

Atelier Chevalier



ÉTUDE DE CONSERVATION

PARTIE 1 : ÉTAT SANITAIRE ET ANALYSES

PARTIE 2 : TESTS DE DESSALEMENT



Essômes-sur-Marne
Abbaye de Saint-Ferréol
Chapelle du Saint-Sépulcre

ÉTUDE SANITAIRE ET PRÉCONISATIONS
DE RESTAURATION

Rapport du 28 octobre 2020

Maîtrise d'Ouvrage
VILLE D'ESSÔMES-SUR-MARNE
1, rue de l'Abbaye
02400 Essômes-sur-Marne

Maîtrise d'Œuvre
ACV ARCHITECTE - ARCHITECTE DU PATRIMOINE
3, square de Châtillon
75014 Paris



26 rue Henri Regnault - CS 50027 - 92150 Suresnes
Tel : 01 45 06 83 33 – Fax : 01 45 06 83 34
contact@hchevalier.com





TABLE DES MATIÈRES

COMPRÉHENSION DU PROJET	5
ÉTAT SANITAIRE	7
Enceinte de la chapelle	8
Retable monumental	15
Dépôt lapidaire	18
PROTOCOLE DE RESTAURATION	23
Protocole de restauration	24
Nettoyage primaire	25
Dessalement par technique de bain et advection	26
Consolidation des épidermes	27
FICHES TECHNIQUES	29

COMPRÉHENSION DU **PROJET**

L'abbatiale Saint-Ferréol d'Essômes-sur-Marnes a été fondée à la fin du XI^e siècle par des Chanoines de l'ordre des Augustins. L'édifice a subi durant son histoire plusieurs périodes de conflits qui ont conduit à la forme actuelle du bâtiment. En effet, elle résista à la guerre de Succession de Champagne (XIII^e siècle), au siège des Anglais durant la guerre de Cent Ans (XIV^e siècle); après sa saisie comme bien national en 1793, l'édifice s'est vu amputé de ses bâtiments conventuels et de ses tours. Enfin, les bombardements de la Seconde Guerre Mondiale et la tempête de 1999 ont provoqué d'importants dégâts.

Les dégradations successives ont toujours été accompagnées de campagnes de restauration qui ont permis à l'édifice de supporter les affres du temps. La restauration du clocher en 2011 est la dernière intervention enregistrée à ce jour. Malgré toutes ses interventions, l'abbaye continue de se dégrader, notamment en raison de l'humidité importante des pierres.

Dans le cadre de la poursuite de la restauration de l'abbatiale, le cabinet ACV Architecte a missionné l'Atelier Chevalier et le Laboratoire BPE pour la réalisation d'une étude sanitaire portant sur la chapelle du Saint-Sépulcre.

Cette étude s'articule en plusieurs étapes :

- Relevé d'état sanitaire (Atelier Chevalier)
- Caractérisation des pierres et mortiers (Laboratoire BPE)
- Étude des phases pathogènes (Laboratoire BPE)
- **Rapport d'étude sanitaire et mise au point d'un protocole de restauration (Atelier Chevalier)**
- Test du protocole de restauration (Atelier Chevalier)
- Contrôle des opérations de traitement (Laboratoire BPE)

Le présent rapport vient clore les trois premières étapes de cette étude et proposer un protocole de restauration qui sera testé durant la seconde phase d'étude après validation de la Maîtrise d'Œuvre et du Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques.

RÉDACTION

MORGANE THOMY - *Chargée d'étude*

RELECTURE

BRUNO SAUVAGE - *Responsable de l'Atelier Chevalier*

ÉTAT
SANITAIRE

ENCEINTE DE LA CHAPELLE

DESCRIPTION DU SUJET

La chapelle du Saint-Sépulcre est située dans le collatéral du transept nord et s'étend sur une travée. Située entre les murs gouttereaux Est et Nord du transept, la chapelle est close sur ces deux autres côtés par deux murs maçonnés d'une hauteur de 2,50 m.

Les deux murs de clôture de la chapelle sont constitués d'un soubassement orné de bas-reliefs, d'un niveau de baies géminées à colonnettes et pilastres et d'un entablement. L'accès à la chapelle se fait au moyen des deux portes cintrées (une sur chaque côté).

PÉTROGRAPHIE ET ANALYSE DES MORTIERS

La maçonnerie, le plan des joints ainsi que le style de la sculpture nous ont permis d'identifier que la clôture de la chapelle a fait l'objet de plusieurs remaniements. Afin de valider nos hypothèses, le laboratoire BPE a réalisé des carottages de pierre (cf. rapport BPE p10) ainsi que des prélèvements de mortiers (cf. rapport BPE p18).

Les trois prélèvements effectués sur la clôture (cf. plan de localisation des prélèvements, ci-après) nous indiquent que la nature de pierre utilisée dans toute la maçonnerie est un calcaire du bassin lutétien dont les Milliollès sont caractéristiques des carrières de l'ouest de l'Aisne.

Leurs caractéristiques de densité, de résistances à la compression et leur coefficient de capillarité varient cependant légèrement d'un prélèvement à l'autre. Il s'agit donc des plusieurs bancs d'un même type de roche.

Quant aux mortiers, la teneur en carbonates et silicates des six échantillons prélevés a permis de révéler trois familles de mortiers différentes.

Les résultats de cette étude nous permettent de valider notre hypothèse : il y a bien eu plusieurs phases d'intervention. Toutefois, l'état fortement pulvérulent de la pierre ne nous permet pas de différencier visuellement chaque type de pierre. Nous sommes donc pour le moment dans l'incapacité de procéder à une chronologie relative précise pour l'ensemble de la maçonnerie. C'est pourquoi nous proposerons à la Maîtrise d'Œuvre d'effectuer durant la phase de test des techniques de restauration, de procéder à un nettoyage préalable de l'ensemble de la clôture.

ÉTAT SANITAIRE

Les murs de clôture de la chapelle présentent un état de surface très dégradé. Parmi les pathologies observées, on retrouve :

- Des pulvérences : l'ensemble de la moitié inférieur des maçonneries
- Des épaufrures et lacunes : sur les reliefs sculptés

Ces dégradations sont toutes liées à la forte présence d'eau dans les maçonneries. Celle-ci entraîne avec elle des espèces salines venant cristalliser à la surface de la pierre, créant ainsi les désordres précédemment énoncés.

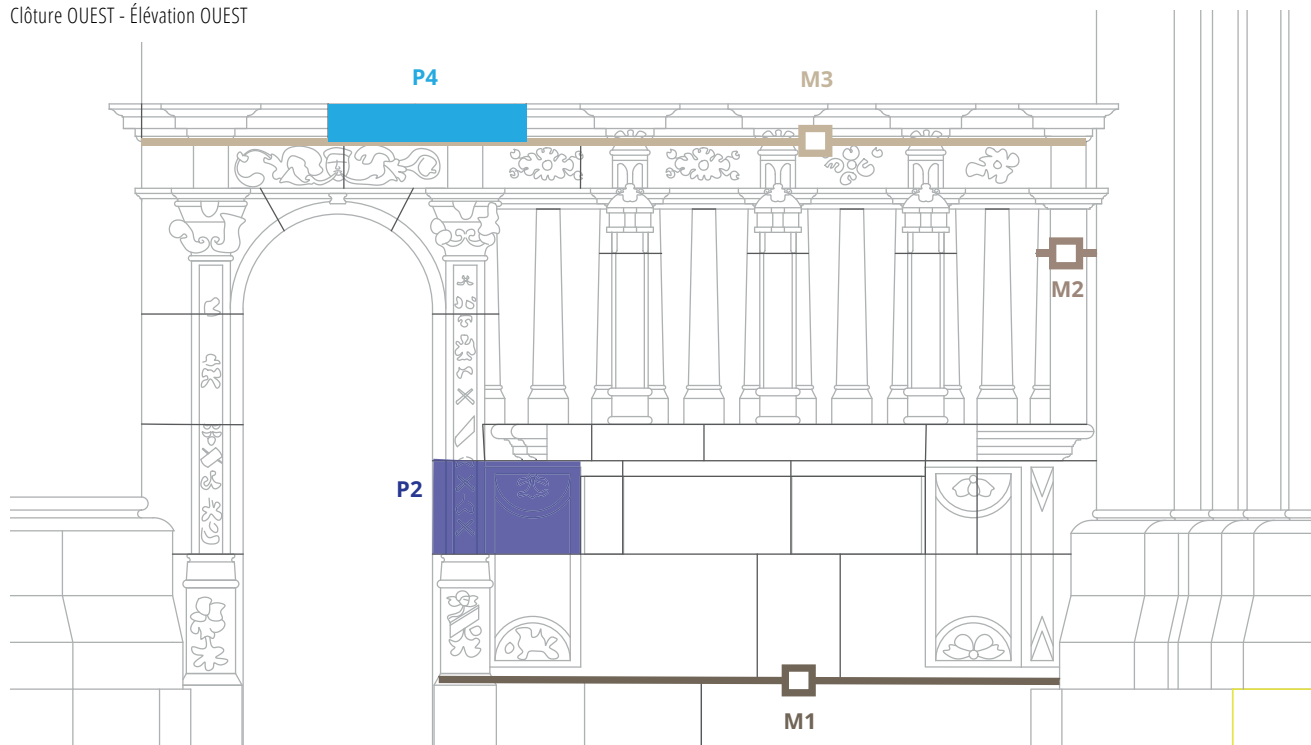
La corrosion des fers maintenant les charnières de porte a provoqué, quant à elle, l'éclatement des blocs dans lesquelles elles étaient scellées.

