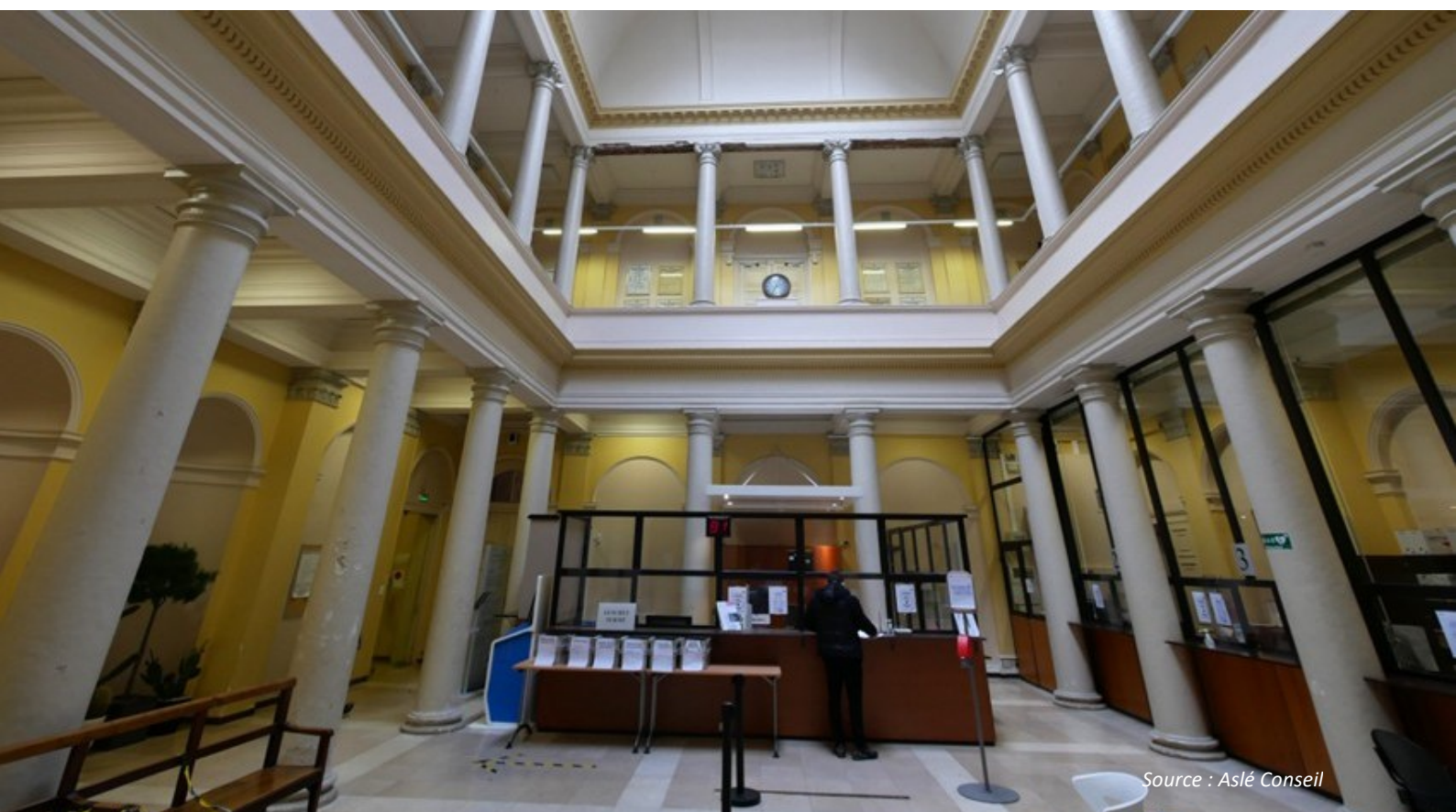


Tribunal de Commerce

Toulouse

RAPPORT D'ÉTUDE - PHASE PRO - E024-001-04-A

Assistance à maîtrise d'œuvre pour la restauration de la salle des Pas Perdus



FICHE DE PRÉSENTATION

MAÎTRISE D'OUVRAGE

MINISTÈRE DE LA JUSTICE

Secrétariat général
Délégation Interrégionale Sud
Département Immobilier de Toulouse

