétation des résultats.
- L'ensemble des solutions à apporter aux différentes pathologies rencontrées (efflorescences et dégradations de type alvéolisation, desquamation, pulvérulence, occasionnées par la cristallisation de sels solubles, expansifs, hygroscopiques) / Préconisations en termes de dessalement.
- Les conclusions relatives à l'efficacité, l'innocuité et la durabilité des traitements effectués par les entreprises des lots 06 – Restauration de sculpture et le présent lot.
- Un dossier photographique (in situ).
- Tous documents à la demande de l'ACMH et du LRMH.

Pour chaque zone, il est demandé la rédaction, à minima d'un rapport sur les analyses synthétiques, puis par cycle de dessalement.

A prévoir avec prescription spécifique et localisation :

Inclus dans l'offre de prix.

03.02 PRIX UNITAIRES

Les prix unitaires indiquées au BPU « zones » du présent Lot comprendront, par zone d'intervention, l'ensemble des prestations nécessaires à la réalisation des prestations concernées telles que décrites dans l'article 04, compris :

- Les interventions sur site ;
- Les analyses en laboratoire ;
- L'amenée et le coltinage jusqu'à pied d'œuvre du matériel nécessaire à la réalisation des prélèvements, compris le repli du matériel et l'acheminement des prélèvements en laboratoire ;
- La rédaction de rapport après chaque campagne d'analyse ;
- Le rebouchage des trous occasionnés par les prélèvements ;
- La participation aux réunions de chantier.

Sont concernés les postes :

• **« Analyses préliminaires des parements »**

Chaque « zone » du BPU comprend :

- Toutes les analyses, autant que de besoin, permettant la caractérisation des parements à traiter, compris la caractérisation porale des pierres et mortiers et la définition de la teneur en eau des parements ;
- L'identification et quantification des sels solubles sur pierre et mortier contaminé
 - o 3 prélèvements à chaque cycle :
 - Sur pierre dégradée,
 - Sur mortier dégradé (joints de hourdage ou de finition selon choix de l'ACMH),
 - Sur pierre apparemment saine, en limite de zone dégagée.
 - o Pour chaque prélèvement, 3 profondeurs.
- Contrôle des compresses proposées par les lots 06 – Restauration de sculpture.

- **« Contrôle des parements après intervention de dessalement »**

Chaque « zone » du BPU comprend :

- 3 prélèvements à chaque cycle :
 - Sur pierre dégradée,
 - Sur mortier dégradé (joints de hourdage ou de finition selon choix de l'ACMH),
 - Sur pierre apparemment saine, en limite de zone dégagée.
- 1 temps de prélèvement et analyse après chaque cycle de dessalement sur la base d'une hypothèse moyenne de 2 cycles de dessalement – Soit 2 temps de prélèvements
- Pour chaque prélèvement, 3 profondeurs.

03.03 **ANALYSES PRELIMINAIRES DES PAREMENTS**

- **Prise en charge des existants - Constat des lieux :**

Examen général du site et choix de l'implantation des prélèvements de pierres et de mortiers à exécuter (en collaboration des lots 04 – Maçonnerie/Pierre de taille et 06 – Restauration de sculpture et du présent lot).

Au préalable, afin d'appréhender les lieux :

- Observations et relevés (zones de dégradation des parements et d'efflorescences salines) en étroite collaboration avec les titulaires des lots 04 – Maçonnerie/Pierre de taille et 06 – Restauration de sculpture ;
- Identification des matériaux avec premières conclusions, (mesures in-situ).
- Réalisation de cartographies des matériaux et dégradations correspondant à ces premiers examens qui seront à reproduire sur les plans, coupes et élévations selon leurs impacts, à présenter en annexes de toutes les premières investigations à l'Architecte en Chef des Monuments Historiques pour approbation.

Ensemble à fournir dans le premier rapport, concernant les analyses préliminaires.