Les maçonneries ne présentent en revanche pas de problème structurel.

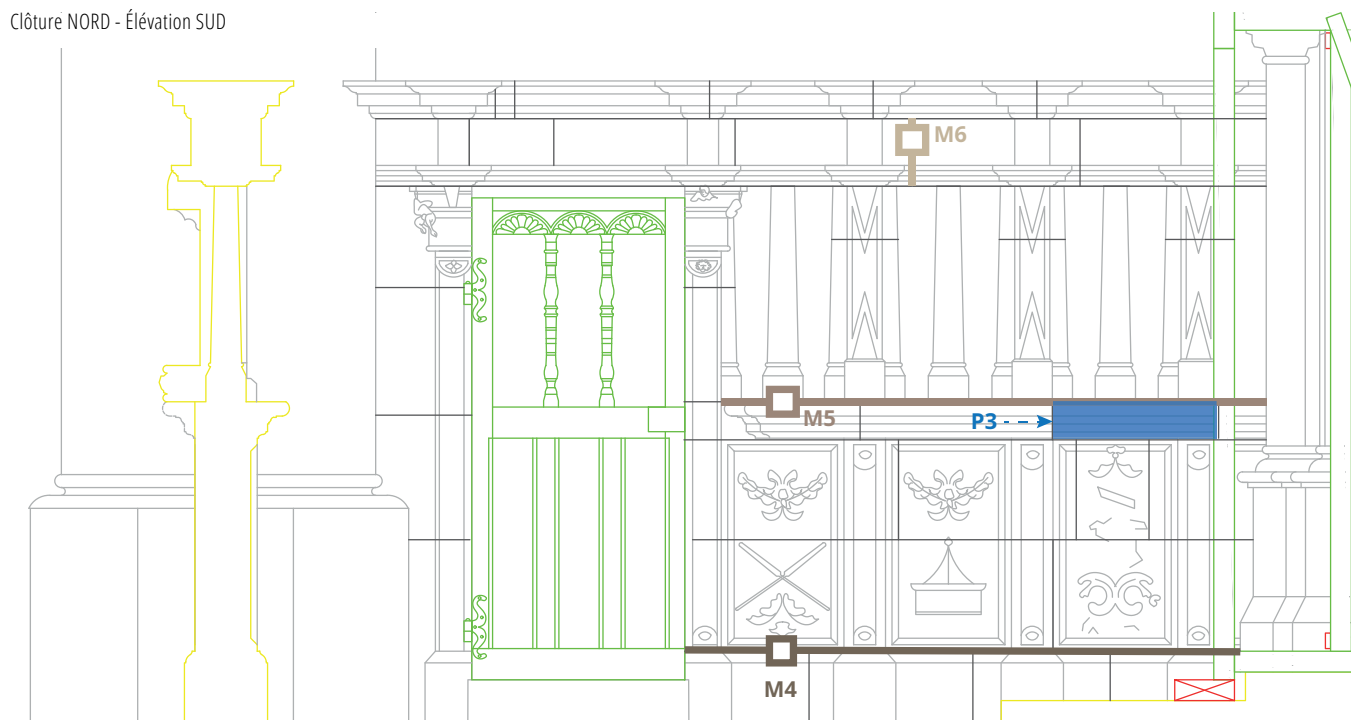
Plan :