À l'attention de Monsieur Bideau

DOCUMENT

Dossier	E024-001
Version	04-A
Phase	PRO
Date	25.11.25

MAÎTRISE D'ŒUVRE

LE PAVILLON ARCHITECTURES (mandataire)

Agence d'architecture du patrimoine
23 rue Laganne
31300 TOULOUSE

CABINET THEMIS (co-traitant)

Économiste
Le bois du roi
19240 ALLASSAC

PRO.CSSI (co-traitant)

Coordinateur SSI
83 chemin des Prieurs
31620 CASTELNAU-D'ESTRETEFONDS

ASLÉ CONSEIL (co-traitant)

Bureau d'étude matériaux

Méditerranée (siège)
1717, route d'Avignon
13150 TARASCON

Grand Ouest
BP 14 – 2 rue de la Brigantine
17000 LA ROCHELLE

Aslé Conseil Méditerranée

1717, route d'Avignon
13150 Tarascon

Aslé Conseil Grand Ouest

BP 14 – 2 rue de la Brigantine
17000 La Rochelle

n° SIRET : 793 322 868 00035

SAS au capital de 4 k€ – RCS Tarascon 793 322 868 – Code APE 7112 B

TVA intracommunautaire : FR 90 793322868

SOMMAIRE

Fiche de présentation	2
Préambule	4
Objet du rapport	4
Programme d'étude	4
Rappel des études précédentes	5
Désordres observés	5
Contamination saline	6
Revêtements étanches des colonnes	6
Essais de dessalement	7
Préconisations	8
Méthodologie générale	8
Méthodologies spécifiques	8

PRÉAMBULE

OBJET DU RAPPORT

Aslé Conseil fait partie de l'équipe de maîtrise d'œuvre en charge de la restauration du tribunal de commerce de Toulouse. Cette équipe est pilotée par Julien Tajan, architecte du patrimoine, et Élise Beugin, Architecte D.E.A de l'agence Le Pavillon Architectures. Un économiste (cabinet Thémis) et un bureau d'étude SSI (PRO.CSSI) complètent l'équipe.

Aslé Conseil assure l'assistance à maîtrise d'œuvre concernant la restauration des colonnes et parements intérieurs de la salle des Pas Perdus.

Les premiers rapports d'étude établis par l'équipe Aslé Conseil, formée de Célia Santi, conservatrice-restauratrice et d'Alexis Texier, ingénieur d'étude, l'ont été respectivement en phases d'APS et d'APD et concernaient la caractérisation des phénomènes d'altérations et les préconisations en découlant.

Un troisième rapport d'étude a été fourni concernant les essais de dessalement des colonnes.

Le présent document concerne les préconisations spécifiques relatives à la phase PRO-DCE.

PROGRAMME D'ÉTUDE

Les étapes du programme global de cette étude sont rappelées ci-dessous.

Phase APS (rapport référencé E024-001-01-A - août 2024)

- > Assistance sur site et examens macroscopiques
- > Caractérisation des altérations
- > Synthèse des résultats analytiques

Phase APD (rapport référencé E024-001-02-A – octobre 2024)

- > Préconisations générales et particulières

Phase d'essais (rapport référencé E024-001-03-A – mars 2025)

- > Réalisation d'essais de dessalement
- > Analyses en laboratoire
- > Synthèse des résultats

Phase PRO (présent document)

- > Assistance à la rédaction des pièces écrites concernant les sujets particuliers des méthodes de restauration des colonnes et parements intérieurs de la salle des Pas Perdus