- **Analyses préliminaires des parements avant traitement comprenant :**

- Tous les prélèvements avant les travaux TCE (et notamment des lots 04 – Maçonnerie/Pierre de taille et 06 – Restauration de sculpture) de pierre et de mortier, à 3 profondeurs.

Prélèvements à réaliser pour la recherche des sels solubles qui affectent les pierres en œuvre, sur :

- Pierres saines pour échantillonnage de référence ;
 - Pierres dégradées ;
 - Mortiers de joint, de ragréage, de pose.
- La fourniture, les transports et les coltinages du matériel et des échantillons en laboratoire (leurs protections, leurs conditionnements, etc...) ;
- La protection du personnel : EPI adaptés au contexte de contamination résiduel de l'environnement (plomb émissif), etc. ;
- La caractérisation porale en laboratoire des pierres et mortiers pour définir le type de compresse de dessalement adapté – Plus particulièrement sur supports sur lesquels cette caractéristique n'a pas été mesurées préalablement ;
- La définition de la teneur en eau des parements (après brossage et aspiration) : 40-50 mm (profondeur) ;

- L'identification et la quantification des sels solubles.
 - o Anions (chlorures, sulfates et nitrates) et cations (calcium, magnésium, sodium et potassium)
 - o Si besoin et au cas par cas, d'autres cations/anions pourront être recherchés (gluconates/EDTA, ammonium...)
 - o Seuils pathogènes selon les sels solubles et les matériaux contaminés (pierre, mortier...)

Types d'analyse (non exhaustif) :

- o Analyse qualitative de poudre par diffraction des rayons X,
- o Par chromatographie ionique et spectrométrie d'émission atomique selon la norme NF EN 16455 sur extraction aqueuse,
- o Observations de fractures au microscope électronique à balayage couplé à l'analyse qualitative élémentaire par spectrométrie X à dispersion d'énergie,
- o Identification du spectre poral par intrusion de mercure
- La caractérisation des différentes options de compresses de dessalement, qu'elles soient formulées par les entreprises, ou disponibles dans le commerce sous forme de produits prêts à l'emploi.
 - o Détermination de la conformité des compresses au cahier des charges émis par la maîtrise d'œuvre et suivant les préconisations du LRMH (définition des compresses de dessalement compatibles avec les supports selon les natures de pierre et de mortier et les résultats des analyses décrites ci-avant : formulation, épaisseur, mode d'application, temps d'application avant retrait, etc.)
 - o L'entreprise titulaire du présent lot s'appuiera sur les résultats des opérations de dessalements conduites sous le contrôle du LRMH lors des opérations de sécurisation de la cathédrale.
 - o Dans les cas où les compresses issues des chantiers tests ne seraient pas satisfaisantes, l'entreprise titulaire du présent lot devra une assistance pour la formulation de nouvelles compresses.
- Le contrôle des compresses fournies et mises en œuvre par les lots 06 – Restauration de sculpture (vérification de la teneur des sels dans les compresses) ;
- Les études et synthèses avec interprétations des résultats sous forme de rapport,
- Coltinage et la descente des déchets jusqu'aux bennes mises à disposition, à la charge du lot 06
- L'évacuation jusqu'en décharge de tous les déchets est à la charge du maître d'ouvrage.

• **Assistance pour la formulation de compresses adaptées :**

- Pour des types de parements et/ou des natures de pierre et de mortier non analysées lors des précédentes opérations ou pour modification des compresses issues des chantiers tests dans le cas où celles-ci seraient jugées non satisfaisantes.
- La sélection des compresses sera faite à partir de 5 formulations (réalisées par le lot 06 – Restauration de sculpture, sur conseils du présent lot) après réalisation de mesures par le présent lot.

Les modalités précises d'analyse seront établies au cas par cas en relation avec le LRMH.

Mesures attendues (liste non exhaustive) :

- o Capacité de rétention d'eau,
- o Répartition du spectre poral,
- o Coefficient de séchage,

- Retrait au séchage,
- PH,
- Conductivité ionique,
- Teneur en sels solubles.

