

## Laboratoire de recherche des monuments historiques

29 rue de Paris, 77420 CHAMPS-SUR-MARNE

TEL : 01 60 37 77 80

Site internet : [www.lrmh.fr](http://www.lrmh.fr)

Courriel : [infos.lrmh@culture.gouv.fr](mailto:infos.lrmh@culture.gouv.fr)



# Contexte de la création du LRMH

## 1964 : Charte de Venise :

« La conservation et la restauration des monuments constitue une discipline qui fait appel à toutes les sciences et à toutes les techniques qui peuvent contribuer à la sauvegarde du patrimoine monumental ».

## 1967 : Mise en place d'une cellule de recherche

- **Jean Taralon**, inspecteur général des monuments historiques (**IGMH**), défend l'idée d'un laboratoire scientifique pour les monuments historiques.
- Recrutement de **Marcel Stefanaggi**, ingénieur-chimiste

## 1970 : installation à Champs-sur-Marne

- Installation du LRMH dans les communs du château de Champs-sur-Marne.
- Jean Taralon, directeur jusqu'en 1979.



Vue aérienne du château de Champs-sur-Marne

# La science et l'art : un dialogue ancien en quelques dates

1888 Berlin : création du premier laboratoire destiné à l'analyse des œuvres d'art par Friedrich Rathgen (1862-1942)

Première guerre mondiale : Londres, British Museum

1928 : USA, Boston : Fine Arts Museum

1931: France, Paris : Laboratoire du musée du Louvre

1934 : Belgique, IRPA (Institut Royal du Patrimoine Artistique)

1939 : Italie, Rome : Istituto centrale per il restauro

1959 : Italie, Rome : ICCROM

# LABORATOIRE DE RECHERCHE DES MONUMENTS HISTORIQUES

## STATUT

**Service à compétence nationale (SCN)**  
du ministère de la Culture.  
(Intervention gratuite au titre du service public)

## MISSIONS

- › Contrôle scientifique et technique (étude des matériaux, des phénomènes d'altération, des traitements de restauration, des conditions de conservation...)
- › Assistance à maîtrise d'ouvrage et à maîtrise d'œuvre
- › Recherche sur la conservation et la restauration
- › Diffusion des connaissances et formation

## CADRE D'INTERVENTION

- › Monuments historiques d'État, publics et privés (classés et inscrits), musées de France
- › Dans le cadre du contrôle scientifique et technique, d'études scientifiques, de programmes de recherche, etc.

## CONTACTS

**Directrice** : Aline Magnien

LRMH  
29 rue de Paris  
77420 CHAMPS-SUR-MARNE

**Courriel** : [fiche-demandeur.lrmh@culture.gouv.fr](mailto:fiche-demandeur.lrmh@culture.gouv.fr)  
**Tél** : 01 60 37 77 80

**Centre de documentation** :  
accès public sur rendez vous au 01 60 37 77 90

## DÉMARCHES «DEMANDEUR»

### QUI ?

Direction régionale des affaires culturelles,  
direction d'établissement public

### COMMENT ?

**Fiche demandeur obligatoire** à télécharger ici :  
[www.lrmh.fr/IMG/pdf/fiche\\_demandeur.pdf](http://www.lrmh.fr/IMG/pdf/fiche_demandeur.pdf)

La demande doit être faite en amont des travaux  
«dès l'intention de faire»  
(premier contact possible par courriel ou téléphone)

### GESTION DES DOCUMENTS

**Le demandeur met à disposition** :  
les études documentaires, études de diagnostic anciennes  
et en cours, les études précédentes (scientifiques,  
architecturales, etc.) **lors de la demande.**

- + La copie des rapports d'études scientifiques  
(si laboratoire privé)
- + Les échantillons prélevés et analysés par autrui  
(circulaire du 1<sup>er</sup> décembre 2009)
- + Tout autre document demandé spécifiquement  
par le LRMH

### Le LRMH produit :

notes et rapports scientifiques, présentations orales et  
publications

### POUR EN SAVOIR PLUS

- › Site internet : [www.lrmh.fr](http://www.lrmh.fr)

## PÔLES SCIENTIFIQUES

BÉTON



BOIS



GROTTES ORNÉES



MÉTAL



MICROBIOLOGIE



PEINTURE MURALE  
POLYCHROMIE



PIERRE



TEXTILE



VITRAIL



# Partenaires du LRMH

## Maîtres d'ouvrage

- État (conservateurs régionaux des monuments historiques)
- collectivités locales (maires, conseils généraux)
- propriétaires privés

## Maîtres d'œuvre

- architectes en chef des monuments historiques
- architectes du Patrimoine

## Restaurateurs

- restaurateurs libéraux
- entreprises de restauration

## Partenaires scientifiques

- réseau de laboratoires de l'Université, du CNRS, des grandes écoles
- réseau de partenaires scientifiques européens
- laboratoires privés et des centres de recherche industriels

# 3 Missions principales

## Études de cas sur les œuvres

- Identification des matériaux
- Diagnostic sur la détérioration et la conservation des matériaux
- Environnement des œuvres et conservation préventive
- Suivis de chantiers

## Recherche

- Mécanismes de dégradation
- Efficacité et durabilité des traitements de conservation
- Conservation préventive

## Diffusion des résultats

- Formations aux nouveaux matériaux et aux nouvelles technologies



Eglise Saint-Louis de Vincennes



Consolidation d'éprouvette projet Nanomatch



# Exemples de questions posées aux scientifiques

---

## Archéométrie :

- Quels sont les matériaux originaux ?
- Quelles sont les techniques employées par les artistes ?
- Datation ?

## Histoire de l'œuvre :

- Transformation éventuelle de l'œuvre ?
- Identification d'anciennes restaurations ?

## Diagnostic :

- Quel est l'état de conservation des œuvres, du monument ?
- Compréhension des mécanismes d'altération ? corrosion, pulvérulence...
- Quelle est la source des désordres ? Sels solubles, microorganismes...

## Prescriptions d'intervention :

- Que faire pour assurer la conservation des matériaux et des formes ?
- Comment garantir l'intégrité de l'œuvre, la réversibilité de l'intervention et sa durabilité ?

# Le Centre de ressources

## **Documentation sur la conservation et la restauration du patrimoine (90 000 documents environ)**

- 3852 ouvrages
- 833 actes de congrès, soit 12 792 articles
- 9858 tirés-à-part, thèses, mémoires, etc.
- 2279 rapports du LRMH
- 674 périodiques, dont 73 titres vivants
- Plus de 5500 dossiers d'œuvres ou de monuments
- 55 337 photographies noir et blanc (34000 diapositives couleur, 34000 images numériques)
- 17 vidéo-films

## **Plusieurs bases de données reliées en réseau, destinées aux restaurateurs, conservateurs, architectes et étudiants**

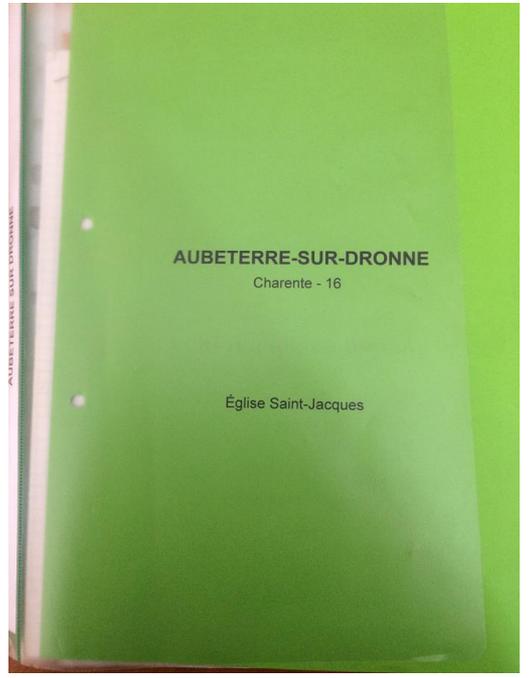
- Matériauthèque
- Iconothèque
- Fonds Annie Blanc
- Marmor
- Redmonest
- Dossiers géographiques
- Accès internet : [www.lrmh.culture.fr](http://www.lrmh.culture.fr)



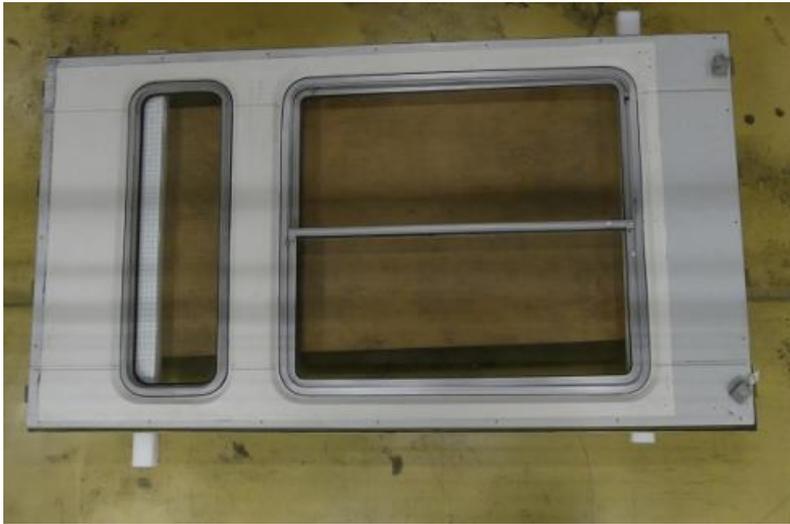
Du papier (plan de numérisation en cours : 5000 dossiers d'œuvres à numériser)

mais pas que...