Phase AMT

- > Assistance à maîtrise d'œuvre pour l'analyse des offres techniques

Phase EXE-VISA-DET

- > Assistance à maîtrise d'œuvre pour la définition et le suivi des phases préalables et des méthodes de restauration

RAPPEL DES ÉTUDES PRÉCÉDENTES

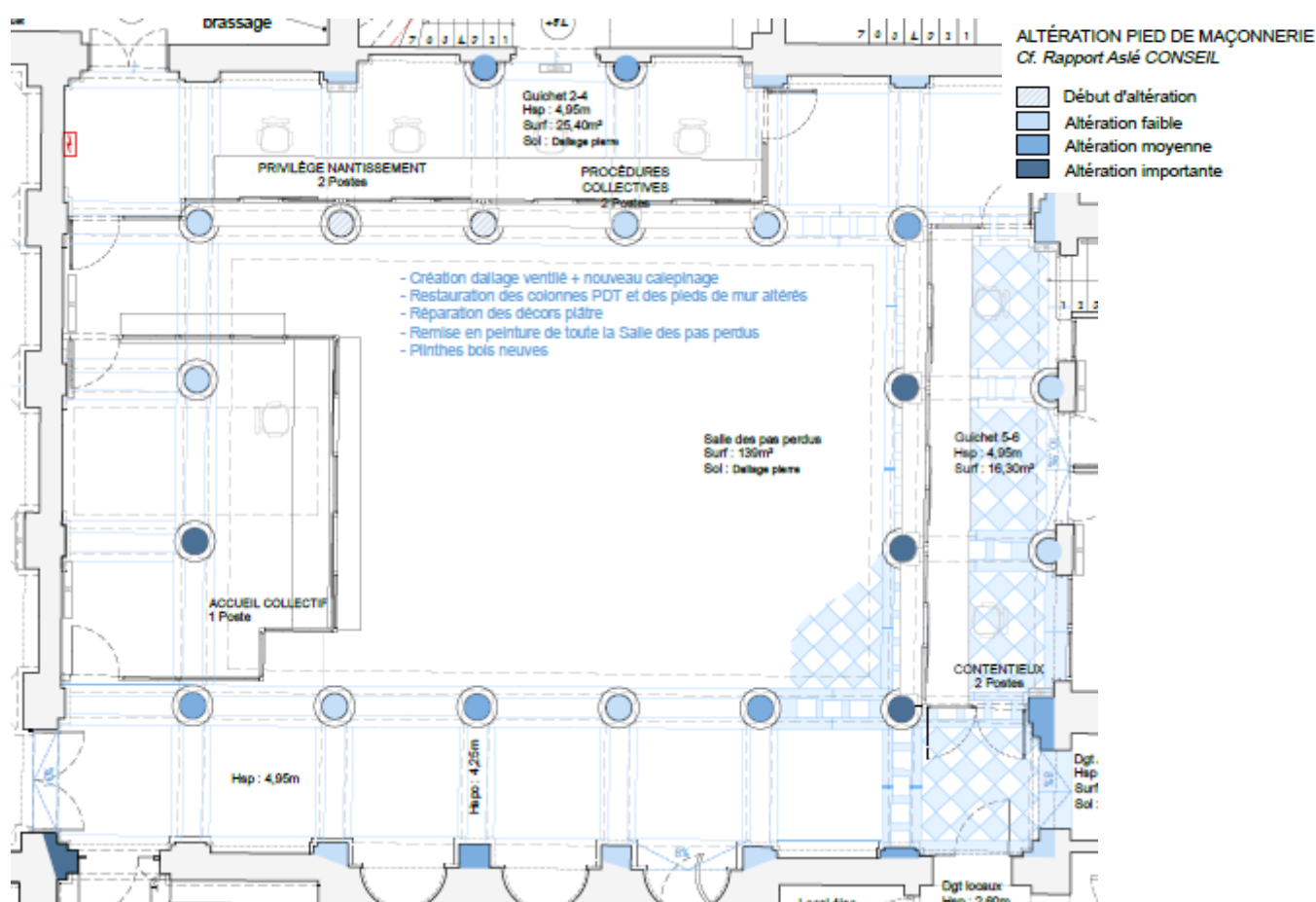
Les observations et les analyses effectuées dans la salle des Pas Perdus révèlent une interaction complexe entre les pierres constitutives des colonnes et des parements intérieurs, leurs mises en œuvre et les interventions humaines antérieures, lesquelles ont parfois aggravé les processus de dégradation.