Pourra également être envisagée :

- Les analyses permettant l'identification de la composition minéralogique des phases cristallisées après mise en suspension dans l'eau et tri des composants selon leur densité.
- Une analyse par spectrométrie infra-rouge à transformée de Fourier d'éventuelles phases organiques, et en cas de besoin une détermination de la microstructure des composants par microscopie électronique à balayage couplée à des analyses de la composition chimique par spectrométrie de rayons X dispersive en énergie.

Dans certains cas, des techniques analytiques complémentaires pourront être mises en œuvre.

- Les essais préliminaires pour le dosage du produit et la formulation de la compresse seront à soumettre au LRMH avant de généraliser l'application sur les parements (prévoir autant d'essais que besoin jusqu'à obtention des résultats souhaités) et les préconisations pour le traitement seront établies en collaboration avec lui.
- La réalisation d'une zone d'essai de performance sur une sélection des deux compresses les plus appropriées. La zone d'essai sera sélectionnée en concertation avec la maîtrise d'œuvre et concernera une zone particulièrement contaminée.
- Evaluation de la performance en deux applications.
 - Mise en œuvre de la compresse par l'entreprise titulaire des lots 06 – Restauration de sculpture sur une fenêtre de 1m² pour évaluation des propriétés d'applicabilités et des propriétés d'adhérence notamment lors de la phase de séchage.
 - Prélèvements par perçages successifs de diamètre 8 mm en trois profondeurs avant et après application de la compresse et prélèvement de compresse sèche sur une fenêtre de 10x10 cm².
 - Sur poudre, dosage des anions (chlorures, sulfates et nitrates) et des cations (calcium, magnésium, sodium et potassium) par chromatographie ionique et spectrométrie d'émission atomique selon la norme NF EN 16455 sur extraction aqueuse y compris mesure des teneurs en eau par dessiccation infrarouge sur site et sur compresse ; mesure de la conductivité spécifique.

Les études et synthèses avec interprétations des résultats sous forme de rapport

A prévoir avec prescription spécifique et localisation :

Pour toutes les opérations Phase 3 « Reconstruction » en cours pendant la durée de l'accord cadre contractualisé avec le titulaire du présent lot :

- Selon implantation définie avec l'ACMH
- Protocole et démarche à suivre et à mettre en place en collaboration avec les lots 06 – Restauration de sculptures, en charge des opérations de dessalement et le présent lot (sous contrôle de la MOE et du LRMH), compris la rédaction d'un rapport.

03.04 CONTROLE DES PAREMENTS APRES INTREVENTION DE DESSALEMENT

Afin de constater l'efficacité du traitement de dessalement des parements, la prestation comprendra, outre les visites d'un ingénieur sur le site :

- L'implantation des prélèvements inchangée sauf zones complémentaires si besoin.

Tous les prélèvements nécessaires (prélèvements d'écaillles superficielles et de poudres de pierre) de pierre et de mortier, à 3 profondeurs (interventions sur site en tant que de besoin et pendant toute la durée de l'opération), de compresses (en phase de dessalement, prélèvement de compresse sèche sur une fenêtre de 10x10 cm²).

Le nombre de prélèvements devra permettre de constater l'efficacité de l'intervention.

Un passage mensuel pour contrôler et analyser la performance des cataplasmes des lots 06 – Restauration de sculpture (performance et rapidité).