Des objets...  
Coupes stratigraphiques,  
lithothèque, éprouvettes



L'élargissement de la notion et donc des matériaux du patrimoine : de la pierre au béton, du plomb à l'aluminium



Panneau CIMT, menuiseries en aluminium de Jean Prouvé, CNAM (ANR Archipal)

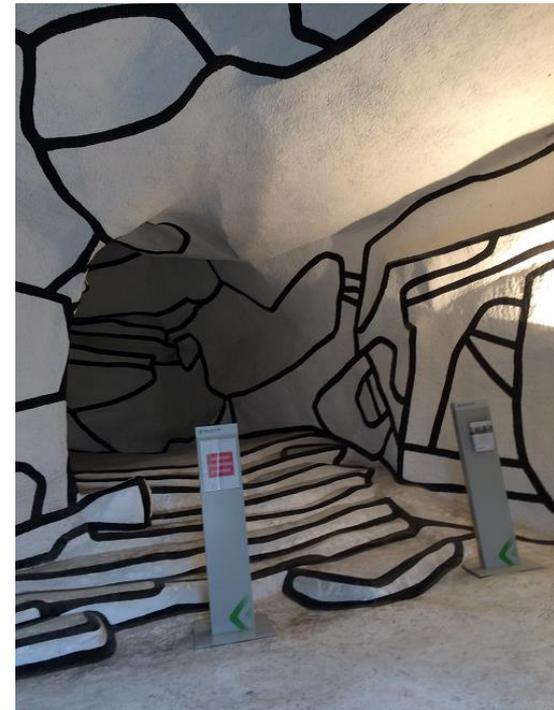


Couvent de La Tourette, Evreux (Rhône)

L'élargissement de la notion et donc des matériaux  
du patrimoine : de la peinture classique à la peinture  
industrielle



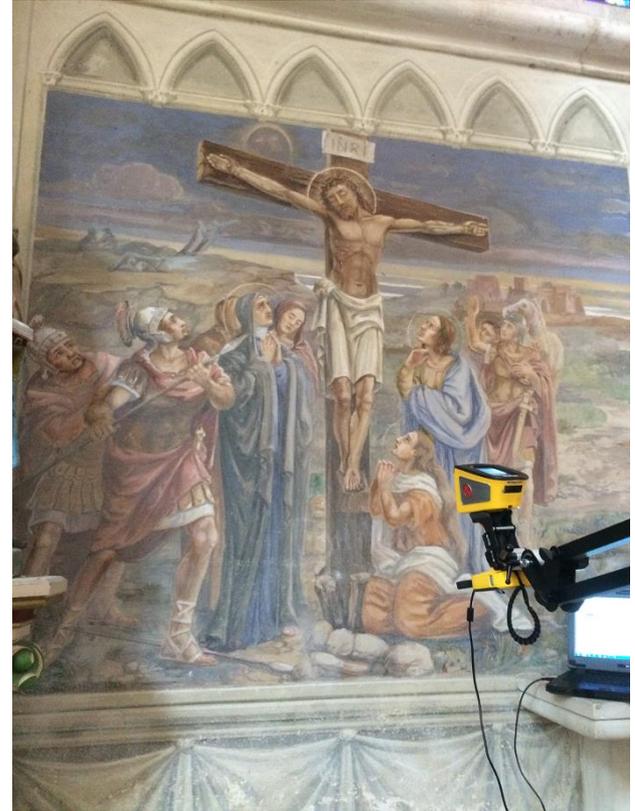
Jean Dubuffet, Ile St Germain, *Tour aux figures*





Tours aux nuages,  
Emile Aillaud (1902-1988), ca. 1974-78

L'élargissement de la notion et donc des matériaux du patrimoine : une action qui s'étend parfois au patrimoine non protégé et aux « Cendrillons de village »



Duilio Donzelli (1882-1966),  
église de Lacroix, Meuse

# Analyses, mais avec quoi ?

## ➤ Définition d'un capteur

Dispositif transformant une grandeur physique d'entrée en une grandeur analogue étalonnée

ex : la règle, l'œil, un microscope, un thermomètre ....

*Chaîne d'acquisition la plus performante et la plus biaisée :*

**l'homme**

## ➤ Différents types de capteurs

Capteurs non intrusifs :

mesure sans perturbation visible du système étudié (sans prélèvements)

œil, un thermomètre, sonar, radar, radiographie

Capteurs intrusifs :

mesure avec perturbations du système étudié (prélèvements)

analyse sanguine, identification des sels, thermomètre

**Une mesure non intrusive peut affecter le matériau par l'interaction entre le matériau et la sonde utilisée (Radiographie X, Gamma, laser ...)**

# Equipements



## Techniques d'analyse

- Fluorescence X
- Diffraction des rayons X
- Microscope électronique à balayage associé à une microsonde à dispersion d'énergie (MEB - EDS)
- Infrarouge à transformée de Fourier IRTF
- Chromatographie ionique
- Système d'analyse élémentaire par laserLIBS
- Laboratoire de pétrophysique
- Laboratoire de microbiologie



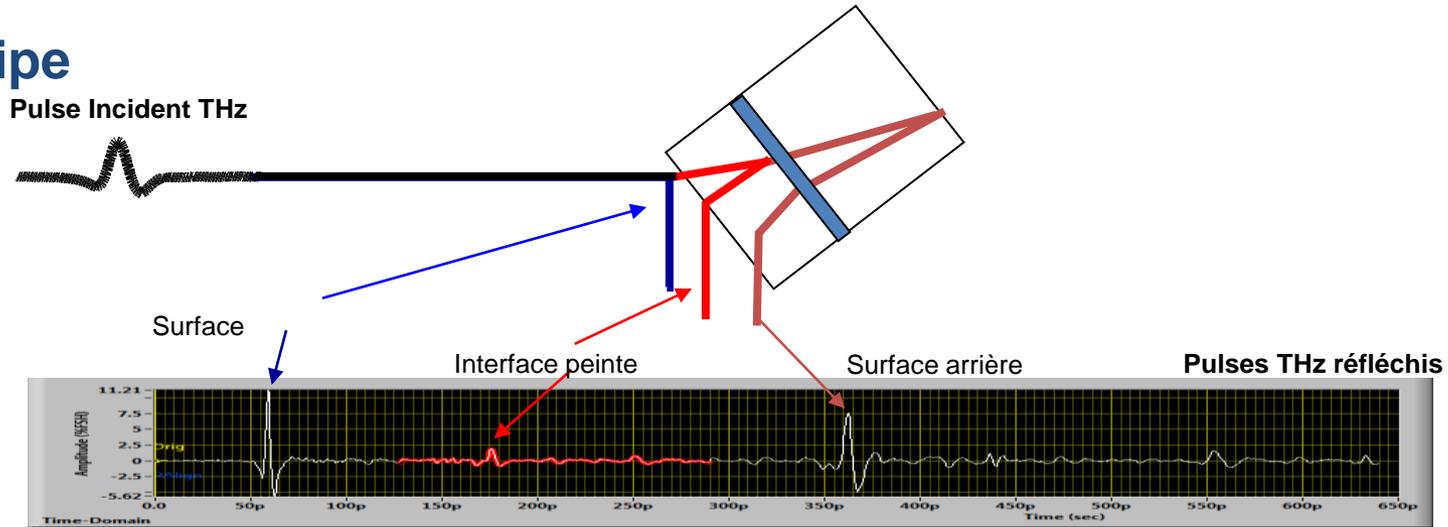
## Matériel d'essais

- Enceintes climatiques, à condensat
- Xénotest
- Appareils de diagnostic de terrain
- Colorimétrie
- Mesures de vitesse du son
- Mesures de potentiel
- Mesures de dureté superficielle
- Téraherz
- Thermographie infrarouge....