DÉSORDRES OBSERVÉS

Les examens menés sur site puis les sondages en sol indiquent que le niveau de sol a été rehaussé d'environ 20 cm par l'ajout d'un dallage contemporain, comme l'illustre également la demi-marche d'escalier du hall et la faible hauteur des boudins.

Les seize colonnes observées sont recouvertes de couches de peinture mates, de teinte beige à grises. Leurs altérations, hétérogènes mais plus marquées sur les colonnes des zones Est (6 à 9) et Sud-Ouest (14 et 15) se concentrent généralement en pied, juste au-dessus de la base moulurée, bien que certaines s'étendent verticalement sur plusieurs mètres. Les dégradations identifiées vont de simples boursoffures à des pertes de matière pluri-centimétriques, incluant pulvérulence, désagrégation et efflorescences, tandis que les bases moulurées présentent des éclats dus à des chocs.

Les examens visuels effectués sur site désignent très nettement une problématique d'humidité ascensionnelle. En effet, l'hygrométrie naturellement plus importante du sol induit un premier phénomène général de transport d'humidité vers un environnement plus sec, en l'occurrence la salle des Pas Perdus. Ce phénomène s'opère naturellement afin d'équilibrer et de stabiliser les différents milieux. Cette eau sous forme liquide ou bien gazeuse va ainsi chercher à migrer verticalement, d'où l'appellation d'humidité ascensionnelle. Dans ce contexte et avec la présence d'une chape béton a priori peu perméable, les colonnes de pierres fondées à un niveau plus bas et possédant une porosimétrie favorisant la capillarité vont faire office de zones d'évaporation. La capillarité a priori presque nulle de la chape en béton ne permet donc l'évacuation de l'humidité que par les colonnes en pierres. Les murs périphériques semblent, mais ce, dans une moindre mesure, subir les mêmes problématiques d'humidité ascensionnelle.



Plan de repérage de l'intensité de l'altération des colonnes - ©Pavillon Architectures



Altération importante en pied de colonne



Décollement d'écailles centimétriques en zone altérée

CONTAMINATION SALINE

Les précédentes études ont clairement montré une importante présence de sels pathogènes de nature variée dans les colonnes, avec néanmoins une prédominance de cristallisations sodiques combinées avec les nitrates et les chlorures.

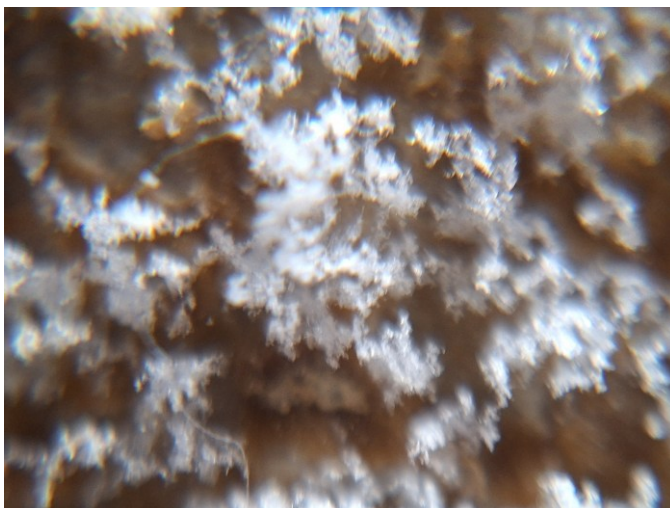
L'origine précise de ces composés reste à déterminer, mais l'étude de la contamination du sol n'a pas mis en évidence de fortes concentrations de sels. Seuls les sulfates sont nettement présents à faible profondeur, mais ils sont les ions les moins abondants dans les colonnes. L'origine des chlorures, des nitrates, du sodium et du potassium présents dans les colonnes ne semble donc pas à rechercher dans une pollution du sol par ces composés.

