



CFMR

## Comité Français de Mécanique des Roches

Co-organisée avec CFGI



### Séance technique : Altération des pierres du patrimoine bâti

Organisée par Philippe Cosenza et Gilhem Deveze

Jeudi 8 octobre 2020 à 14h00

Visioconférence

- 14 : 00 Accueil et présentation de la séance technique**  
*Gilhem Deveze (Président du CFGI) et Philippe Cosenza (Président du CFMR)*
- 14 : 10 Influence des propriétés physico-mécaniques des minéraux argileux dans l'altération de la pierre monumentale**  
*Mathilde Tiennot (LRMH, Champs-sur-Marne)*
- 14 : 45 Fatigue Thermo-Hydro-Chemo-Mécanique du bâti historique: entre mythes et réalité**  
*Dashnor Hoxha (Laboratoire Lamé, Université d'Orléans)*
- 15 : 20 Caractérisation des altérations des pierres de construction – études de cas**  
*François Rassineux (ERM Etudes Recherche Matériaux)*
- 15 : 55 Pause**
- 16 : 10 Altération des pierres de construction utilisées dans le patrimoine bâti sous l'effet de hautes températures**  
*Martin Vigroux (CTMNC-Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction)*
- 16 : 45 Suivi non destructif de l'altération de marbres par méthodes acoustiques**  
*Nicolas Wilkie-Chancellor (Laboratoire SATIE, Université de Cergy-Pontoise)*
- 17 : 20 Discussion**
- 17 : 30 Fin de la séance**

# CFMR

# **Influence des propriétés physico-mécaniques des minéraux argileux dans l'altération de la pierre monumentale**

Mathilde Thiennot

*Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, Champs-sur-Marne*

Les pierres de notre patrimoine monumental présentent bien souvent des altérations et des dégradations naturelles, sous forme de fissures, de déformations des surfaces exposées, ou encore de détachements d'écaillés. Lorsque la pierre en œuvre subit des phases d'humidification et de séchage, les mécanismes de gonflement entraînent des dilatations plus ou moins importantes au sein du matériau. Les minéraux et la structure hétérogène des pierres influencent fortement ces phénomènes induits par de telles sollicitations naturelles. Ainsi les minéraux argileux peuvent avoir une dilatation à l'échelle microscopique importante et leur gonflement, répété cycliquement, peut conduire à l'endommagement et à l'altération du matériau. Deux pierres présentant de nombreuses dégradations sont caractérisées. Leurs déformations sont mesurées et l'impact des argiles est mis en évidence. L'évolution de leurs propriétés mécaniques avec des variations de conditions environnementales naturelles est également étudiée. L'impact de ces modifications, déterminantes dans l'initiation et la propagation de fissure au sein de la pierre, est présenté. Une approche couplant mécanique de la rupture et méthodes acoustiques non destructives est ainsi proposée pour mieux comprendre tous ces phénomènes de dégradation.

## **Fatigue Thermo-Hydro-Chemo-Mécanique du bâti historique: entre mythes et réalité**

Dashnor Hoxha

Avec la collaboration de N. Belayachi Ha D.P. Do

*Laboratoire Lamé, Université d'Orléans*

« La pierre est éternelle, la corrosion aussi ! » C'est une phrase que beaucoup de monde parmi les ingénieurs, artisans, ouvriers, historiens, architectes de la préservation et de la restauration des bâtiments historiques, ont dit ou ont entendu un jour. Elle exprime la réalité des mécanismes de dégradation à cinétique très lente. Parmi ces mécanismes la pollution aérienne en CO<sub>2</sub> et SO<sub>2</sub> a été souvent évoqué lorsqu'il s'agit de la dégradation des pierres calcaires. La présence du gypse dans les plaques formées par l'escamotage des pierres calcaires plaide en faveur de l'impact de ces pollutions dans la dégradation des pierres.

Après une description d'observations réalisées sur les pierres calcaires par différents auteurs ainsi que de résultats de recherches expérimentales au laboratoire pour reproduire les observations au laboratoire, nous abordons la modélisation THM-C des faits observés afin de comprendre le rôle de chacun des mécanismes supposés à l'origine des dégradations. Ces modélisations, en accord avec un nombre de résultats expérimentaux, semblent suggérer qu'il est peu probable que le gypse d'origine aérienne puisse précipiter à l'intérieur des pierres ou d'initier/faire propager une fracturation (un escamotage) en plaques. En même temps des mécanismes de type fatigue thermique et/ou hydrique combinés avec une variabilité spatiale des propriétés des pierres peuvent expliquer (du moins une partie) la dégradation observée.