- La fourniture, le transport et le coltinage du matériel et des matériaux nécessaires aux prélèvements ;
- La protection du personnel : EPI adaptés au contexte de contamination résiduel de l'environnement (plomb émissif), etc.
- La définition de la teneur en eau des parements (après brossage et aspiration) : 40-50 mm (profondeur) ;
- L'identification et le dosage des sels solubles.
 - o Anions (chlorures, sulfates et nitrates) et cations (calcium, magnésium, sodium et potassium)
 - o Seuils pathogènes selon les sels solubles et les matériaux contaminés (pierre, mortier...)
- Types d'analyse (non exhaustifs) :
 - o Analyse qualitative de poudre par diffraction des rayons X.
 - o Par chromatographie ionique et spectrométrie d'émission atomique selon la norme NF EN 16455 sur extraction aqueuse.
 - o Observations de fractures au microscope électronique à balayage couplé à l'analyse qualitative élémentaire par spectrométrie X à dispersion d'énergie ;
- Le coltinage et la descente des déchets jusqu'aux bennes mises à disposition,

Le contrôle sera à réaliser après chaque cycle de dessalement (le nombre de cycle sera arrêté en fonction du résultat souhaité, jusqu'à obtention du résultat).

Chaque cycle d'analyses après dessalement fera l'objet d'un rapport illustré qui relatera les dispositions effectuées et mettra l'accent sur tous points délicats à observer et qui doivent être pris en compte (temps d'application des compresses, état des parements après dessalement, synthèse et interprétation des résultats d'analyses et préconisation d'intervention complémentaire de dessalement et/ou de consolidation selon l'état des parements etc...).

Les préconisations pour les compléments d'intervention seront toujours établies en collaboration avec le LRMH et soumises à son approbation

Le rapport sera diffusé au plus tard deux semaines après les prélèvements en 4 exemplaires dont 1 exemplaire sous forme numérique.

A prévoir avec prescription spécifique et localisation :

Pour toutes les opérations Phase 3 « Reconstruction » en cours pendant la durée de l'accord cadre contractualisé avec le titulaire du présent lot :

- Les prélèvements et analyses après chaque cycle de dessalement par les lots 06 – Restauration de sculpture.
- L'établissement d'un rapport après chaque campagne d'analyse.

O—O—O—O—

04. **CLAUSES PARTICULIERES – CONTRÔLE DE COMPOSITION D'OUVRAGES EN PLOMB NEUFS**

Note Préliminaire :

L'entrepreneur doit l'ensemble des prestations liées à la bonne exécution des travaux de son lot, il ne saurait se prévaloir de la non-exhaustivité des descriptions des articles ci-après.

Les ouvrages seront réalisés en étroite collaboration entre chaque corps d'état missionné par cette opération, et plus particulièrement avec les lots 09 – Couverture en plomb.

L'entreprise doit étudier avec soin les pièces remises, s'entourer de tous les renseignements pour ce qui pourrait lui paraître douteux et visiter les lieux où doivent s'effectuer les travaux. Les solutions techniques qui ont été retenues, devront être vérifiées par l'entrepreneur adjudicataire. Il appartient alors à l'entreprise de présenter, avant la remise des prix, toutes observations ou suggestions qu'elle jugera utile quant aux dispositions du projet et à la solution technique retenue. Le fait de soumissionner constitue un engagement à respecter ladite conception et les diverses prescriptions des documents techniques, en prenant alors l'entière responsabilité des dispositions du projet.

04.01 **GENERALITES**

- **Objectifs de la mission :**

L'intervention demandée et voulue par l'ACMH a pour but et objectif, de contrôler la fabrication des ouvrages neufs en plomb des lots 09 – Couverture plomb (notamment la composition/fourniture du plomb), nécessaires aux nouvelles couvertures de l'ensemble cathédral de Notre-Dame de Paris (Cathédrale, Sacristie et presbytère), dans l'emprise des opérations engagées pendant la durée de l'accord cadre du titulaire du présent lot.

Ces contrôles auront pour objectif de garantir de la qualité des plombs fournis pour la fabrication des nouveaux ouvrages et de leur durée dans le temps.