Plusieurs hypothèses pourraient expliquer cette altération. Elle pourrait être liée à une époque où le bâtiment servait de lieu de stockage de ce type de composés polluants. Par ailleurs, d'anciens traitements de restauration inadaptés des colonnes pourraient également en être la cause.

Les différents cycles d'imbibition par capillarité puis de séchage par évaporation favorisent la cristallisation de ces sels. Cette dernière induit une prise de volume de ces éléments pathogènes parfois supérieure à la taille des pores de la pierre, provoquant ainsi son altération, comme illustré par les images ci-dessous.



Vue macroscopique des efflorescences analysées



Vue sous loupe des efflorescences

REVÊTEMENTS ÉTANCHES DES COLONNES

À l'instar de la chape béton présente en sol, les revêtements des colonnes semblent particulièrement imperméables.

Les observations microscopiques indiquent la présence de trois types de revêtements picturaux. Ces couches sont principalement constituées de blanc de plomb, de chlorures de plomb ainsi que de blanc de titane. Au regard des faciès d'altérations observés, il semble fort probable que ces revêtements successifs ne favorisent pas une évaporation diffuse et homogène de l'humidité. Il semblerait plutôt que ces couches accentuent le phénomène d'altération, comme le montrent les images suivantes.



Altérations sous-jacentes au revêtement peint



Vue sous loupe du craquellement du revêtement peint

ESSAIS DE DESSALEMENT

Deux compresses ont été formulées, pour la réalisation de ces essais. L'une est à base de sépiolite et l'autre de kaolin. Chacune d'entre elle a été complétée par de la cellulose et du sable, puis appliquées sur des épidermes accessibles.

La formulation à base de sépiolite a montré un retrait important au séchage, tandis que le kaolin a démontré une meilleure stabilité et une application plus homogène. Les mesures de conductivité ont révélé dès la première passe une forte concentration saline, particulièrement en zones altérées et de manière accrue pour la compresse à base de sépiolite. Après dosage des sels solubles de l'état initial, les valeurs obtenues confirment une teneur accrue en chlorures et nitrates dans les zones altérées, en cohérence avec les résultats antérieurs.

Après deux passes, les résultats montrent une baisse générale des teneurs à toutes profondeurs, attestant de l'efficacité du dessalement malgré des phénomènes de migration des sels en profondeur ou en périphérie. Les taux d'extraction indiquent une meilleure performance des compresses au kaolin, tant en surface qu'en profondeur, même si deux applications ne suffisent pas pour atteindre les seuils d'acceptabilité. Le dessalement devra donc être étendu à l'ensemble des colonnes, avec un minimum de trois passes, ajustées selon le degré d'altération.



Mise en œuvre des compresses



Compresses en cours de séchage

PRÉCONISATIONS

L'ensemble des éléments méthodologiques énoncés ci-après ne concerne que la salle des Pas Perdus et en particulier le traitement des problématiques d'altérations des parements et colonnes en pierres de taille.

MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

De manière générale, le projet de restauration peut être résumé par la mise en œuvre des travaux énoncés ci-dessous :

Accessibilité et protections

- > Mise en place des échafaudages (fixes et mobiles) et des platelages nécessaires aux accès et aux travaux
- > Calfeutrement et confinement étanche des zones de travail liés à la présence de plomb
- > Gestion des déchets spécifiques (chargement, conditionnement et évacuation)

Terrassements, drainage, sols et évacuation

- > Dépose et démolition du dallage existant
- > Mise en œuvre du drainage
- > Réalisation des sols

Restauration des colonnes et murs périphériques

- > Dispositif de traitement des remontées capillaires
- > Purge délicate des revêtements peints
- > Extraction des sels par dessalement
- > Ragréages ou greffes
- > Badigeon au lait de chaux

MÉTHODOLOGIES SPÉCIFIQUES

Les méthodes nécessitant un protocole spécifique sont définies ci-dessous. Il s'agit particulièrement des sujets relatifs à la restauration des colonnes et élévations.

Traitement des remontées capillaires

Les remontées capillaires étant un facteur principal d'altérations des colonnes et murs périphériques, une série de d'intervention devront être réalisées :

- > La démolition complète de la chape béton existante sera réalisée, de façon à rétablir l'équilibre hygrométrique général du sol et des maçonneries. L'évacuation des déblais et le nettoyage du support seront faits conformément aux prescriptions en vigueur.
- > Il sera réalisé un drainage de part et d'autre de la fondation filante comprenant la mise en œuvre d'un hérisson drainant.
- > Le dallage refait à neuf sera également désolidarisé des colonnes et de leurs fondations, la jonction horizontale sera effectuée à l'aide d'une cornière métallique.
- > Des mesures d'humidité et un monitoring des zones traitées seront mises en place avant traitement.
- > Un traitement contre les remontées capillaires sera mis en œuvre par injection de résine hydrophobe, de façon à créer, sur toute la section des murs périphériques concernés, une barrière continue limitant la migration de l'humidité. Cela se fera par l'utilisation de produits à base de silanes et/ou siloxanes, appliqués conformément aux prescriptions techniques du fabricant, aux recommandations professionnelles en vigueur et selon un protocole d'essais préalablement validé par la maîtrise d'œuvre.

- > Dans une première phase et pour les murs périphériques, un décapage complet des finitions existantes sur toute la hauteur affectée par les remontées capillaires sera effectué.
- > La mise en œuvre des injections débutera par un forage méthodique du support. Une rangée de trous sera réalisée dans un joint de mortier, suivant un alignement strictement horizontal et parallèle au sol. Le diamètre minimal des trous sera de 12 mm et pourra être augmenté en fonction de la nature du produit choisi. L'espacement entre les forages sera compris entre 8 et 12 cm afin de garantir une diffusion optimale au sein des pores et microfissures du matériau.
- > La diffusion d'un produit hydrophobe sera réalisée selon la méthode adaptée à la nature du mur et au produit retenu. L'injection de résine liquide à basse pression constituera la technique privilégiée, avec une pression strictement limitée entre 0,05 et 0,2 MPa. Cette pression ne devra jamais avoir pour objectif de forcer la pénétration de la résine mais uniquement d'accélérer son avance dans les fissures et cavités. Lorsque la structure interne de la maçonnerie présente une forte hétérogénéité, l'emploi de crèmes ou de gels sera privilégié afin d'éviter l'écoulement parasite dans les zones ouvertes.
- > À l'issue des injections, l'entreprise assurera un suivi de la phase d'assèchement du mur. La maîtrise d'œuvre pourra exiger, si nécessaire, des mesures périodiques de l'évolution du taux d'humidité résiduelle, selon une méthode normalisée, afin de valider l'efficacité du traitement. L'ensemble des produits utilisés devra être compatible avec la nature des maçonneries, des mortiers anciens et des finitions ultérieures et ne devra en aucun cas présenter de risques de dégradation mécanique ou chimique du support. Toute variation de produits ou de procédures devra faire l'objet d'une validation préalable.

Localisation : concernant l'ensemble des colonnes et murs périphériques de la salle des Pas Perdus

Décapage des revêtements

La dépose de ces peintures semble indispensable dans le cadre d'une restauration des colonnes. La présence de plomb rend cependant l'opération complexe et nécessite la mise en œuvre d'un protocole spécifique de décapage. Un décapage par micro-abrasion à l'aide d'un projectile finement sélectionné permettra de trouver un équilibre entre enlèvement complet du revêtement et conservation de l'épiderme.