Localisation des prélèvements de pierres et de mortiers

Clôture OUEST - Élévation OUEST



Clôture NORD - Élévation SUD



Légende



Carottage de pierre et bloc associé

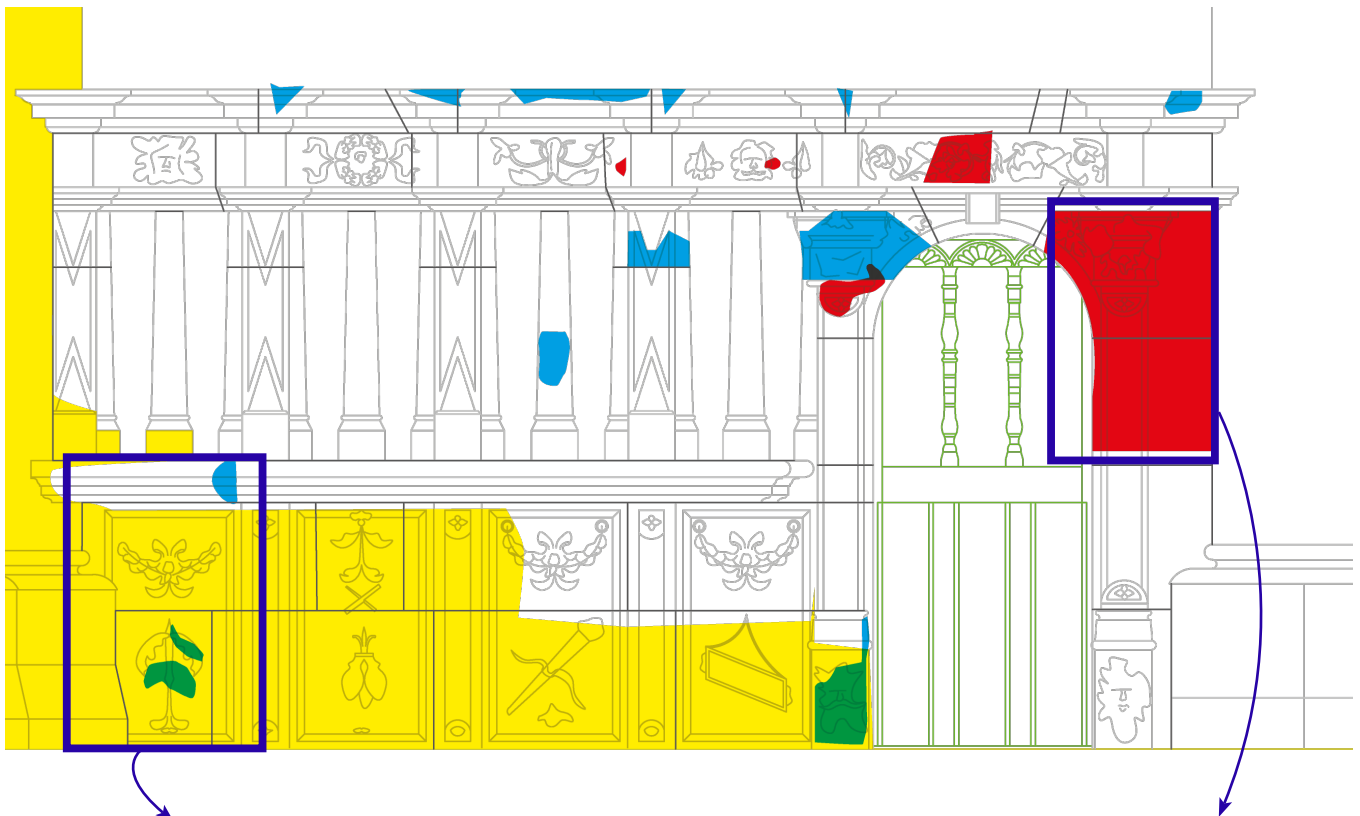


Prélèvement de mortier et joint associé

Abbatiale Saint-Ferréol
Chapelle du Saint-Sépulcre
Clôture Nord
Élévation nord

Légende

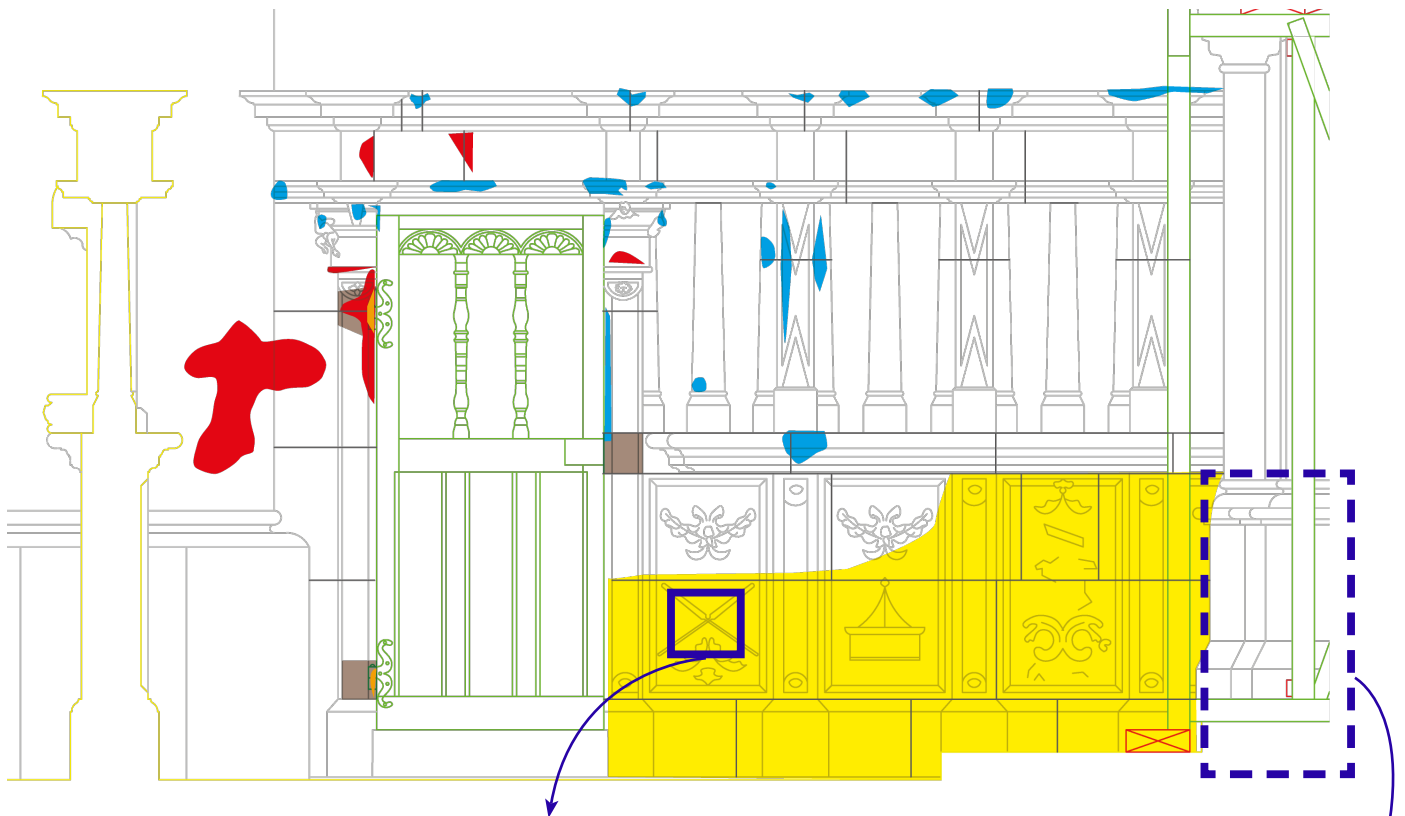
	Lacunes		Mortier
	Fissures		Plâtre
	Pulvérulences		Fer oxydé / rouille
	Efflorescences		



Abbatiale Saint-Ferréol
Chapelle du Saint-Sépulcre
Clôture Nord
Élévation Sud

Légende

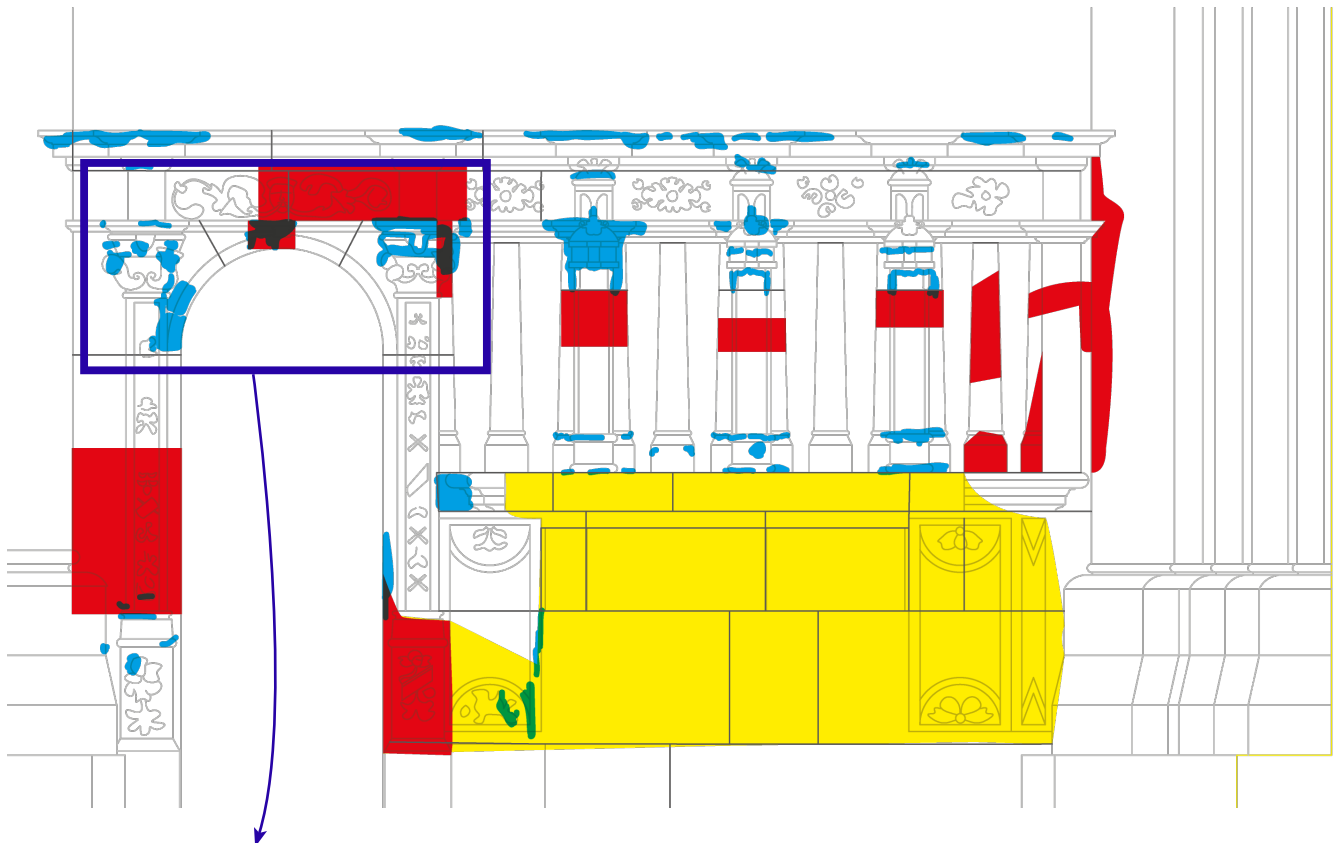
	Lacunes		Mortier
	Fissures		Plâtre
	Pulvéruences		Fer oxydé / rouille
	Efflorescences		



Abbatiale Saint-Ferréol
Chapelle du Saint-Sépulcre
Clôture Ouest
Élévation Ouest

Légende

	Lacunes		Mortier
	Fissures		Plâtre
	Pulvérulences		Fer oxydé / rouille
	Efflorescences		



Abbatiale Saint-Ferréol
Chapelle du Saint-Sépulcre
Clôture Ouest
Élévation Est

Légende

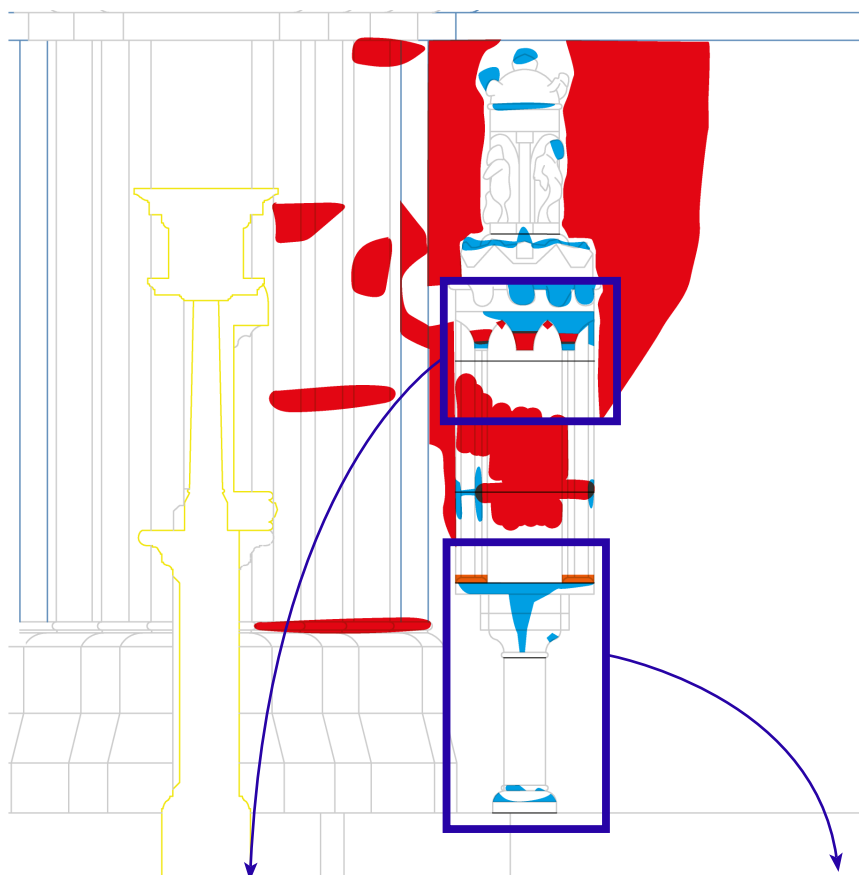
	Lacunes		Mortier
	Fissures		Plâtre
	Pulvérulences		Fer oxydé / rouille
	Efflorescences		



Abbatiale Saint-Ferréol
Chapelle du Saint-Sépulcre
Clôture Ouest
Élévation Nord

Légende

	Lacunes		Mortier
	Fissures		Plâtre
	Pulvérulences		Fer oxydé / rouille
	Efflorescences		



HUMIDITÉ ET POLLUTION SALINE

Les cartographies des zones humides (cf rapport p 32) nous indiquent que les maçonneries continuent d'être alimentées en eau. La dégradation de la pierre par les sels est donc toujours active.