# Caractérisation des altérations des pierres de construction – études de cas

*François Rassineux*

*ERM Etudes Recherche Matériaux*

La société ERM est un bureau d'étude spécialisé dans l'étude de l'altération des milieux géologiques, une partie de son activité s'est donc orientée sur les altérations affectant les pierres du patrimoine bâti historique. Cette orientation nous a conduit à étudier les dégradations affectant les édifices prestigieux sur l'ensemble du territoire et donc constitués de matériaux géologiques divers et variés en correspondance directe avec les substratums géologiques locaux. Notre approche des phénomènes d'altération supergène de ces matériaux sortis de leur milieu originel est essentiellement physico-chimique. Nous aborderons par quelques exemples concrets de chantier l'apport de notre démarche analytique et expérimentale appliquée à la recherche de solutions appropriées à la conservation ou la restauration de matériaux du patrimoine.

## **Altération des pierres de construction utilisées dans le patrimoine bâti sous l'effet de hautes températures**

*Martin Vigroux*

*Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction*

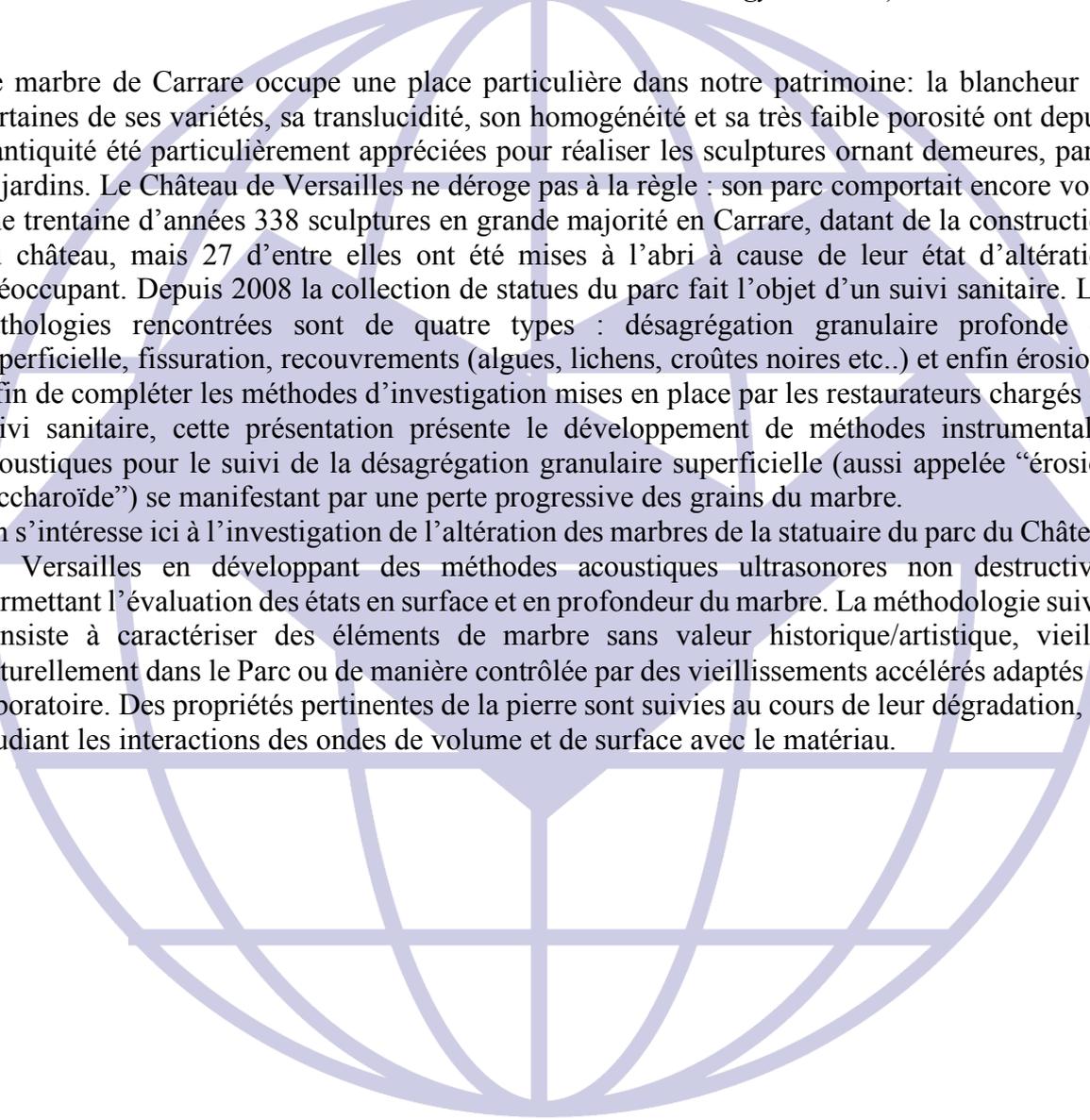
Ces travaux de recherche se sont inscrits dans le cadre d'une thèse de doctorat, initiée en Octobre 2016, et qui a bénéficié d'un financement de la *Fondation des Sciences du Patrimoine*. Les activités de recherche expérimentale ont été menées pour une grande partie au sein du Laboratoire de Mécanique et Matériaux du Génie Civil (L2MGC), rattaché à l'Université de Cergy-Pontoise (UCP), mais aussi au Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques (LRMH) du Ministère de la Culture et de la Communication.