# Imagerie Terahertz

## ➤ Principe

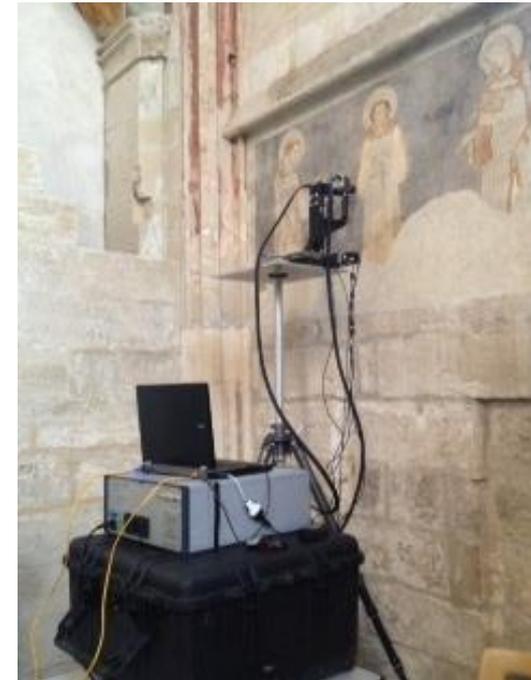


## ➤ Information obtenue

- Observation structure interne pour les matériaux diélectriques
- Identification de molécules pour la mesure par transmission
- Imagerie de la topographie de la surface

## ➤ Caractéristiques

- Analyse en surface et en profondeur (qqc cms)
- Fixe ou portable (in situ)
- Non destructif, sans contact, pas/peu de dépôt d'énergie
- Forte absorption H<sub>2</sub>O
- Résolution en profondeur ~100 μm optique

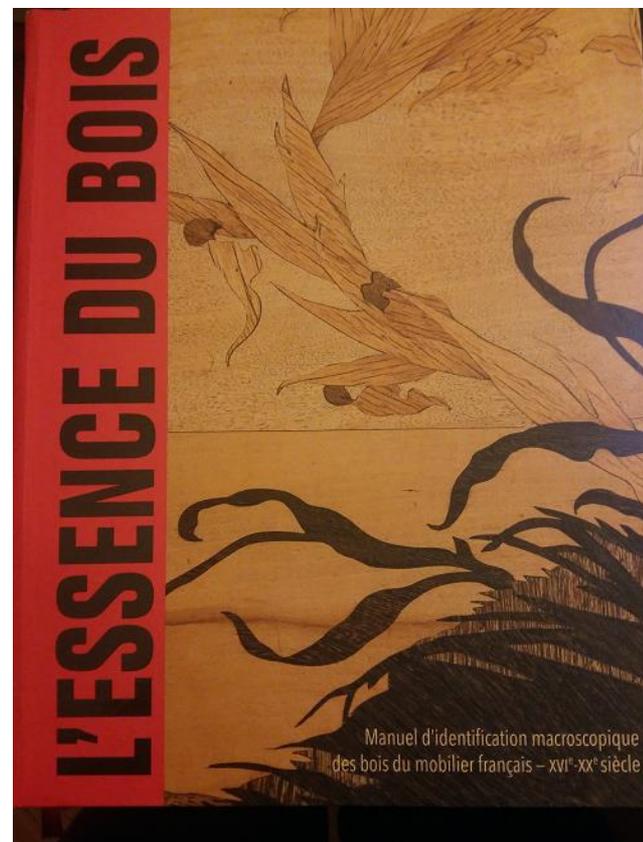


*Système THz portable, Villeneuve-lez-Avignon, Chapelle des fresques*

# Mais l'œil humain reste précieux : reconnaissance macroscopique des bois



Parquets de Condé-sur-Lescault



Ed. du Patrimoine, 2020



# De quelques chantiers/projets de recherche autour de quelques axes

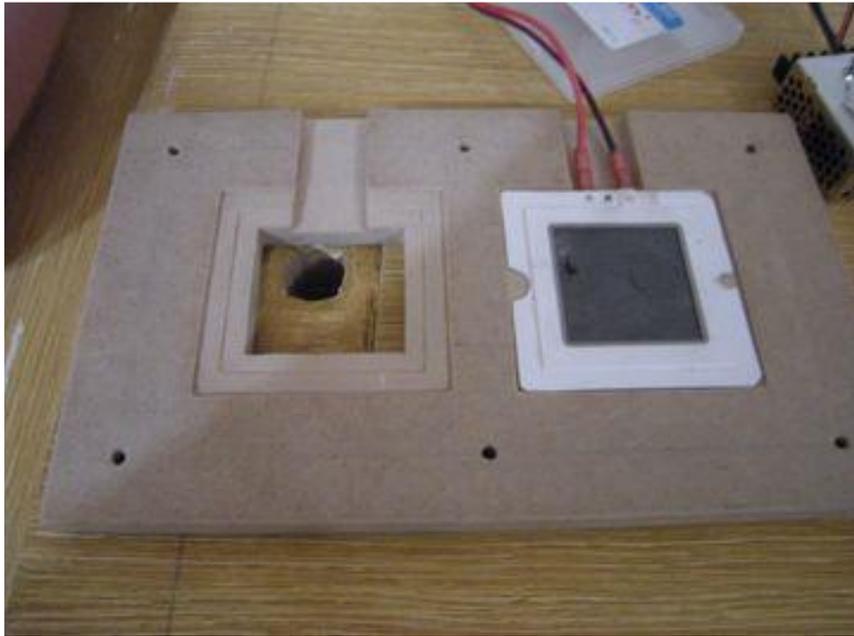
- Préservation et conservation du patrimoine : les vitrines à membrane
- Connaissance du patrimoine : le plâtre ancien des façades en Ile-de-France ; le programme REDMONEST sur le patrimoine en béton ; le rougissement des couvertures et sculptures en plomb
- A la recherche de nouvelles solutions : les huiles essentielles/les UV-C
- Le chantier Notre-Dame

# Mise en œuvre expérimentale d'une vitrine à membrane de polymère poreux



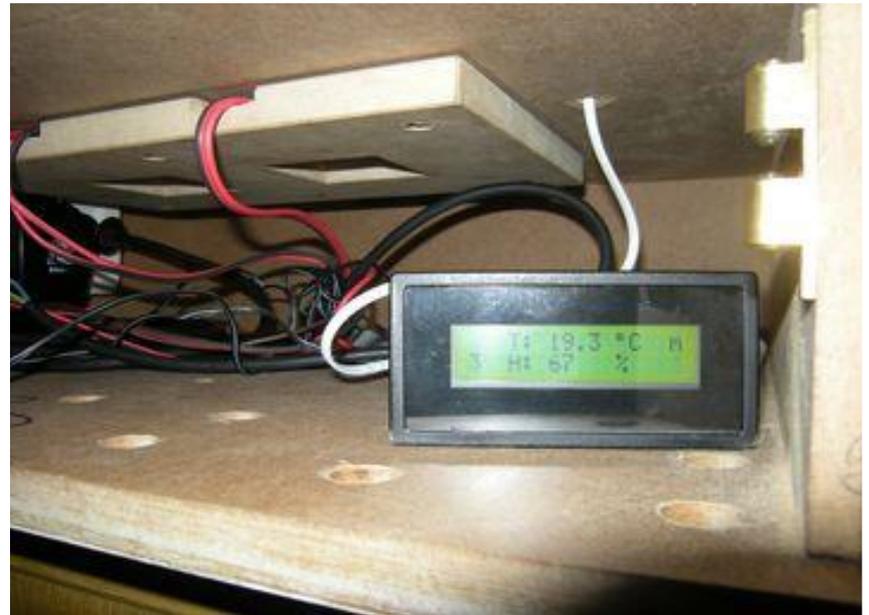
Le reliquaire de Saint Caprais dans sa vitrine (Saint-Vrain, Essonne)

# Mise en œuvre expérimentale



La totalité de la surface active doit être posée pour favoriser les échanges entre l'intérieur et l'extérieur de la vitrine.

Caisson technique : le boîtier contrôleur relié à une sonde climatique placée dans la vitrine



# Redécouverte et valorisation de matériaux et savoir-faire anciens

L'exemple du plâtre :

Une thèse à l'ENSA de Versailles : Tiffanie le Dantec, « Les façades enduites au plâtre d'Île-de-France : le déclin du plâtre extérieur, du 17e au 20e siècle », co-encadrement au LRMH.