La cartographie nous permet également de suivre le mouvement capillaire de l'eau dans la pierre. L'eau remonte du sol vers le mur et s'évapore en partie haute de la maçonnerie. Les efflorescences (sels cristallisés) marquant alors le niveau d'évaporation de l'eau.

Les pollutions salines de la chapelle du Saint-Sépulcre sont largement supérieures aux seuils d'acceptabilité rappelés dans le rapport BPE en page 18.

Comme le mentionne le laboratoire BPE dans son rapport les espèces salines en présence, proviennent essentiellement de composés azotés et potassiques qu'on retrouve régulièrement associés aux remontées capillaires.

De fortes concentrations de sels magnésiens amènent des questionnements quant à leur origine. En effet, les sulfates de magnésium (Hexahydrate et Epsomite) sont souvent identifiés comme provenant d'une pierre dolomitique ou d'une chaux magnésienne. Le laboratoire n'ayant pas pu mettre en évidence la présence de liant dolomitique, il faut chercher ailleurs, l'origine de ces sels.

La collégiale de Saint-Ferréol est située au sud d'une rivière affluente de la Marne. Les sels solubles sont peut-être également acheminés par ce petit cours d'eau.

En effet, les sulfates de magnésium sont souvent utilisés dans les manufactures. La présence d'une tannerie ou d'une activité manufacturière pourrait expliquer la présence de ce polluant dans la rivière puis dans les maçonneries de l'édifice.

Des analyses complémentaires (non prévues à notre étude), seront nécessaires à la vérification de cette hypothèse.

RETABLE MONUMENTAL

Photographie

Carte postale [Sacristie, ancienne chapelle du Sépulcre]/[s.n.]. [s.d.], Archives BnF, date approximative : avant 1913

DESCRIPTION DU SUJET

À l'intérieur de la chapelle, un retable monumental de pierre crayeuse se dresse sur le mur est. Son état de conservation très critique a impliqué l'installation de bastaings venant renforcer l'ensemble de la structure.

On trouve également dans cette chapelle, un dépôt lapidaire dont l'essentiel des pièces appartient au retable.

PÉTROGRAPHIE

La roche utilisée pour le retable se distingue nettement de la clôture de la chapelle par la finesse de son grain et sa couleur blanche lui donnant l'aspect d'une pierre crayeuse. Les analyses du laboratoire BPE nous rapportent qu'il s'agit d'un calcaire fin et très poreux provenant d'une carrière locale sans doute située entre Château-Thierry et Soissons.

ÉTAT SANITAIRE

Ce retable est également dans un état de conservation critique en raison des états de surface de la pierre, mais également en raison de problèmes structurels.

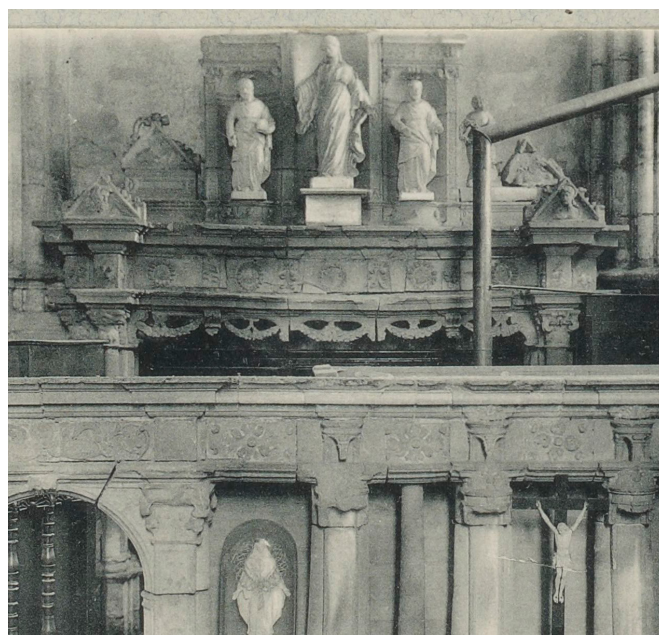
La partie basse du retable (composée par les colonnes et leur piédestal) est très touchée par les cristallisations de sels provoquant des efflorescences massives au niveau des joints ainsi que des pulvérulences sur les pilastres et ébrasements. Les bas reliefs sculptés sur les pilastres perdent leurs volumes à cause des poussées de sels.

La partie haute du retable semble quant à elle moins touchée par cette pathologie. Toutefois elle est largement touchée par d'importants problèmes structurels tout le décor de guirlandes situées sous la partie centrale du retable a été déposé, tandis que l'entablement et les

chapiteaux des colonnes sont cisailés en profondeurs, menaçant la construction de ruine. Les fractures de la pierre marquent les problèmes structurels que le retable connaissait déjà à l'époque des clichés d'archives. La partie centrale s'affaissant, les chapiteaux et les extrémités de l'entablement subissent une traction provoquant la rupture des blocs.

HUMIDITÉ ET POLLUTION SALINE

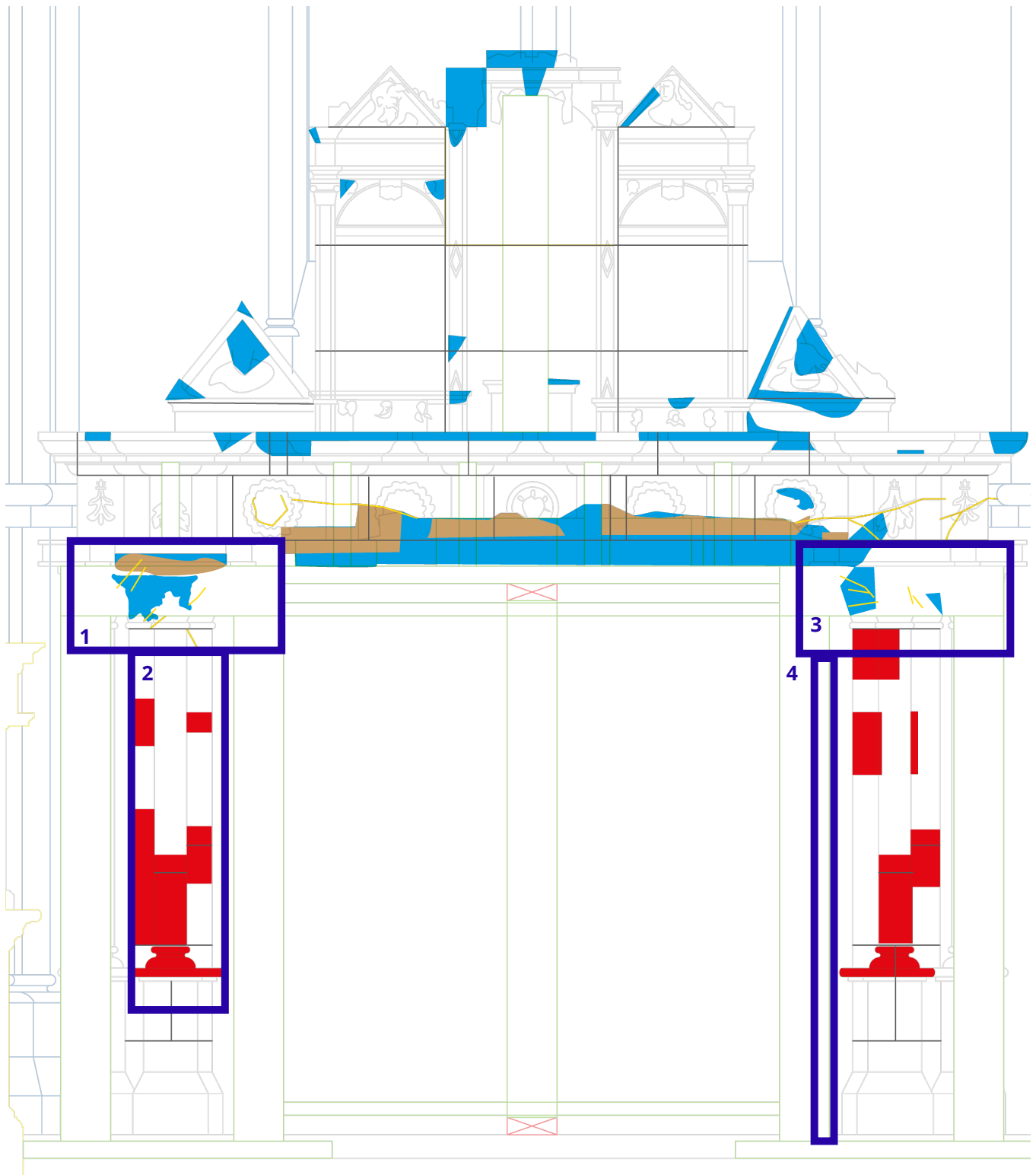
Les parties inférieures du retable présentent les mêmes caractéristiques d'humidité et de pollution que les murs de clôture de la chapelle.