Cette étude s'est intéressée à l'altération de diverses pierres naturelles de construction utilisées dans les monuments historiques lorsque celles-ci sont exposées à des conditions thermiques sévères, avec notamment les hautes températures renvoyant au phénomène incendie. Tout d'abord, des mesures expérimentales à chaud ont permis l'identification des mécanismes élémentaires au cours du chauffage et refroidissement. Ainsi, l'influence de la minéralogie sur la stabilité thermo-chimique de pierres calcaires et siliceuse a été avancée. De plus, des mesures de déformation thermique jusqu'à 1050 °C ont mis en avant le rôle de certains paramètres pétrophysiques sur le comportement mécanique de ces pierres à hautes températures. L'évolution des propriétés thermiques au cours du chauffage a été déterminée. Par ailleurs, l'évolution des propriétés résiduelles (résistance en compression, résistance en traction, module d'élasticité dynamique, porosité totale, coefficient de capillarité) après des cycles de chauffage-refroidissement jusqu'à 800 °C a été déterminée expérimentalement. Des observations microscopiques, couplées à des analyses de porosimétrie au mercure ont permis d'évaluer la modification du réseau poreux. Les résultats de cette étude contribuent au diagnostic des ouvrages et biens patrimoniaux en pierre ayant subi un incendie. Il s'agit d'une part de pouvoir évaluer les conséquences de l'incendie sur la tenue structurelle de l'ouvrage et d'autre part de déterminer les conséquences sur sa durabilité face aux différentes agressions environnementales.

# Suivi non destructif de l'altération de marbres par méthodes acoustiques

*Nicolas Wilkie-Chancellor*

*Laboratoire SATIE, Université de Cergy-Pontoise)*



Le marbre de Carrare occupe une place particulière dans notre patrimoine: la blancheur de certaines de ses variétés, sa translucidité, son homogénéité et sa très faible porosité ont depuis l'antiquité été particulièrement appréciées pour réaliser les sculptures ornant demeures, parcs et jardins. Le Château de Versailles ne déroge pas à la règle : son parc comportait encore voici une trentaine d'années 338 sculptures en grande majorité en Carrare, datant de la construction du château, mais 27 d'entre elles ont été mises à l'abri à cause de leur état d'altération préoccupant. Depuis 2008 la collection de statues du parc fait l'objet d'un suivi sanitaire. Les pathologies rencontrées sont de quatre types : désagrégation granulaire profonde ou superficielle, fissuration, recouvrements (algues, lichens, croûtes noires etc..) et enfin érosion. Afin de compléter les méthodes d'investigation mises en place par les restaurateurs chargés du suivi sanitaire, cette présentation présente le développement de méthodes instrumentales acoustiques pour le suivi de la désagrégation granulaire superficielle (aussi appelée "érosion saccharoïde") se manifestant par une perte progressive des grains du marbre. On s'intéresse ici à l'investigation de l'altération des marbres de la statuaire du parc du Château de Versailles en développant des méthodes acoustiques ultrasonores non destructives permettant l'évaluation des états en surface et en profondeur du marbre. La méthodologie suivie consiste à caractériser des éléments de marbre sans valeur historique/artistique, vieillissant naturellement dans le Parc ou de manière contrôlée par des vieillissements accélérés adaptés en laboratoire. Des propriétés pertinentes de la pierre sont suivies au cours de leur dégradation, en étudiant les interactions des ondes de volume et de surface avec le matériau.

# CFMR