- **Caractéristiques du plomb exigés aux entreprises titulaires des lot 09 – Couverture plomb**

- L'entreprise devra donc la fourniture de tables en plomb coulées sur sable, fabriquées à partir lingots de plomb 100% recyclé (du groupe ECOBAT ou équivalent voir d'autre fournisseur).
- Le plomb utilisé en couverture sous forme de tables est défini dans la norme NF A 55-401.
- La composition du plomb à employer pour la réalisation des nouvelles tables de plomb sera réalisée, sur la base des analyses faites par le LRMH et le CNRS sur les tables de plomb de la cathédrale et sur d'autres Monuments Historiques. Ces analyses serviront d'étalons pour les tables à couler dans le cadre de cette opération. Pour rappel, la teneur en plomb pur des fournitures en plomb est fixée à 99,9% minimum.

Les compositions des fournitures en plomb seront communiquées par l'entreprise, pendant la période de préparation, à l'ACMH, assisté du laboratoire de recherche des monuments historiques (L.R.M.H.).

Les préconisations pour la fourniture et fabrication seront toujours établies en collaboration avec le LRMH et soumises à son approbation.

• **Généralités concernant les rapports à rédiger par le présent lot :**

L'ensemble des études effectuées par le laboratoire du présent lot fera l'objet de rapports intermédiaires de suivi, destinés à la maîtrise d'œuvre, au LRMH et aux diverses entreprises, (par campagne de prélèvements et d'analyses) - édition de rapports d'analyses illustrés en 4 exemplaires dont 1 exemplaire sous forme numérique.

Ces rapports présenteront les études et synthèses avec interprétations des résultats :

- La méthodologie complète mise en œuvre / Dossier technique.
- Le descriptif des examens effectués en atelier et in-situ sur les couvertures de la cathédrale, compris localisation sur plans (description des prélèvements, tels que décrit au point précédent (identification, report sur plan, nature du prélèvement, etc.), etc.
- Le bilan quantitatif des surfaces traitées.
- Les rapports de laboratoires et d'essais sur les produits employés, (description des analyses réalisées (méthodes, outils employés, délais, etc.).
- Les résultats détaillés (compris cartographie - report sur plans) assortie d'une synthèse des analyses.
- L'interprétation des résultats.
- Conclusions relatives à l'analyse de la qualité des plombs de fourniture par les entreprises des lots 09 – Couverture en plomb.
- Un dossier photographique (in situ).
- Tous documents à la demande de l'ACMH et du LRMH.

Il est demandé la rédaction, à minima d'un rapport par campagnes d'essais et prélèvements.

04.02 RECHERCHE ET COMPOSITION DES ÉLÉMENTS NEUFS EN PLOMB COMPRENANT

Afin de constater au mieux de la qualité des ouvrages neufs en plomb à fabriquer en atelier, la prestation comprendra :

- Des visites régulières et inopinées d'un ingénieur scientifique en atelier (entreprises des lots 09 Couverture Plomb) et sur le chantier,
- Au préalable, essais de vieillissement accéléré par alternance de cycles humidité-séchage à température variable (protocole à définir en partenariat avec l'ACMH et le LRMH) de la nuance de plomb sélectionnée par l'entreprise en charge du lot 09 en ambiance chloré, en ambiance azoté, en ambiance CO2, en ambiance sulfuré, et en atmosphère ozonée. Une identification moléculaire des composés formés à la surface du plomb avant et après vieillissement ainsi que la mesure de l'évolution chromatique au spectrodensimètre/spectrocolorimètre seront réalisés.
- L'examen des fournitures de plomb (lingots et autres),
- Tous les prélèvements nécessaires (pendant/après la fabrication des ouvrages des lots 09 – Couverture en plomb – sur le chantier : avant mise en œuvre, dans zone de stockage) :
 - o Lingots de fourniture,
 - o Tables de plomb (pour couverture, décors, etc.),
 - o Décors en plomb coulés ou en plomb repoussé.

Le nombre de prélèvements devra permettre de certifier la bonne fabrication des ouvrages neufs en plomb (tables de 3,5 mm épaisseur coulées sur sable, avec l'ensemble des décors).