Abbatiale Saint-Ferréol
Chapelle du Saint-Sépulcre
Retable
Élévation Ouest

Légende

	Lacunes		Mortier
	Fissures		Plâtre
	Pulvérulences		Fer oxydé / rouille
	Efflorescences		



1



3



2



4



DÉPOT LAPIDAIRE

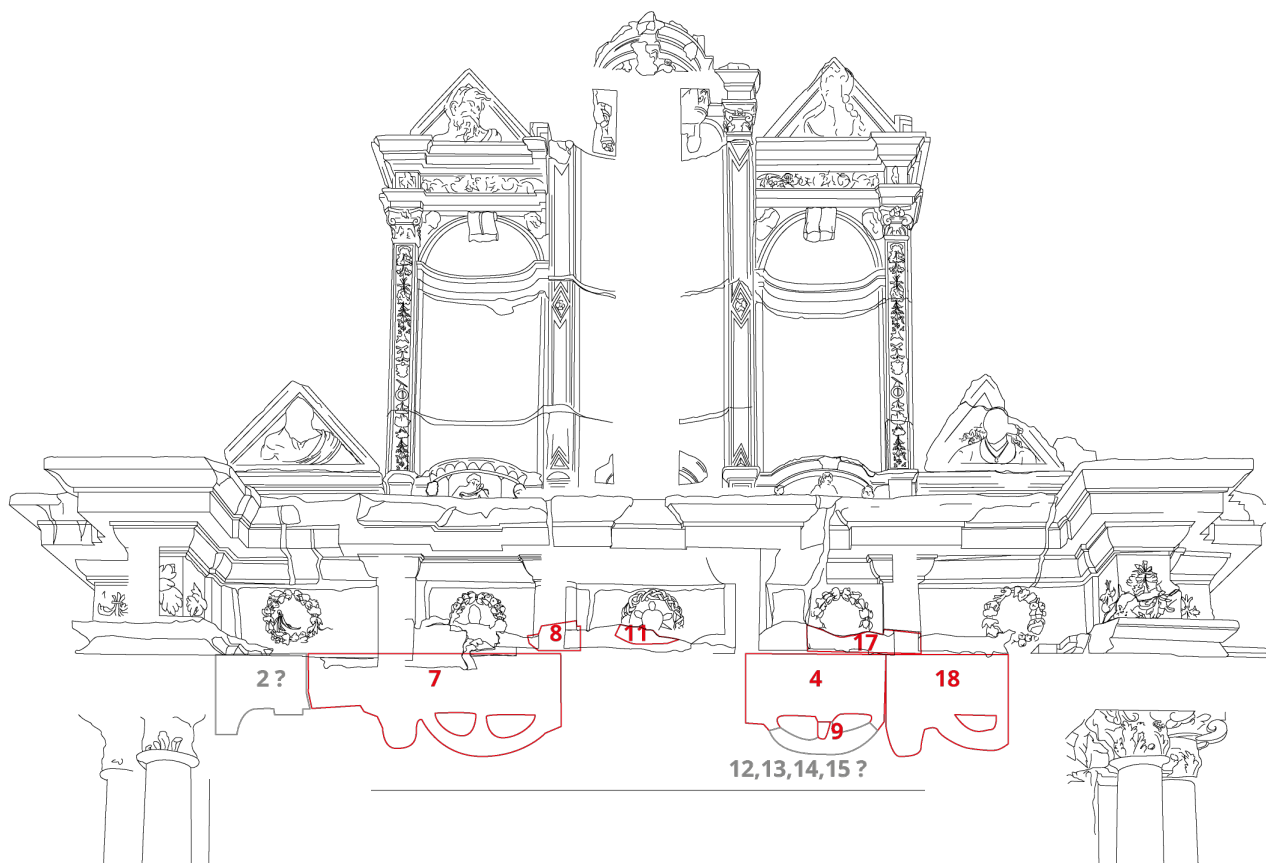
À l'intérieur de la chapelle sont stockés 22 objets lapidaires que nous avons pris le soin de référencer ci-après.

Nous avons pu déterminer que l'origine de la majorité de ces fragments sculptés provenait du retable lui-même. Les motifs sculptés ainsi que les photographies retrouvées aux archives par le Cabinet ACV Architecte nous ont permis d'identifier leur origine.

Le plâtre de rebouchage ainsi que les bastaings de maintien ne permettent pas une bonne visibilité des arrachements, il est donc difficile de replacer l'intégralité des blocs déposés avec certitude.

Dessin ci-dessous :

Hypothèse de restitution des parties manquantes du retable à partir des dépôts lapidaire de la chapelle.



N° Réf	Désignation	État de conservation	Emplacement de conservation	Provenance	Photographie
1	Section moulurée x 2	Bon état de conservation, l'un des deux élément est couvert de microoragnismes	Contre le mur de clôture nord, à l'intérieur de la chapelle du Saint Sépulcre		
2	Moulure retable 1	Pierre crayeuse Bon état de conservation du matériaux pierre. des casses sont observable sur la partie sommitale ainsi qu'au niveau des guirlandes de fleurs	Sous le retable, partie centrale, côté gauche	Retable	
3	Moulure	Pierre très fragile, bloc arraché et fissuré en travers	Sous le retable partie centrale, côté gauche		
4	Moulure retable 2	Pierre crayeuse Bloc intègre au niveau de la moulure, avec découpe nette du bloc sur la partie latérale. Les guirlandes de fleur pendantes sont manquantes.	sous le retable, partie centrale, côté droit	Retable	
5	Élément sculpté	Bloc intègre, avec goujon métallique	Sous la retable partie centrale, côté gauche		
6	Élément de modénature	Trace d'une casse, bloc en bon état de conservation général	Devant les colonnes du retable, côté droit		

N° Réf	Désignation	État de conservation	Emplacement de conservation	Provenance	Photographie
7	Moulure retable	Pierre crayeuse Casse de la guirlande de fleur et de la moulure côté gauche	Sur bastaings, devant le mur sud	Retable	
8	Élément sculpté retable	Pierre crayeuse Fragment de bloc, bon état de conservation, léger encrassement	Dans la niche du mur sud	Retable	
9	Élément sculpté retable (guirlande de fleur)	Pierre crayeuse Fragment de pierre, pierre fragilisée, surface poudreuse	Niche dans le mur sud	Élément correspondant aux guirlandes basses du retable	
10	Moulure	Fragment de bloc	Niche dans le mur sud	Élément correspondant à une moulure (boudin)	
11	Élément sculpté retable	Fragment de bloc	Niche dans le mur sud	Élément correspondant à la couronne d'épine centrale du retable	
12	Élément sculpté retable (guirlande de fleur)	Pierre crayeuse Fragment de pierre, pierre fragilisée, surface poudreuse	Niche dans le mur sud	Élément correspondant aux guirlandes basses du retable	
13	Élément sculpté retable (guirlande de fleur)	Pierre crayeuse Fragment de pierre, pierre fragilisée, surface poudreuse	Niche dans le mur sud	Élément correspondant aux guirlandes basses du retable	
14	Élément sculpté retable (guirlande fleur)	Pierre crayeuse Fragment de pierre, pierre fragilisée, surface poudreuse	Niche dans le mur sud	Élément correspondant aux guirlandes basses du retable	

N° Réf	Désignation	État de conservation	Emplacement de conservation	Provenance	Photographie
15	Élément sculpté retable (guirlande fleur)	Pierre crayeuse Fragment de pierre, pierre fragilisée, surface poudreuse	Niche dans le mur sud	Élément correspondant aux guirlandes basses du retable	
16	Élément sculpté		Niche dans le mur sud		
17	Élément sculpté retable	Pierre crayeuse Bon état de conservation, casse nette	Niche dans le mur sud	Retable, partie intermédiaire du bandeau	
18	Moulure retable	Pierre crayeuse Casse de la guirlande de fleur et de la moulure côté gauche	Placé à la verticale, le long du retable à droite	Retable	
19	Ensemble de blocs de pierre	Pierre crayeuse		Retable ?	
20	Statue 1	Plâtre Casse au niveau des deux bras ainsi que fissure traversante haut du bras droit	Niche dans le mur sud	Dans les photos d'archives (cf. étude ACV), la statue est située dans une des trois niches en partie sommitale du retable. Mais le matériau plâtre ainsi que la facture de l'œuvre semble nous indiquer qu'elles ont été placées ici à postériori.	

N° Réf	Désignation	État de conservation	Emplacement de conservation	Provenance	Photographie
21	Statue 2	Plâtre Casse au niveau des deux bras	Niche dans le mur sud	Dans les photos d'archives (cf. étude ACV), la statue est située dans une des trois niches en partie sommitale du retable. Mais le matériau plâtre ainsi que la facture de l'œuvre semble nous indiquer qu'elles ont été placées ici à postériori.	
22	Trois éléments de bras et mains	Casses nettes, goujon métallique dans la section de bras	dans la niche	statue en plâtre située dans la niche	

PROTOCOLE DE **RESTAURATION**

PROTOCOLE DE RESTAURATION

PROTOCOLE DE RESTAURATION

La pérennité de l'œuvre sculptée dépend de la suppression de cette dégradation active. C'est pourquoi nous proposons d'isoler la clôture de la chapelle du sol au moyen d'une feuille de plomb.