Une étude menée au sein du Cercle des Partenaires du Patrimoine : Jean Ducasse-Lapeyrusse : Etude sur la composition des plâtres anciens en façade (Parex-Group et Pradeau-Morin), encadrement LRMH

- un partenariat de 10 ans sur les murs à pêches de Montreuil
- un colloque international avec Rempart à la Bergerie de Rambouillet
- des formations à l'école de Chaillot
- une plaquette d'information à consulter sur le site du LRMH

# Projet de recherche sur le plâtre (2015-2018)

Analyse des enduits anciens

Mise en œuvre :

Différences entre urbain et rural

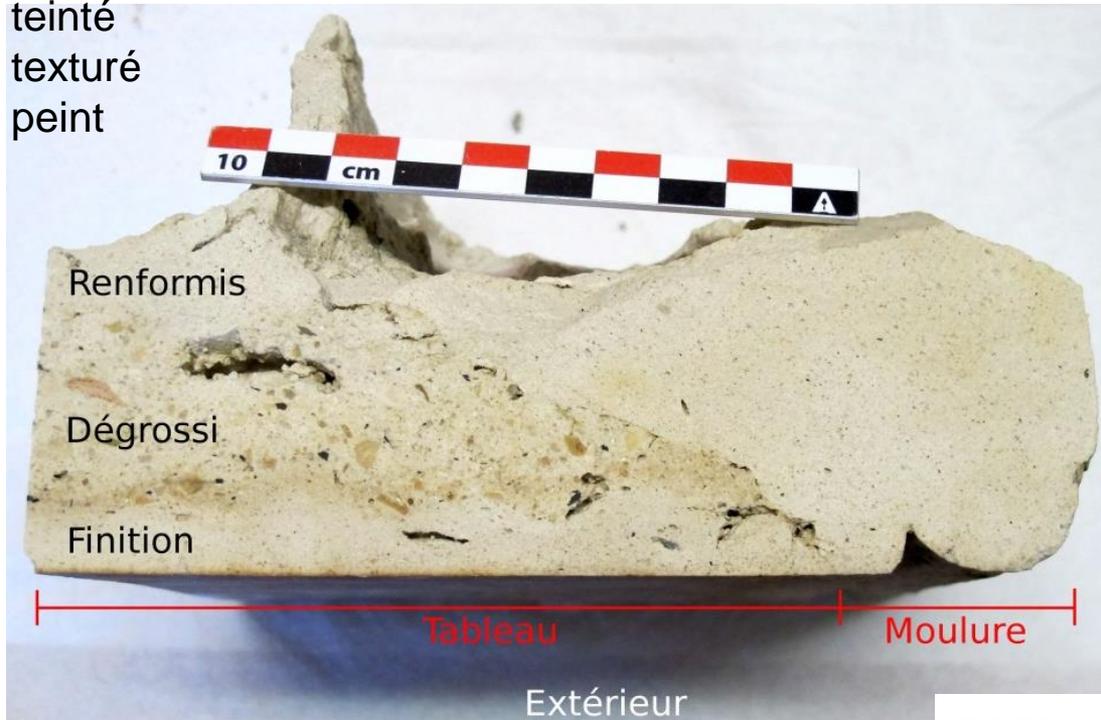
Enduit généralement en plusieurs couches

Grande variété de finition :

Plâtre teinté

Plâtre texturé

Plâtre peint



*Observation macroscopique d'une section d'enduit.*

*Hôtel Amelot de Bisseuil dit des ambassadeurs de Hollande, Paris, 1660*

**Granulométrie et taux de gâchage** différents pour chaque couche.

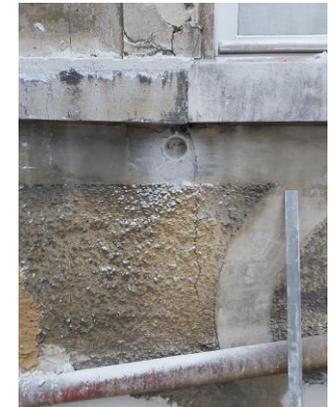
# Exemple récent :

Edifice du Marais, immeuble de rapport de 1675 avec un enduit d'origine.

- Questionnement de l'architecte sur les possibilités de conservation de l'enduit.
- Questionnement de l'entreprise sur les solutions pour la restauration des enduits en plâtre.



# Tests préalables à la restauration





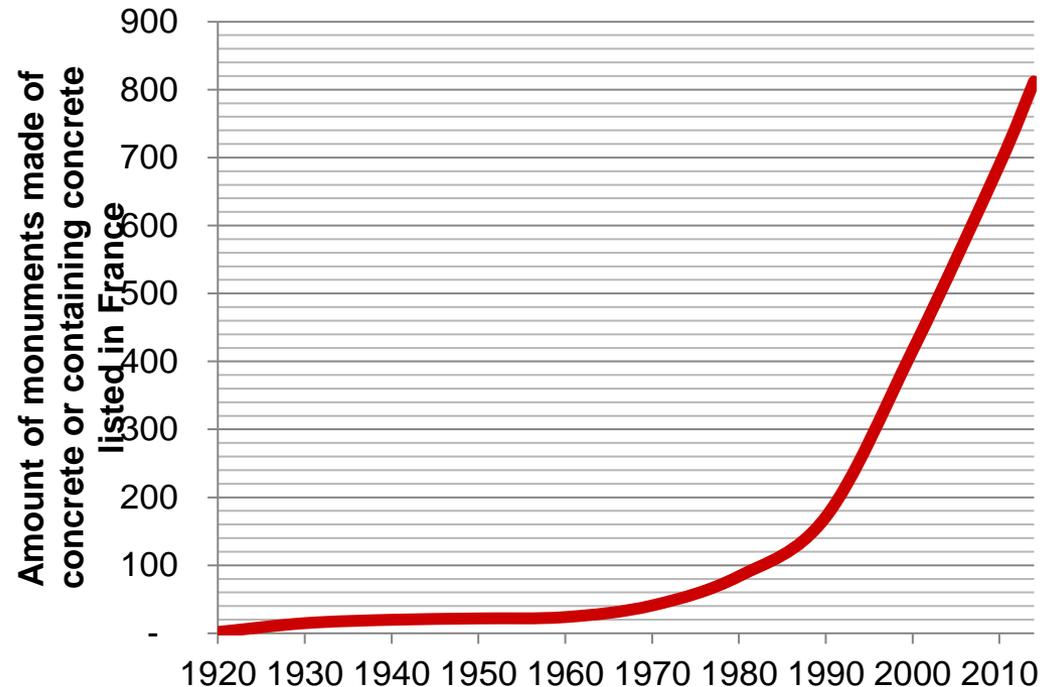
Essai de vieillissement *in situ*, site des murs à Pêches, Montreuil

# Redmonest – Inventaire

## Résultats de l'enquête en France



- **213** monuments en béton en **1996** (enquête CPP)
- **840 monuments** en béton protégés au titre des monuments historiques en France en **2017** (enquête Redmonest)- **950** en **2022**
- Patrimoine en **croissance constante**, en particulier à partir des années 90
- Une **base de données** en ligne sur le site WEB du LRMH



*E. Marie-Victoire*



 redmonest

# Les défis de la restauration

Développer le savoir-faire... Vers un compagnonnage? EX :

Patchs de réparation sur les monuments historiques

Programme PEPS (Getty et Historic England)



*Notre-Dame (Raincy)*  
**1994**



*Saint-Joseph (Le Havre)*  
**2003-2005**



*Sainte-Odile (Paris)*  
**2005-2008**



*Palais d'Iéna (Paris)*  
**2015-2016**

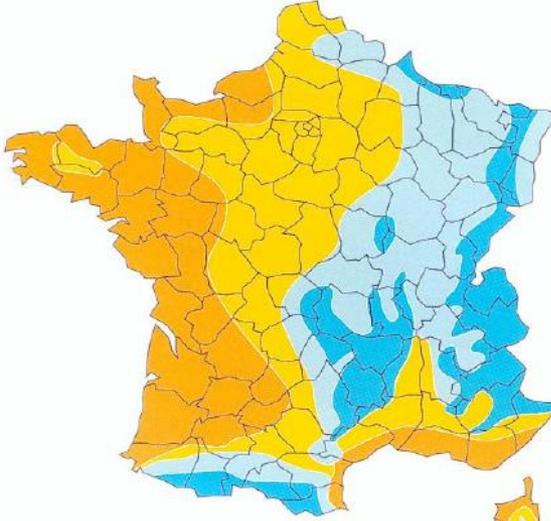
# Origine des pathologies → Pollution et climat

## Conditions les plus agressives

- CO2 : Urbain et industriel
- Chlorures : Maritime et Sels de déverglaçage

## Rappel

- 50 % en zone urbaine
- 16% zone maritime

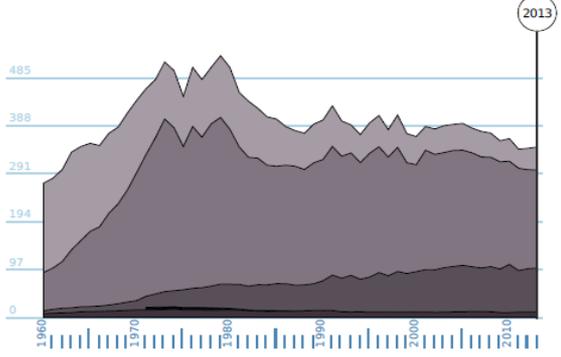


Orange	Hiver clément, salage peu fréquent
Yellow	Hiver peu rigoureux, salage fréquent
Light Blue	Hiver assez rigoureux, salage très fréquent
Dark Blue	Hiver rigoureux, salage très fréquent