- > Avant toute intervention, une phase préalable d'essais sera réalisée sur des zones comparatives. Ces essais consistent à appliquer différents réglages de micro-abrasion, notamment la pression d'air, la typologie et la granulométrie de l'abrasif, la distance de projection et le temps d'exposition, afin de définir les paramètres les mieux adaptés. Le contrôle comparatif sera effectué par microscopie numérique sur site et par MEB-EDS sur échantillons. Cette analyse vise à vérifier le retrait effectif des couches plombées et à confirmer l'absence d'altération du support. Un rapport d'essais sera établi, présentant les paramètres testés, les résultats des observations microscopiques et le procédé recommandé. Ce rapport sera soumis au maître d'œuvre pour validation préalable à toute intervention sur les surfaces définitives.
- > Après validation des essais, le décapage sera mis en œuvre par le procédé de micro-abrasion retenu et appliqué sur l'ensemble des zones à traiter. Il sera réalisé à l'aide d'un jet d'abrasif micronisé projeté à basse pression, avec un abrasif adapté tel que le corindon ou le silicate d'alumine. Une aspiration continue à la source, équipée de filtres de type HEPA ou équivalents sera obligatoire afin de limiter la dispersion des poussières de plomb.
- > Des contrôles réguliers de l'empoussièrement seront réalisés conformément aux recommandations professionnelles en vigueur, notamment celles du GEPI et de l'INRS. L'intervention s'effectuera dans une zone confinée par un bâchage étanche et un sas d'accès. Les opérateurs porteront les équipements de protection individuelle adaptés selon les normes en vigueur. Les résidus de décapage, notamment les abrasifs usés et les déchets contenant du plomb, seront collectés et conditionnés dans des conteneurs adaptés. Ils seront ensuite évacués vers une filière agréée pour le traitement des déchets dangereux, conformément à la réglementation en vigueur.

Localisation : concernant l'ensemble des colonnes de la salle des Pas Perdus et sur toute leur hauteur

Dessalement

Les études préalables ayant démontré l'importante contamination saline et son rôle dans l'altération des ouvrages, et en particulier des colonnes, un dessalement devra être entrepris. Celui-ci est destiné à réduire les teneurs en sels solubles susceptibles de générer des altérations internes et superficielles :

- > L'opération consistera à appliquer, selon un protocole déterminé, des compresses spécifiques permettant la migration et l'extraction progressive des sels présents au sein des colonnes. Avant la mise en œuvre du traitement, un protocole de mode opératoire sera transmis à la maîtrise d'œuvre pour validation. Il comprendra le phasage et la méthodologie envisagés ainsi que la formulation proposée. Les compresses testées pourront être de nature artisanale et établies à partir des matériaux expérimentés lors des essais, ou industrielles, sous réserve que leur utilisation soit compatible avec la nature et la porosimétrie du matériau en œuvre. Le choix final des compresses devra garantir une bonne capacité d'advection et une compatibilité physico-chimique avec la pierre.
- > Le dessalement sera effectué en plusieurs passes successives (au minimum trois passes) ; chacune faisant l'objet d'une mise en œuvre méthodique selon le protocole validé. À l'issue de chaque passe, l'entreprise effectuera des contrôles analytiques destinés à mesurer la concentration en sels solubles présents dans la pierre. Ces contrôles comprendront la réalisation de dosages des anions et cations selon la norme NF EN 16455. Les prélèvements seront réalisés à plusieurs profondeurs de la pierre, de manière à caractériser la distribution des sels au sein du matériau et à évaluer l'efficacité progressive de chaque passe de dessalement. Dans la mesure du possible, les prélèvements seront effectués aux emplacements des analyses antérieures, de façon à permettre une comparaison directe des résultats et à assurer la cohérence de suivi scientifique du traitement. De même, des mesures de conductivité des compresses retirées ainsi que du matériau avant mise en œuvre permettront de mettre en perspective les résultats de quantification par dosages.
- > Les résultats des dosages seront consignés dans un rapport après chaque passe de dessalement. Ce rapport précisera les méthodes employées, les valeurs obtenues, leur évolution par rapport aux analyses précédentes ainsi qu'une évaluation critique de l'efficacité des compresses utilisées. L'ensemble de ces contrôles constituera un point d'arrêt obligatoire et conditionnera la poursuite des opérations. Le traitement ne pourra être déclaré achevé qu'après validation formelle par la maîtrise d'œuvre attestant d'une diminution significative des taux de sels solubles ou de l'atteinte du seuil d'acceptabilité défini lors des essais préalables. À la fin de l'intervention, un rapport synthétique regroupant l'ensemble des résultats et protocoles appliqués sera remis au maître d'ouvrage.