Les blocs de pierre nécessitent un traitement de dessalement. Les fortes concentrations de sels nous encouragent à préférer *l'usage de bains de dessalement pour les parties supérieures*. Ce dernier implique le référencement et le démontage pierre par pierre d'une partie de la clôture.

La partie basse pourra également être déposée, ou traitée sur site *par compresse de dessalement*.

Le tableau ci-contre reprend l'ensemble des étapes du protocole de restauration que nous vous proposons.

ESSAIS ET CONTRÔLE QUALITÉ

En complément du diagnostic dressé préalablement, le restaurateur procédera à la mise en œuvre d'essais qui conditionneront l'exécution du chantier de restauration. Des zones tests seront retenues en collaboration avec le Cabinet ACV Architecte et le LRMH et feront l'objet d'essais de :

- *Nettoyage primaire*
- *Dessalement*
- *Préconsolidation* par agent consolidant

L'efficacité de ces essais de restauration sera contrôlée par le laboratoire BPE. Les résultats seront soumis à la Maîtrise d'Œuvre et au Laboratoire de Recherche des Monuments historiques, pour validation de protocole.

Intervention	Technique	Essais
Nettoyage Primaire	Dépoussiérage de la pierre au pinceau et aspiration	Opération effectuée avant les essais de restauration
Purge des joints	Purge minutieuse des joints afin de veiller à la bonne conservation de la pierre	
Dépose partielle [ou totale] des murs de clôture	Référencement des blocs, dépose et conditionnement sur palette	
Dessalement	Compresse de dessalement Bain de dessalement	Essai de compresse de dessalement sur site Possibilité de procéder également à un test de dessalement par bain
Séchage naturel de la pierre		
Consolidation	Traitement de consolidation à partir de silicate d'éthyle ou silicate de lithium	Test de consolidation après dessalement
Remontage des blocs	Remontage des blocs d'après calepinage effectué avant dépose	
Rejointoiement	Rejointoiement à partir d'un mortier traditionnel à base de chaux	Formulation soumise à validation

NETTOYAGE PRIMAIRE

NETTOYAGE PRIMAIRE

Cette première phase de nettoyage réalisée par technique croisée d'aspiration et de brossage permettra d'éliminer les dépôts de poussières non indurés.

Ce brossage pourra être réalisé au pinceau de fibres végétales (de type tampico) sans risque de rayure sur le parement. En fonction de l'état de surface de la pierre, un dépoussiérage à l'aide d'une soufflette pourra lui être préféré.

Les déchets dégagés seront collectés puis évacués pour traitement par les organismes compétents.

Le dépoussiérage représente une phase importante du traitement dans la mesure où il permet de prendre connaissance des éléments et de leur état de conservation. Cette étape nous permettra de compléter les informations déjà collectées.

DESSALEMENT TECHNIQUE DE BAIN ET D'ADVECTION

TECHNIQUE DE BAIN DE DESSALEMENT

La technique de dessalement de la pierre par bain consiste à placer les pierres dans des bains d'eau déminéralisée. Les sels sont solubilisés dans l'eau. Il est nécessaire de procéder à plusieurs bains successifs afin de débarrasser la pierre de la plus grande quantité de sels possible.

Les bains prennent fin lorsque les teneurs en sels sont inférieures ou égales aux seuils d'acceptabilité.

TECHNIQUE D'ADVECTION

Le restaurateur procédera à la **réalisation de prélèvements de poudre de pierre pour dosage des sels solubles**. Sur la base des résultats de ces analyses, le restaurateur préconisera la mise en œuvre d'un dessalement par advection localisé.

Le principe de cette technique repose sur le principe de la reproduction, dans le corps de la compresse, de la **capillarité**. Les compresses seront composées d'un assemblage de sables de granulométrie très précise, de kaolin, d'attapulgite et de poudre de pierre ponce, permettant d'obtenir un réseau de capillaires denses dont le diamètre sera inférieur à 0,1 µm. La différence de taille entre les pores de la pierre polluée et les pores de la compresse provoque l'apparition d'une force capillaire qui oblige l'eau chargée de sels à migrer vers la compresse de dessalement.

L'objectif du dessalement sera d'obtenir les valeurs suivantes, ou approchantes :

- Abaissement des ions sulfates en dessous du seuil de concentration massique dans le support de : 0,4 %
- Les prélèvements seront réalisés par nos opérateurs, en trois profondeurs, puis transmis au laboratoire BPE Ingénierie pour analyse et dosage des sels solubles (anions et cations).

Le traitement de dessalement sera réalisé par application de compresses composées de **pulpe de cellulose, d'argile de type attapulgite, d'une charge siliceuse et d'eau déminéralisée (obtenue grâce à un osmoseur inversé, cf. fiche technique page 74)**.

Afin d'atteindre une **parfaite maîtrise de la composition des compresses et de leur parfaite concordance avec le support**, les compresses seront **formulées par les restaurateurs en fonction de la phase test de dessalement et des résultats d'analyses effectuées par le laboratoire indépendant BPE et sur la base d'une porosimétrie mercure**.

Le nombre de passes sera ajusté selon les teneurs en sels mises en évidence.

PROTOCOLE DE DESSALEMENT

Renouvelable jusqu'à obtention de teneurs résiduelles en sels acceptables (minimum 2 passes)

- **Humidification** du support à une profondeur adaptée pour permettre la mobilisation des sels solubles,
- **Application de compresses** à base de pulpe de cellulose et charge type sable et/ou kaolin,
- Après séchage du cataplasme, **dépose des compresses**.

Les compresses pourront être appliquées par le biais d'une machine de projection de type Kosner MK 50 ou similaire permettant un rendement de plusieurs centaines de mètres carrés par jour.

Un soin particulier sera apporté à la récupération des compresses chargées en sels solubles afin d'éviter toute diffusion en pied de chevet.

ANALYSES DE SELS

Les analyses de sels seront réalisées avant, pendant et après dessalement, selon les techniques déjà utilisées durant cette étude.

CONSOLIDATION DU SUPPORT

CONSOLIDATION DES ÉPIDERMES

Pour la consolidation après dessalement, nous proposons l'utilisation du **silicate d'éthyle de type Wacker** OH ou d'un **silicate de lithium de type Syra Nanominéralisant**. **Les deux consolidants seront testés.**

Nous serons très prudents dans la concentration du mélange mis en œuvre. Une surconcentration en agent consolidant pourrait en effet interférer sur la perméabilité du support.

Techniques d'application

La préconsolidation sera appliquée très localement sur les éléments de décors sculptés altérés pouvant être préservés. Par mesure de précaution, un test de prise en eau pourra être proposé (méthode de la pipe de Karsten) afin de connaître la capacité du support à absorber l'agent consolidant.

La consolidation sera appliquée :

- **au pinceau** en cas de pulvérulence de surface,
- **à la seringue** à cœur de la zone fissurée présentant une pulvérulence,
- **par imprégnation** à l'aide de compressees de cellulose en cas de désagrégation du support.

Afin d'assurer la parfaite réticulation de l'agent consolidant et donc la parfaite conservation préventive des éléments fragilisés par l'altération active de la matière, un délai de 2/3 semaines devra être observé avant la mise en œuvre du nettoyage.

De même, les conditions climatiques devront assurer une température minimale de 8 °C pour permettre l'application du produit.

Après durcissement de la pierre par réticulation des éléments la constituant, si son état le nécessite, il est

envisageable de mettre en place des pansements temporaires soit sous la forme de facing en intissé polyester avec adhésif Paraloid B72 en solution dans un mélange acétone/éthanol (75/15) soit à l'aide de pulpe de cellulose imprégnée de ce même adhésif.

Ces pansements seront éliminés par la suite en les réhumidifiant à l'aide du solvant de l'adhésif, un fixage sera alors effectué.

ESSAIS DE
DESSALEMENT

ESSAIS DE DESSALEMENT

TEST DE DESSALEMENT

Afin de vérifier notre protocole, nous avons réalisé des essais de compresses de dessalement en deux passes, à partir d'une compresse formulée sur site et composée d'argile, de sable, de ouate de cellulose et d'eau déminéralisée.