NF EN 206-1 (2014)  
NF EN 1992-1-1 (2005)

### FRANCE Emissions territoriales

Territorial	1990 - 2013	2012 - 2013
Croissance annuelle	↘ -0.6%	↗ 1.0%



Emissions	MtCO2(2013)
Charbon	46
Pétrole	199
Gas	89
Gas Flaring (Torçhères)	Pas de données pour l'année sélectionnée
Ciment	10

[www.globalcarbonatlas.org](http://www.globalcarbonatlas.org)

# Les défis de la restauration

## La durabilité... Un enjeu déontologique, écologique et économique

Restauration en 2007



Nouvelle restauration en 2016-2017



# Rougisement des plombs de couverture

**Où ? Sur les couvertures et les sculptures en France et dans diverses contrées européennes**



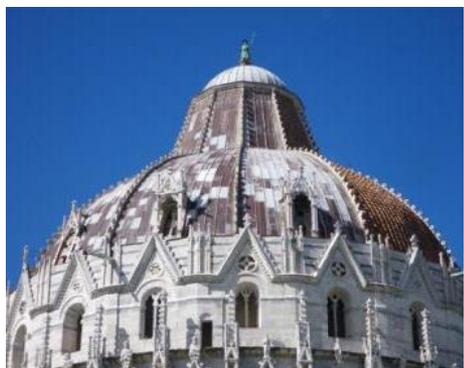
*Royal Chapel of Versailles, France*



*Detail of the Chapel*



*Detail of the Chapel*



*Pise Baptistery, Italy*



*Clermont-Ferrand cathedral, France*

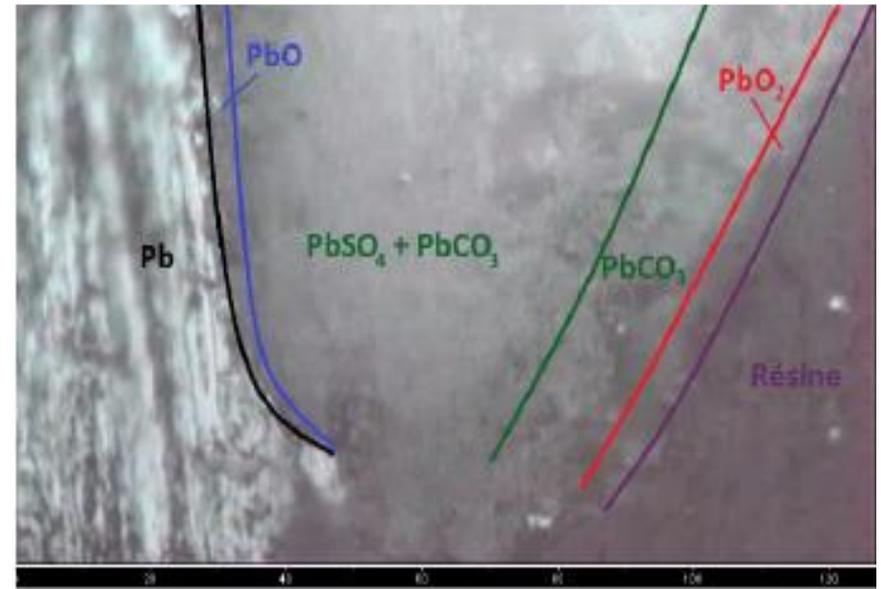
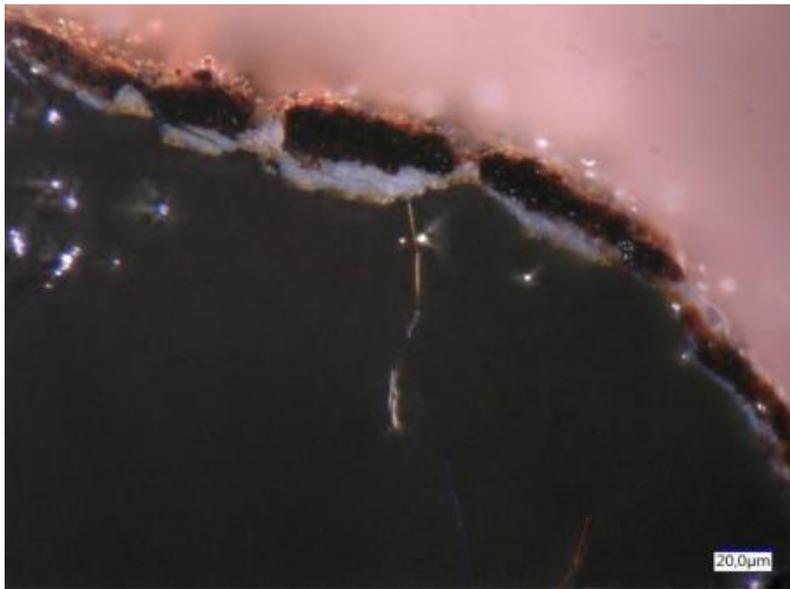


*Canterbury cathedral, UK*

# Rougisement des plombs de couverture

## Quoi? Caractérisation du produit formé

→ Investigations LRMH/LISE/SOLEIL, France



Cross sections of dark-red staining of the Royal Chapel of Versailles

D. Lopez (2018) and C. Mallet (2014) internships, LRMH

→ corrosion rouge est liée à la formation du PbO<sub>2</sub>

# Rougisement des plombs de couverture

## Pourquoi et comment ?



*Notre-Dame-de-Paris Cathedral, France*

Constat :

- Un phénomène récent (moins de 50 ans)
- Un mécanisme rapide et mal compris



*Notre-Dame-de-Paris Cathedral, France*

Recherches à poursuivre :

- suivi de cette évolution du phénomène sur les toits en plomb d'Europe
- suivi de la composition atmosphérique
- meilleure caractérisation des mécanismes de cette formation