- Les transports et les coltinages du matériel et des échantillons en laboratoire,
- La protection du personnel,
- Le dosage du plomb effectué sur les prélèvements et mesures afin de déterminer la composition et la qualité, pureté et teneur en plomb.

Les méthodes d'analyses de la fourniture qualité du plomb restent au choix de l'ingénieur scientifique, conformément à la réglementation en vigueur.

Liste non exhaustive :

- des analyses de type LA-ICPMS des échantillons permettant d'atteindre une limite de quantification satisfaisante sur les éléments Cuivre, Bismuth et Etain.
- Les analyses et synthèses avec interprétations des résultats,
- Le coltinage et la descente des déchets jusqu'aux bennes mises à disposition,
- L'évacuation jusqu'en décharge de tous les déchets est à la charge du maître d'ouvrage.

A prévoir avec prescription spécifique et localisation :

Pour toutes les opérations Phase 3 « Reconstruction » en cours pendant la durée de l'accord cadre contractualisé avec le titulaire du présent lot :

- Analyse des plombs fournis par les lots 09 – Couverture en plomb (échantillons en atelier, avant coulage, avant façonnage, et sur site avant mise en œuvre, sur les stockages);
- L'établissement d'un rapport après chaque campagne d'analyse.

05. DOSSIERS DE FIN DE TRAVAUX – DOE

Pour chaque opération de restauration, le titulaire du présent lot établira un rapport de synthèse recollant l'ensemble des analyses réalisées au cours de celle-ci, dans l'objectif d'intégrer dans le DDOE générale de l'opération en question.

Ce document comprendra notamment :

- Un rapport de synthèse illustré faisant apparaître le contexte de l'opération et explicitant les analyses réalisées, les solutions retenues, les résultats obtenus et une synthèse de ceux-ci ;
- Les fiches techniques des produits utilisées.
- L'index de tous les rapports édités dans le cadre de cette opération, leur compilation.
- Tous documents utiles à la connaissance des œuvres ou de l'édifice et à la documentation des prestations réalisées.

Chaque partie sera séparée des autres par un intercalaire et l'ensemble du dossier sera doté d'une page de garde et d'un sommaire général. Les documents présentant un format supérieur au format A4 seront dûment pliés.

Nombre d'exemplaires à fournir : **1 numérique et 5 en papier (A4, recto-verso, non reliés)** avec légendes et localisations.

-O-O-O-O-

06. NOTE FINALE :

L'entreprise titulaire du présent lot 18CHVT aura à sa charge tous les ouvrages de leur profession, utiles à l'exécution convenable et complète des travaux, de façon que leur achèvement dans les conditions déterminées par les documents contractuels ne donne lieu à aucun supplément, sauf modifications faisant l'objet d'ordres formels et écrits en provenance de l'Architecte en Chef des Monuments Historiques, validés par la maîtrise d'ouvrage.