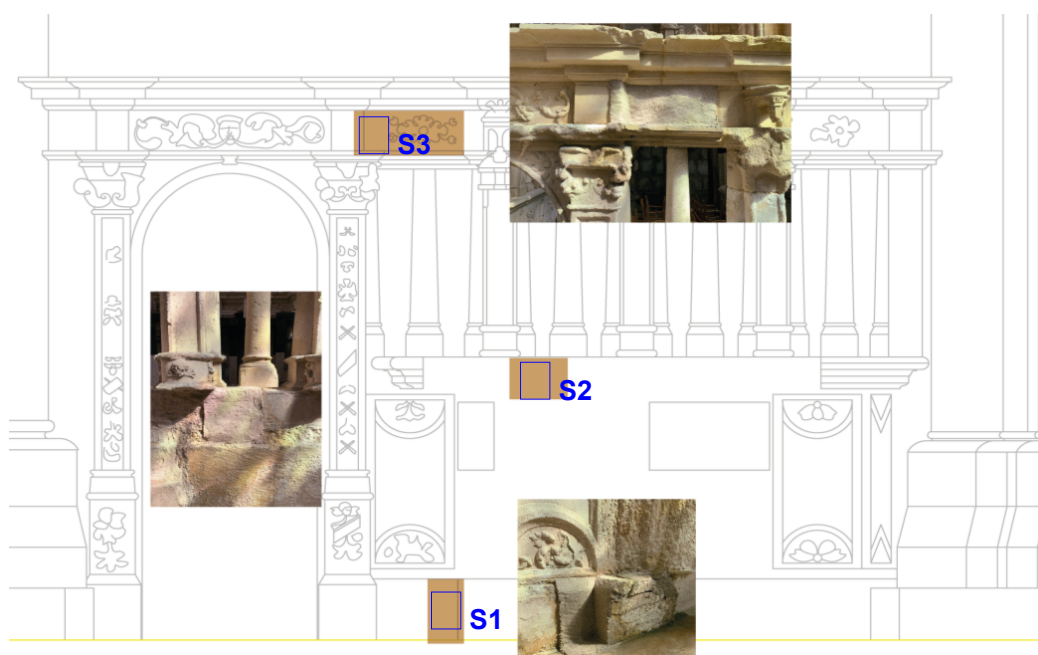
Les tests de compresses ont été réalisés aux mêmes emplacements que les premières analyses de sels (cf. pages suivantes). Les premiers résultats d'analyses ont permis de noter un allègement salin des nitrates de potassium uniquement.

Nous avons réalisé une seconde passe de compresse, pour laquelle nous sommes en attente des résultats d'analyses.

Cependant, à la vue des premiers résultats d'analyse, nous pouvons d'ores et déjà affirmer que le dessalement par compresse ne nous permettra pas de faire baisser les concentrations de sels en dessous des seuils d'acceptabilités mentionnés dans le rapport de BPE (cf. rapport du laboratoire BPE, page 34).

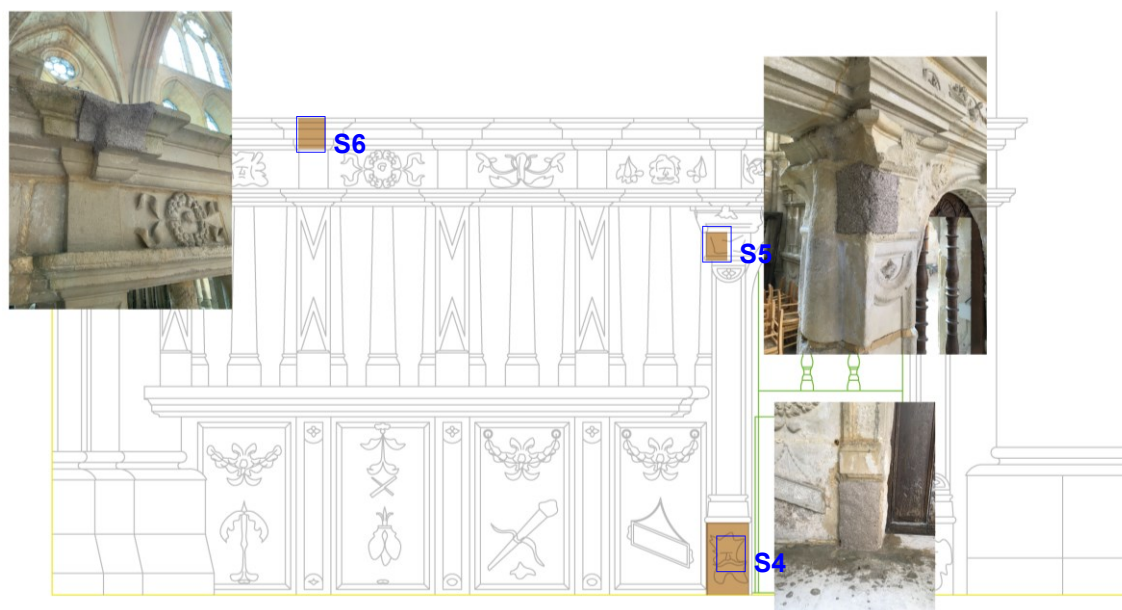
Nous recommandons par conséquent d'utiliser uniquement la technique de dessalement par bain.

Elévation externe – Clôture Ouest de l'enceinte



REFERENCE ECHANTILLONS	PROF. PREL (MM)	CHLORURES (%)	SULFATES (%)	NITRATES (%)	SODIUM (%)	POTASSIUM (%)	CALCIUM (%)	MAGNESIUM (%)
S1 Ouest H=60 mm PMH201144-1 Initial	0-10	0,06	0,46	0,06	0,04	0,04	0,66	0,03
	10-20	0,05	0,06	0,01	0,05	0,05	0,57	0,02
	40-50	0,05	0,06	0,01	0,02	0,02	0,59	0,02
S1 Ouest PMH201246-1 1^{ère} passe	0-10	0,05	0,29	0,01	0,01	0,01	0,71	0,04
	10-20	0,05	0,06	0,01	0,01	0,02	0,64	0,03
	40-50	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,63	0,03
S2 Ouest H=1210 mm PMH201144-2	0-10	0,06	3,48	0,08	0,04	0,04	1,56	0,07
	10-20	0,06	0,61	0,10	0,03	0,04	0,67	0,04
	40-50	0,06	0,29	0,10	0,04	0,05	0,61	0,04
S2 Ouest PMH201246-2 1^{ère} passe	0-10	0,06	2,17	0,08	0,02	0,03	1,26	0,04
	10-20	0,06	0,66	0,09	0,02	0,04	0,74	0,04
	40-50	0,06	0,16	0,09	0,03	0,04	0,67	0,03
S3 Ouest H=2280 mm PMH201144-3	0-10	0,32	3,42	4,18	0,13	1,29	1,37	0,27
	10-20	0,36	1,61	2,05	0,18	0,29	0,91	0,28
	40-50	0,36	1,22	1,82	0,19	0,23	0,82	0,25
S3 Ouest PMH201246-3 1^{ère} passe	0-10	0,29	4,58	1,52	0,14	0,15	2,03	0,27
	10-20	0,30	1,91	1,45	0,14	0,15	1,14	0,25
	40-50	0,30	1,22	1,38	0,14	0,15	0,97	0,21

Elévation externe – Clôture Nord de l'enceinte



REFERENCE ECHANTILLONS	PROF. PREL (MM)	CHLORURES (%)	SULFATES (%)	NITRATES (%)	SODIUM (%)	POTASSIUM (%)	CALCIUM (%)	MAGNESIUM (%)
S4 Nord H=370 mm PMH201144-4 Initial	0-10	0,09	7,15	0,38	0,05	0,11	2,47	0,20
	10-20	0,09	1,72	0,38	0,06	0,11	0,91	0,17
	40-50	0,09	0,84	0,35	0,05	0,10	0,73	0,11
S4 Nord PMH201246-4 1^{ère} passe	0-10	0,09	9,84	0,40	0,04	0,08	3,60	0,35
	10-20	0,09	1,37	0,39	0,04	0,10	0,86	0,17
	40-50	0,10	0,65	0,39	0,05	0,10	0,80	0,12
S5 Nord H=1700 mm PMH201144-5	0-10	0,39	2,88	1,59	0,16	0,36	1,18	0,28
	10-20	0,42	1,89	1,33	0,16	0,21	0,92	0,19
	40-50	0,42	1,59	1,42	0,18	0,24	0,88	0,19
S5 Nord PMH201246-5 1^{ère} passe	0-10	0,31	3,61	1,26	0,13	0,23	1,52	0,29
	10-20	0,30	2,37	1,01	0,13	0,15	1,26	0,18
	40-50	0,29	1,42	0,91	0,12	0,14	1,01	0,14
S6 Nord H=2200 mm PMH201144-6	0-10	0,41	1,37	2,05	0,22	0,23	1,00	0,23
	10-20	0,43	0,20	2,09	0,23	0,20	0,64	0,22
	40-50	0,42	0,15	2,02	0,23	0,22	0,61	0,20
S6 Nord PMH201246-6 1^{ère} passe	0-10	0,37	0,54	1,88	0,21	0,18	0,79	0,21
	10-20	0,37	0,08	1,75	0,20	0,18	0,67	0,19
	40-50	0,35	0,07	1,67	0,20	0,17	0,73	0,18

Tableau 14 : Comparatif des résultats des dosages en sels solubles obtenus à l'issu de la 1^{ère} passe de dessalement effectuée par les soins de l'entreprise H.CHEVALIER

FICHES
TECHNIQUES



C.T.S. France

s.a.r.l. au capital de 38 112,25 €

26 passage Thiéré - 75011 PARIS

Tél. 01 43 55 60 44 / 65 63 - Fax. 01 43 55 66 87

www.ctseurope.com - Email : ctsparis@aol.com ou cts.france@ctseurope.com

R.C.S. PARIS B 388 866 469 - Code TVA CEE : FR 13 388 866 469 - Siret : 388 866 469 000 17

ESTEL 1000

PRODUIT **CONSOLIDANT** POUR PIERRES NATURELLES
INDIQUÉ POUR LA RESTAURATION DE PIERRES DE NATURE SILICATIQUE ET
CARBONATEE,
DE BRIQUES, DE TERRE CUITE ET D'ENDUIT.