# Contre les infestations microbiologiques: efficacité de l'huile essentielle sur biofilm

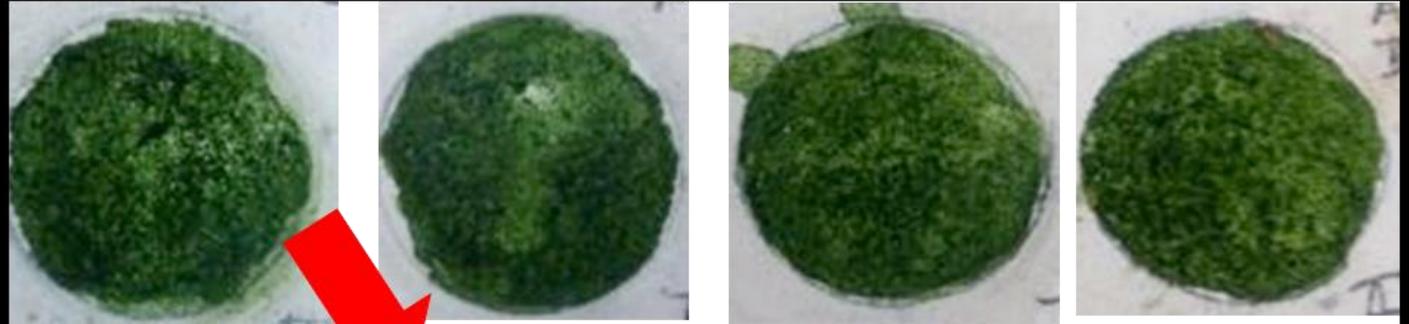
2%

2,5%

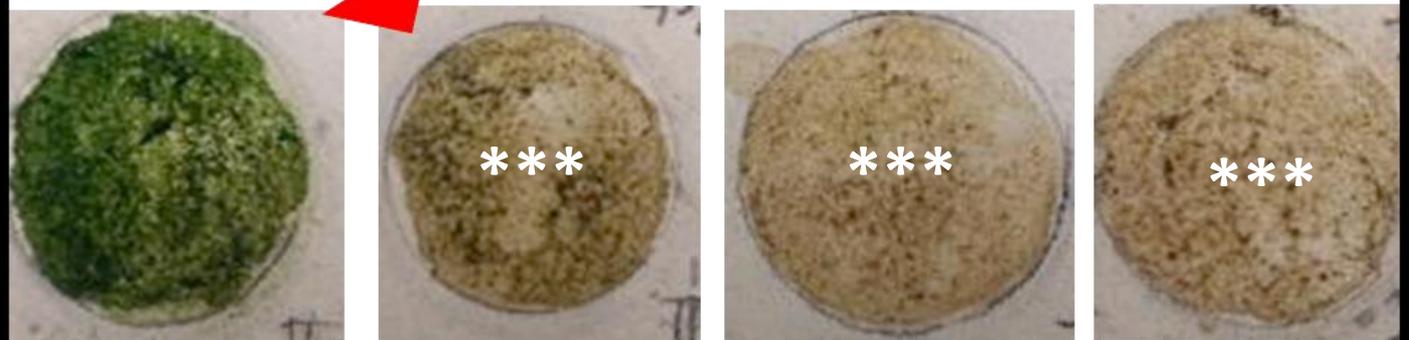
5%

10%

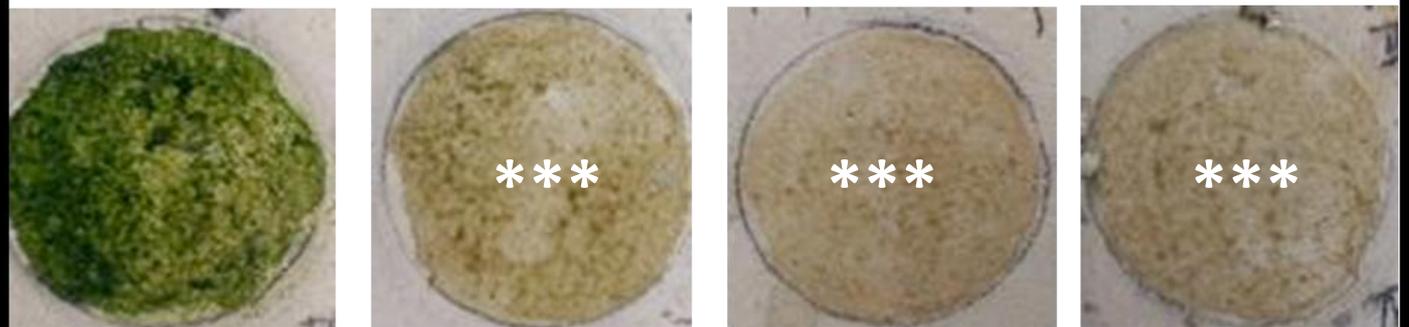
J0



J1



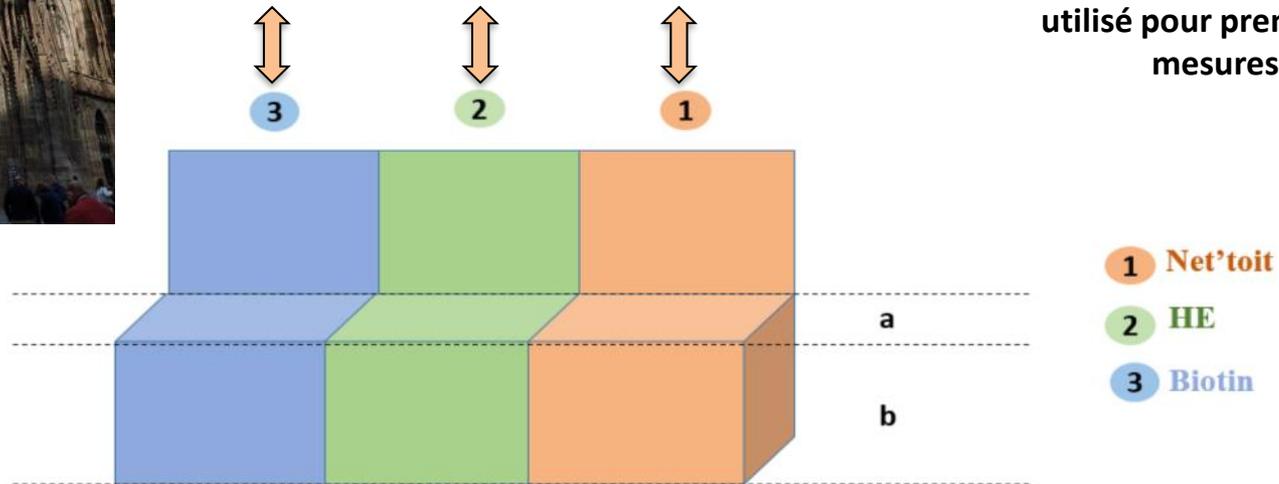
J2



# Essais de terrain : Cathédrale de Strasbourg



Photographie du patron utilisé pour prendre les mesures



Représentation schématique de la zone *escalier* au pied de la Cathédrale de Strasbourg

# Les résultats

1 Net'toit

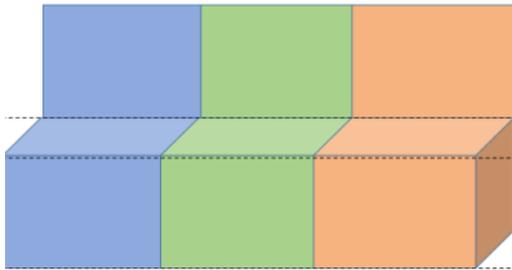
2 HE

3 Biotin

3

2

1



A



## Cloître de l'ancienne Abbaye Saint Martin de la ville de Laon (02)



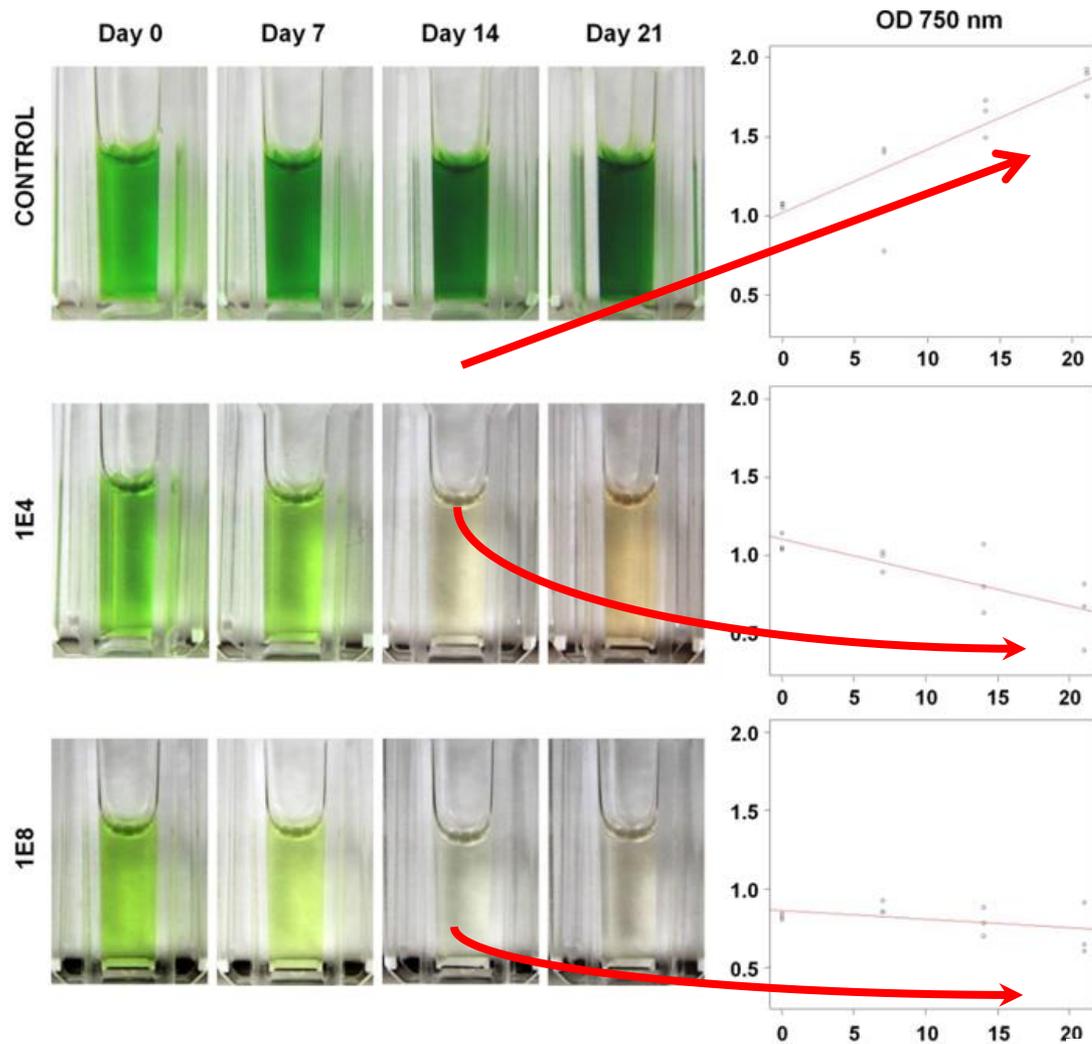
# L'utilisation des UV-C dans la lutte contre les colonisations biologiques