-O-O-O-O-

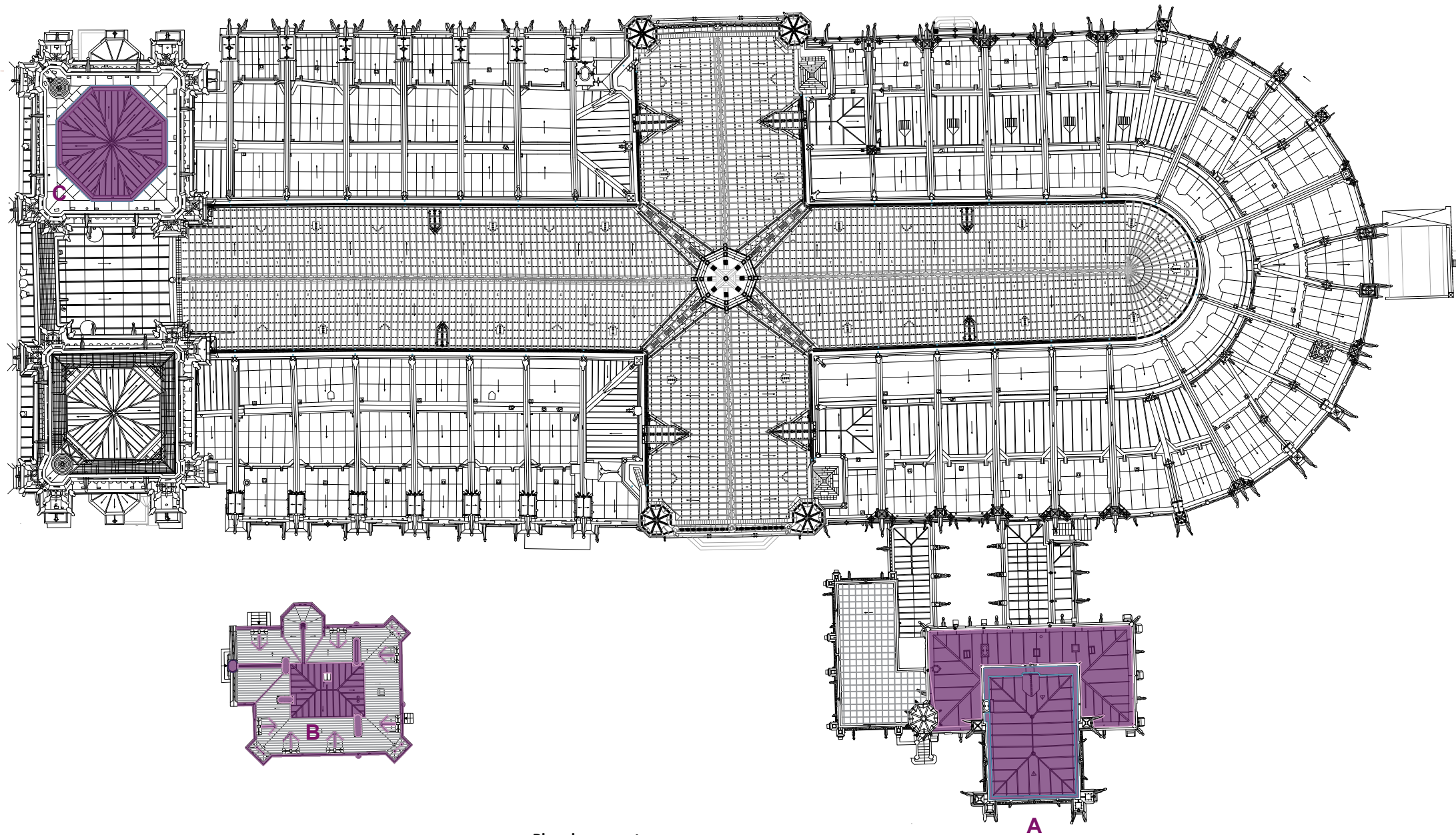
ANNEXE 1

ALLOTISSEMENT GÉNÉRAL DES OPÉRATIONS PHASE 3 - RESTAURATION « POST 2024 »