CARACTÉRISTIQUES

Le produit consolidant **ESTEL 1000** est composé d'**Esters Éthyliques de l'acide Silicique** en solution dans le White Spirit afin d'obtenir un degré optimal d'absorption jusqu'au noyau sain de la pierre.

Les **Esters Éthyliques de l'acide silicique** $[\text{Si}(\text{OEt})_4]_n$ réagissent avec l'humidité atmosphérique et se transforment en **gel de Silice** et alcool éthylique.

La réaction de polycondensation peut être schématisée de la manière suivante:



Le **gel de Silice** grâce à la forte liaison chimique qui s'instaure avec le support confère à la surface traitée de **nouvelles propriétés mécaniques**.

Des études exécutées en collaboration avec le **Département d'Ingénierie des Matériaux de l'Université des Études de Trente**, a permis de vérifier que le produit consolidant **ESTEL 1000** répond aux qualités suivantes:

- ne pas provoquer la formation de sous-produit secondaires nuisibles;
- être absorbé par la pierre uniformément et atteindre tout le matériel altéré, en le réunissant à la partie saine interne ;
- laisser le matériau traité perméable à la vapeur d'eau;
- laisser inaltéré l'aspect extérieur de la pierre en empêchant la formation de taches ou de films brillants et le jaunissement sous l'action des radiations UV.

EMPLOI

Le produit consolidant **ESTEL 1000** est prêt à l'usage, d'emploi facile et sûr, apte à être appliqué sur tout type de support minéral absorbant.

La surface à traiter doit être **sèche, propre**, assainie d'éventuels sels efflorescents présents et la température atmosphérique doit être comprise entre 10°C et 25°C. La surface à traiter ne doit pas être exposée au rayonnement direct du soleil.

Le produit consolidant **ESTEL 1000** peut être appliqué par immersion, au pinceau en soie ou en spray à l'aide de pulvérisateurs à basse pression (0,5 bars max.)

Le matériau à traiter doit être complètement saturé, jusqu'au refus du produit consolidant, de façon à atteindre le noyau sain.

Le produit consolidant **ESTEL 1000** complète sa réaction après environ **quatre semaines** à température ambiante de 20°C et une humidité relative de 40-50%.

INSTRUCTIONS

À cause de l'hétérogénéité des matériaux existants, malgré une expérience de presque vingt ans développée sur l'emploi des esters éthyliques de l'acide silicique et sur différents types de pierre, il est indispensable d'exécuter des tests préliminaires sur des échantillons du matériau que l'on veut traiter de façon à pouvoir vérifier :

- le degré de l'effet de consolidation que l'on obtient
- la quantité de matériau à employer (habituellement comprise entre 0,5-3,0 l/m²)
- l'absence de variations chromatiques sur la pierre traitée

Le produit réagit avec l'humidité atmosphérique; il est donc indispensable de refermer les récipients hermétiquement après l'usage.

En cas de surdosage de produit, il est possible d'en retirer l'excès, avant le durcissement, avec des tampons imbibés de solvants organiques minéraux (White Spirit, etc.).

DONNEES PHYSIQUES

Principes actifs	Tétra-éthyl-ortho-silicate
Contenu principes actifs (%)	75
Solvant	White Spirit D40
Viscosité (20°C)	4,9
Densité (Kg/l)	0,98 environ (à 20°C)
* Résidu sec (%)	35 minimum

(*) Détermination exécutée selon normes BRITISH BOARD OF AGREEMENT STANDARD (BBA)

EMBALLAGES

Estel 1000 est disponible en emballages de 1 - 5 - 25 litres.

STOCKAGE

6 Mois en récipients d'origine hermétiquement fermés et à l'abri de l'humidité.

(1) *La société C.T.S. srl est en mesure de fournir aux **Organismes Publics** qui en seraient intéressés une copie complète du rapport technique concernant le produit consolidant **ESTEL 1000**.*

Les indications et les données reportées dans la présente brochure sont basées sur nos expériences actuelles, sur des tests de laboratoire et sur une application correcte.

Ces renseignements ne doivent pas en aucun cas remplacer les tests préliminaires qu'il est indispensable d'effectuer pour s'assurer de l'aptitude du produit à chaque cas déterminé.

La société C.T.S. S.r.l. garantit la qualité constante du produit, mais ne répond pas de dommages éventuels causés par un usage incorrect du produit. En outre, elle peut à tout moment changer les composants et les emballages sans aucune obligation de communication.

SYRA-NANOMINÉRALISATION

CONSOLIDANT - MINÉRALISANT EN PHASE AQUEUSE



SYRA-NANOMINÉRALISATION est un produit mono composant ayant des propriétés durcissantes et pouvant être utilisé pour la restauration des matériaux endommagés par les intempéries et la pollution. Nanominéralisation n'est pas un facteur d'encroûtement. Il ne bouche pas les pores et la diffusion de vapeur n'est pas modifiée. L'aspect du matériau traité reste inchangé. Le traitement est sans conséquence s'il est suivi d'une application de peinture ou d'un produit de ragréage ; la matière active étant de même nature que les matériaux de construction.



AVANTAGES

- + Phase aqueuse
- + Applicable sur support humide
- + Sans COV (composés organiques volatiles)
- + Pénétration optimum
- + Protection anti-salissure

CARACTÉRISTIQUES

- Composition : silicate de lithium, eau, adjuvants
- Densité à 25°C : 1,15g /cm³
- Couleur : translucide
- Soluble dans l'eau
- pH : 12

APPLICATION

- Avant imprégnation d'une surface par Syra-Nanominéralisation, un nettoyage approfondi est nécessaire.
- Dans de nombreux cas, le nettoyage pratiqué ne peut se faire sans une certaine perte de matériaux. Si la surface est trop endommagée, on peut envisager un pré-traitement avec Syra-Nanominéralisation dilué. Après durcissement de la surface pré-traitée, le nettoyage (à l'eau ou chimique) peut être effectué. Dans le cas d'un nettoyage chimique, un rinçage abondant est indispensable.
- Vérifier l'état du support à l'aide d'un papier pH. Caractériser le support afin de déterminer la concentration en sels solubles (sulfate, chlorure, nitrate,...).
- Les surfaces à traiter doivent obligatoirement retrouver leur pouvoir absorbant : les surfaces seront débarrassées des croûtes, sels, salissures, mousses éliminées. À cette seule condition, il est possible d'entreprendre l'imprégnation proprement dite.
- Le produit peut être appliqué au moyen d'un pulvérisateur² ou à la brosse en soie²⁴. Pour une bonne imprégnation, les matériaux doivent être saturés.
- Laisser 6 à 12 heures s'écouler entre chaque traitement.

CONSEILS

- Éviter d'imprégner des surfaces exposées au soleil ou lorsque les températures sont inférieures à 5°C. La plage idéale d'application se situe entre 10°C et 25°C.
- Pour compléter le traitement consolidant, il est recommandé d'appliquer sur le support durci un hydrofuge, Syra-Fuge 111P ou Syra-Aquasil 101P.
- Rincer les outils à l'eau dès la fin de l'application.
- Nous recommandons l'accompagnement d'un laboratoire de contrôle afin de déterminer les zones à traiter ainsi que les quantités à appliquer.

SUPPORTS ADMISSIBLES

- Grès
- Pierres calcaires
- Tuffeau
- Enduits
- Briques

PRÉCAUTIONS D'APPLICATION

PROTECTION DES SUPPORTS

Lors de l'imprégnation, veiller à protéger fenêtres, surfaces vitrées, végétaux et toutes surfaces non soumises au traitement.

PROTECTION DES PERSONNES

Porter masque³⁷, gants³⁵, lunettes³⁶ et protection individuelles (ensemble pluie⁴¹).



INFOS COMPLÉMENTAIRES

CONSOMMATION : variable de 0,5 à 3L /m² suivant la porosité du support.

CONDITIONNEMENT : bidon polyéthylène de 20L.

STOCKAGE : tenir à l'abri du gel.

CONSERVATION : 12 mois en emballage d'origine.

² se référer au tableau ci-après pour la référence de l'outil.

Les renseignements techniques fournis sont donnés de bonne foi, à titre indicatif. Ils ne pourront en aucun cas induire une garantie de notre part ni engager notre responsabilité lors de l'utilisation de nos produits. Cette fiche annule et remplace toutes les versions antérieures.

FICHE TECHNIQUE
Novembre 2017



ATELIERS DE FRANCE

*L'Atelier Chevalier est le service restauration de
l'Entreprise H.CHEVALIER,
membre du groupe ATELIERS DE FRANCE*



H. CHEVALIER

*26 rue Henri Regnault — CS 50027 - 92150 Suresnes
Tel : 01 45 06 83 33 — Fax : 01 45 06 83 34
contact@hchevalier.com*