Localisation : concernant l'ensemble des colonnes et les parties basses des murs périphériques de la salle des Pas Perdus.

Nombre de passes à ajuster en fonction du niveau de dégradation, trois pour l'ensemble des colonnes et jusqu'à six pour les zones notablement altérées.

Ragréages ou greffes

Après réalisation des interventions précédemment citées, il s'agira de redonner une lisibilité et une cohérence aux modénatures et volumes endommagés en procédant à la mise en œuvre de mortiers de ragréage ou de greffes de pierres.

- > Le choix de la technique à employer se fera en concertation avec la maîtrise d'œuvre, sur la base d'un plan de repérage produit après le décapage. Pour les ragréages comme pour la réalisation de greffes, la caractérisation préalable de la pierre en œuvre permettra d'assurer la pleine compatibilité physico-chimique et esthétique.
- > Pour ce qui est des ragréages, la formulation de ces mortiers fera l'objet d'une attention particulière quant à leur aspect, leur grain, leur composition et leurs propriétés finales. Ils devront posséder une cohésion suffisante alliée à une porosité compatible avec les matériaux originels de la maçonnerie. L'utilisation de chaux naturelle sera à privilégier pour la phase liante de ces différents produits. Les colonnes étant constituées de pierres calcaires, les mortiers de ragréages devront donc être effectués à base de poudre de ces calcaires et d'une chaux hydraulique. Les caractéristiques physiques et chimiques de ces mortiers (porosité notamment) devront être proches de celles des pierres en œuvre. Des essais de convenances pourront donc être réalisés pour valider la teinte, l'aspect et les propriétés physico-chimiques dès le début du chantier de restauration. En cas de forte charge, supérieure à 20 mm, la mise en place d'une armature métallique devra être effectuée. Les clous, ligatures et lardis employés devront être fait de matériaux inoxydables.

- > Lorsque le volume de pierre, présentant une faible cohésion sera considéré comme trop important, il s'agira d'effectuer une substitution de matière par greffe ou bouchons. Cette opération comprendra la fourniture de la pierre de même nature. La pierre neuve devra posséder des caractéristiques pétrographiques et pétro-physiques (masse volumique, porosité, vitesse du son, résistance en compression et capillarité) proches de celle en œuvre. La remise en œuvre devra s'effectuer par incrustation à joints vifs dans un élément d'assise en place et comprendra la retaille et le rejointoiement éventuel en raccord.

Localisation : concernant l'ensemble des colonnes de la salle des Pas Perdus et en recherche suite au décapage et au dessalement de celles-ci.

Document rédigé par :

Alexis Texier – Ingénieur d'étude

Avec le concours de :

Gilles Martinet – Docteur en géosciences
Célia Santi – Conservatrice-restauratrice
Laetitia Bertrand – Assistante de direction

Ce document a été diffusé sous format PDF au Pavillon Architectures et au Cabinet Thémis le 25 novembre 2025.