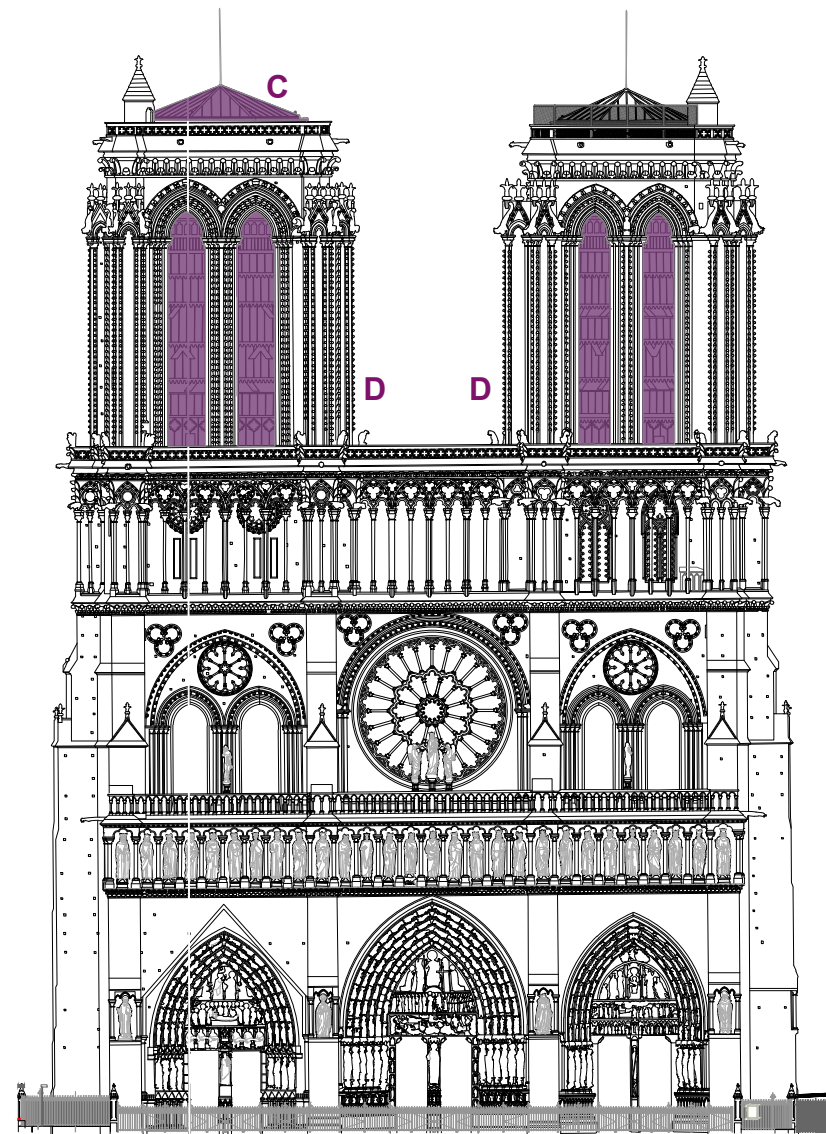
N°Lot	Intitulé du lot
Lot n°1A	Bases vie
Lot n°1B	Nettoyage des bases vies
Lot n°1B	Nettoyage des bases vies
Lot n°2A	Fluides chantier
Lot n°2B	Installations de chantier
Lot n°2C	Nettoyage plomb et déchets
Lot n°2D	Levage
Lot n°03	Échafaudages & lifts
Lot n°04	Maçonnerie/Pierre de taille
Lot n°05	Sculpture 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

ANNEXE 2

PLANS DES OUVRAGES EN PLOMB RESTANT A RESTAURER



Plan de couverture



Elévation principale du massif occidental

LEGENDE

Ouvrages en plomb restant à traiter dans le cadre de la phase 3 "Restauration Post 2024"

- Réfection des ouvrages existants
- Habillages en plomb de chéneaux

- A. Sacristie
B. Presbytère
C. Sommet de la tour Nord
D. Abats-sons du massif occidental

NOTA : Les plans, coupes, élévations et quantités sont données à titre indicatif, il appartiendra aux entreprises d'effectuer tous les relevés nécessaires à la réalisation de leurs travaux.

75 - CATHEDRALE NOTRE-DAME DE PARIS

Travaux post-2024
Lot 18_{PH3a}- Travaux de restauration "Post 2024"

Localisation des ouvrages en plomb restant à traiter en phase 3 "Restauration Post 2024"

Annexe 2
au CCTP

PHILIPPE VILLENEUVE - REMI FROMONT
ARCHITECTES EN CHEF DES MONUMENTS HISTORIQUES

Ech. : 1/500
Nov. 2025