UV-C Box

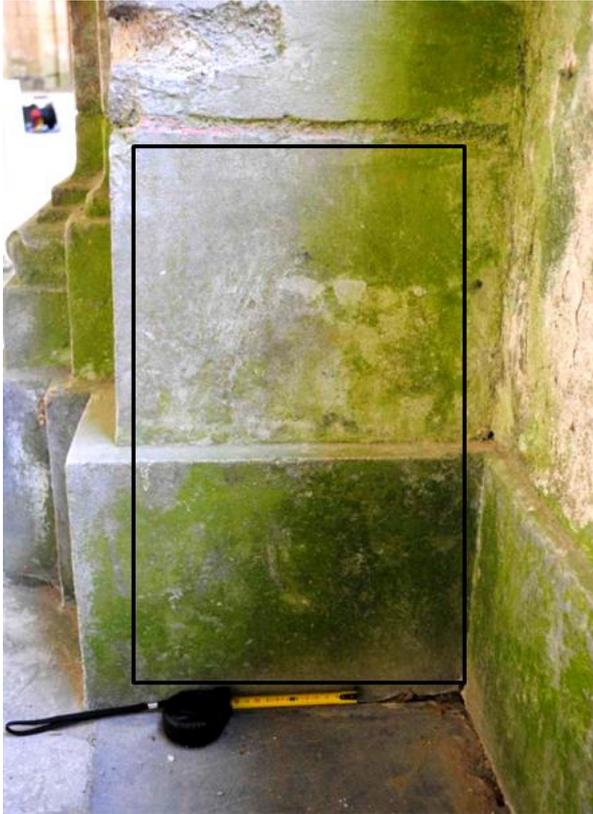
Les UV-C (280-100 nanomètres) sont les ultraviolets les plus énergétiques et les plus nocifs. Utilisés pour désinfecter les matériaux les plus divers, depuis longtemps, en médecine et dans l'industrie.

# Traitement UV-C contre les algues



Thèse  
Borderie, 2014

# Traitement UV-C contre les algues



Avant traitement



Après 16 heures  
d'exposition aux UV-C (60  
W)

Chantier scientifique Notre-Dame : état des lieux  
et perspectives

19-20 octobre 2020



# Des gravats aux vestiges

## retour sur un protocole expérimental et sur des collaborations inédites

Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques  
Direction régionale des affaires culturelles d'Île-de-France / service régional de  
l'archéologie  
Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France

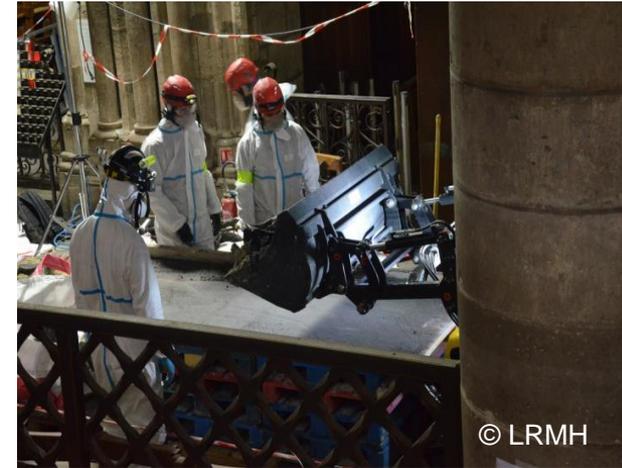


Direction régionale  
des affaires culturelles  
d'Île-de-France



Cliché C2RMF / A. Komen

# Procédures de tri



# Un tri collégial et collectif: des gravats aux vestiges

## Tri par matériaux : des destinées diverses



# Pavillons et barnums sur le parvis de ND : stockage provisoire des éléments et lieu d'un tri secondaire avant le départ pour Saint-Witz



# Des travaux d'assistance à maîtrise d'ouvrage

## Études et recherche *in situ*– Pierre, mortiers, maçonneries, déplombage

- Cartographie des matériaux , altérations, zones à purger/à conserver
- Approvisionnement pierre neuve
- Suivi assèchement maçonneries
- Tests de déplombage/nettoyage intérieur-extérieur



# Exemple de fiche d'inventaire des pierres du chantier (Pôle Pierre du LRMH)

voutains déposés par  
cordistes le 12/02/2020  
dans les voutes nef en  
place - entiers lors de la  
dépose



Dépôts du LRMH février 2020 -  
ouverture sac semaine du 10  
mars 2020 - état très dégradé -  
photo ci-contre le 16/03/2020



# Analyse et caractérisation des pierres

## 1- Issues du tri des vestiges

Demandes de la MOE et des BETs dans le cadre du Diag 2020  
Collaborations avec laboratoires prestataires : BPE, LERM...

## 2- Encore en place sur l'édifice

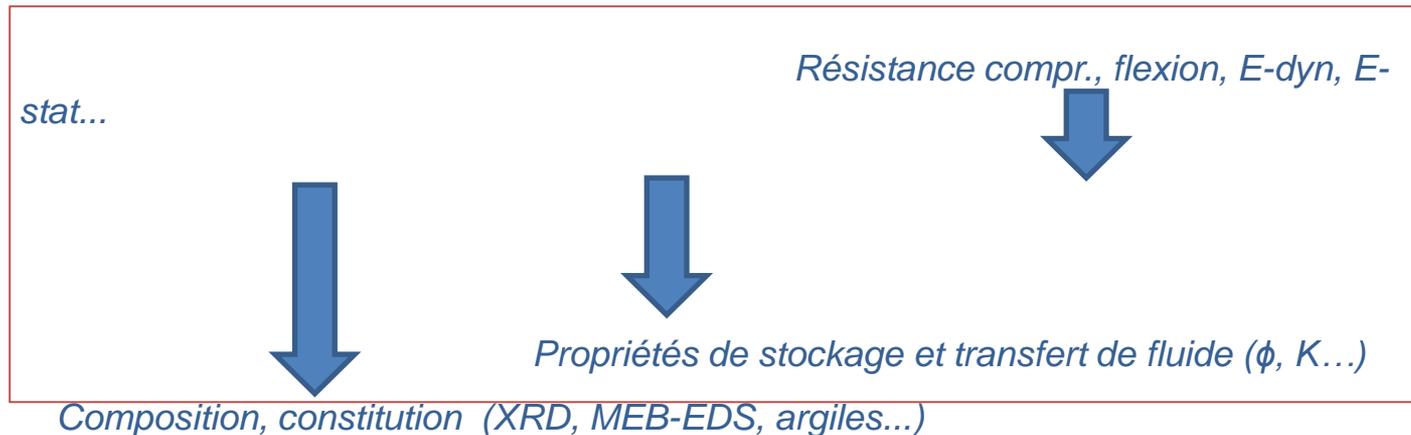
Carottes issues des campagnes de prélèvements pour la conservation-restauration de la cathédrale



Minéralogie - Chimie

Pétrophysique

Mécanique



- Impact du feu : évolution des profils de résistance en fonction de la source
- Impact de l'eau d'extinction : évolution de la microstructure, état de la contamination saline)

# Approvisionnement pierre neuve

*En préalable : caractérisation minéralogique et pétrophysique des pierres en œuvre*

- Prospection dans les carrières en exploitation: volumes disponibles, hauteurs de bancs, contraintes d'exploitation, caractérisation pétrophysique récente...
- Prospection géologique en vue d'éventuelles ouvertures de carrière
- Evaluation des contraintes environnementales et administratives, faisabilité



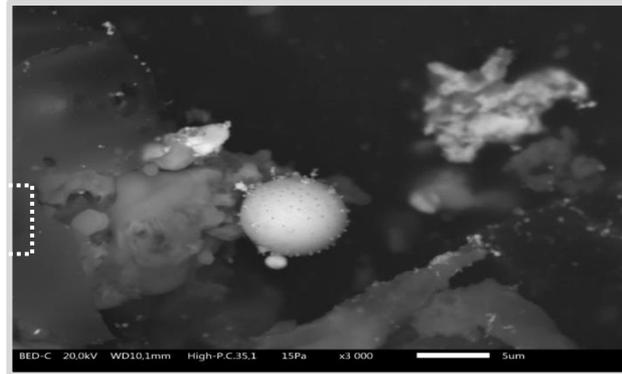
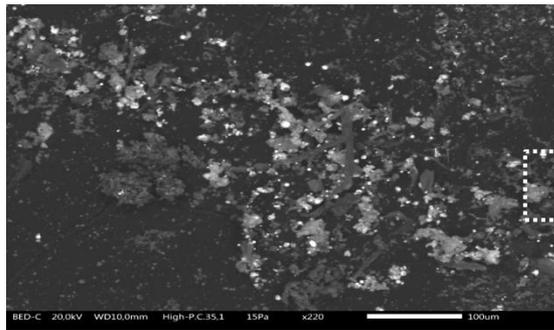
Zones de prospection privilégiées:

- Aisne
- Oise
- Val d'Oise

- Collaboration avec le Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM)
- Cadre administratif : Etablissement public chargé de la restauration de Notre-Dame
  - Essais : Centre technique des matériaux naturels de construction (CTMNC)

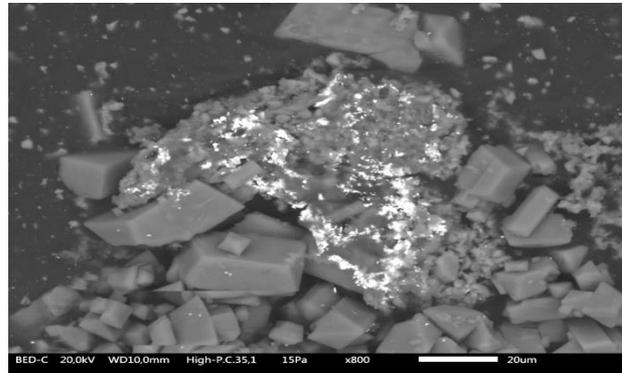
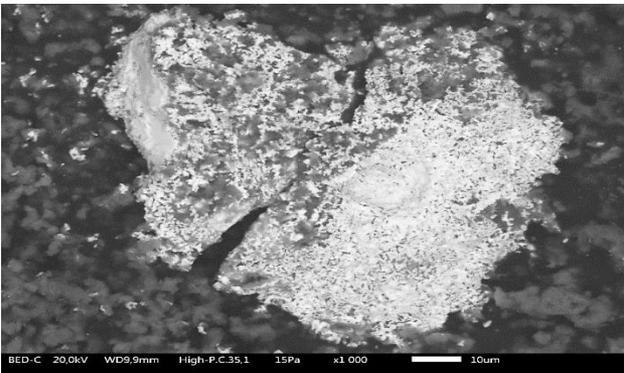
# Phases plombifères sur scotchs : deux types de morphologies

Morphologie 1 : Microbilles de quelques millièmes de millimètres, similaires à celles précédemment trouvées sur vitrail et tuyaux du grand orgue



Formes typiques de cendres volantes, association plomb & oxygène.  
Très probablement liées à l'incendie

Morphologie 2 : Amas dimension de l'ordre du centième de millimètres



Taille, composition et microstructure compatibles avec résidus de peintures au plomb. Compatible avec observations macro.

# Essais déplombage St Eloi

4 situations: parement vertical / voûte / moulures / zones lourdement altérées

Aspiration puis délimitation zones test



# Essais déplombage St Eloi

Rendu final hétérogène lié à l'hétérogénéité des supports et à d'anciens traitements  
Mise en évidence zones où les pierres ont été changées (mise en œuvre peu soignée!)



# Repérage spatio-temporel des claveaux

- **Projet REPERAGE** : Antoine Gros (MAP), Livio De Luca (MAP), Olivier Malavergne (LRMH), Lise Leroux (LRMH), Véronique Vergès- Belmin (LRMH), Thierry Zimmer (LRMH), Dorothee Chaoui- Derieux (SRA), Béatrice Bouet (SRA)
- **Projet Clas-Ter** : Dan Vodislav (ETIS), Valerie Gouet-Brunet (LASTIG), Livio De Luca (MAP)

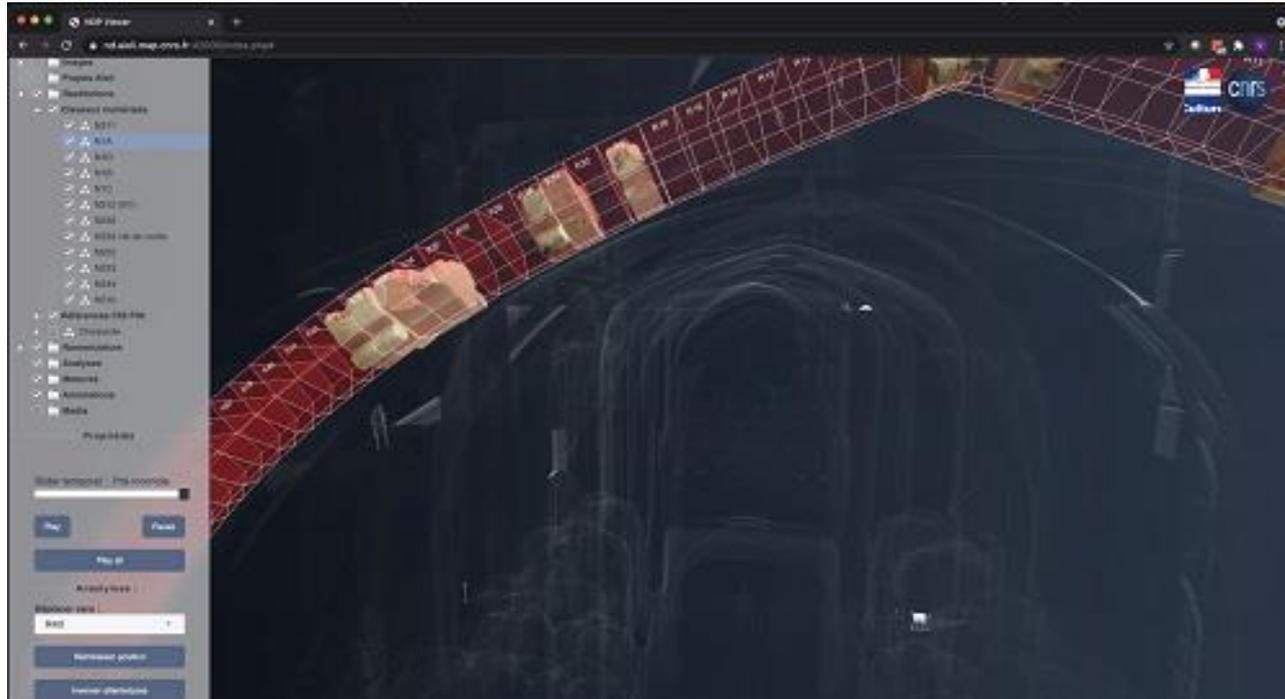


Annotation 2D/3D



- Projection 3D dans le repère général de la cathédrale (avant/après incendie)

# Représentation des claveaux récupérés dans les vestiges et numérisés - hypothèse de restitution sur l'arc dans la visionneuse 3D de l'écosystème N-D (LRMH, MAP...)



Repérage spatio-temporel des claveaux : pour l'instant, position retrouvée de 40 claveaux de l'arc doubleau de la nef ; numérisation 3D des claveaux (70 en tout) terminée et derniers traitements 3D en cours (fin des traitements le 15 mai). Un viewer 3D en ligne dédié aux claveaux est en cours de finalisation (mi mai normalement) ; développement d'un environnement d'anastylose interactif (coopération GT pierre, LRMH et SRA) pour le remontage de l'arc. Une piste 'très exploratoire' d'analyse des similarités morphologiques des claveaux à partir de descripteurs géométriques est en cours de démarrage, avec des mathématiciens du laboratoire IMATI du CNRS de Gènes. (Livio de Luca, CNRS, Laboratoire MAP, Marseille)

# Entre assistance à la MOE et recherche historique et matérielle : exemple de l'arc doubleau

## Matérialité et numérique



# Réseaux sociaux

Wikipédia



WIKIPÉDIA  
L'encyclopédie libre

Accueil  
Portails thématiques  
Article au hasard  
Contact

Contribuer  
Débuter sur Wikipédia  
Aide  
Communauté  
Modifications récentes  
Faire un don

Article Discussion

Lire Modifier Modifier le code Voir l'historique

Rechercher dans Wikipédia

Non connecté Discussion Contributions Créer un compte Se connecter



Wiki Loves Monuments : photographiez un monument historique, aidez Wikipédia et gagnez !



Facebook

facebook

Adresse e-mail ou mobile Mot de passe

Connexion

Informations de compte oubliées ?



Laboratoire  
Recherche  
Monuments  
Historiques

LRMH

@LRMHofficiel

Accueil

Publications

Avis

Photos



Linked in

LinkedIn

S'identifier

S'inscrire

Emplois

Entreprises

Salaires



Laboratoire de recherche des monuments  
historiques

Musées et institutions culturelles · Champs-sur-Marne, Île-de-France

· 173 abonnés



Voir les 8 employés sur LinkedIn →

Voir les offres d'emploi

Partager

Adresse introuvable

refox ne peut trouver le serveur à l'adresse  
secure.adnxs.com.

Veuillez vérifier la syntaxe de l'adresse (saisie  
de ww.exemple.com au lieu de