



**HAL**  
open science

## Analyse d'images micro-tomographiques pour la conservation du patrimoine bâti.

Olivier Rozenbaum, Fahima Djaoui, Jean-Louis Rouet, Ary Bruand

► **To cite this version:**

Olivier Rozenbaum, Fahima Djaoui, Jean-Louis Rouet, Ary Bruand. Analyse d'images micro-tomographiques pour la conservation du patrimoine bâti.. 7 èmes Journées des Milieux Poreux, 2005, Bordeaux, France. 2p. hal-00101618

**HAL Id: hal-00101618**

**<https://insu.hal.science/hal-00101618>**

Submitted on 27 Sep 2006

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Analyse d'images micro-tomographiques pour la conservation du patrimoine bâti.

Olivier ROZENBAUM, Fahima DJAOUI, Jean-Louis ROUET, Ary BRUAND

*Institut des Sciences de la Terre d'Orléans*

*1A, rue de la Férollerie*

45071 ORLEANS CEDEX 2

email : rozenbaum@cnr-orleans.fr

## 1- Introduction

Les monuments historiques, aussi bien les bâtiments, que les statues et autres ouvrages d'arts accusent le poids des ans et sont dégradés, voire parfois fortement endommagés. Ces ouvrages sont des parties intégrantes de notre patrimoine et sont donc des œuvres d'art irremplaçables qu'il convient de protéger, entretenir et réparer. De plus, ils sont au cœur d'un colossal enjeu économique : le tourisme. C'est pour cela que de nombreux architectes, restaurateurs et scientifiques mettent en commun leurs efforts pour tenter de préserver ce patrimoine.

L'altération des pierres mises en œuvre commence en fait, dès que la pierre est extraite de la carrière, c'est-à-dire dès qu'elle est soumise au milieu atmosphérique. Elle est alors contrainte à un ensemble d'actions qui peuvent aboutir à terme à sa destruction. Les agressions subies par la pierre sont aussi diverses que complexes. On peut les classer suivant leurs origines :

- Des origines physiques comme l'action du vent, des pluies battantes, du soleil, du gel, des contraintes mécaniques, ...

- Des origines chimiques dues à la présence de sels et à la pollution urbaine ou agricole, ...

- Enfin, des origines biologiques telles que bactéries, microorganismes, mousses, lichens...

Ainsi, l'altération d'une pierre dépend de son environnement (au sens large du terme), mais aussi du type de pierre, c'est-à-dire de la nature même de ses constituants et de son réseau poreux.

Dans la majorité des cas, le principal vecteur de l'altération est l'eau. Sous forme liquide, elle rentre par capillarité dans le réseau poreux des pierres et peut, soit geler et induire des contraintes mécaniques, soit dissoudre les minéraux les plus solubles. Ainsi, la circulation de l'eau dans une pierre s'accompagne d'une dissolution, puis d'une recristallisation des minéraux lors de l'évaporation de l'eau. Pour une pierre mise en œuvre dans un bâtiment cette circulation n'est pas unidirectionnelle, car elle dépend des conditions hygrométriques et thermiques qui évoluent au cours des journées et des saisons. On observe ainsi un transfert d'eau et de matière vers l'intérieur du bloc (lors des précipitations ou grâce à l'humidité ambiante) puis vers l'extérieur (lors des phases d'évaporation). Il y a ainsi une modification dans le temps du réseau poreux. D'autre part, l'apport de composés exogènes sous la forme de particules ou de gaz, et ayant pour origine la pollution de l'atmosphère entraîne fréquemment des réactions chimiques et une évolution des minéraux présents à la surface des pierres exposées à une telle pollution. De nouveaux minéraux peuvent alors apparaître par précipitation à cette occasion alors que d'autres disparaissent par dissolution.

Ces effets se traduisent par une modification de la surface de la pierre (de quelques  $\mu\text{m}$  à plusieurs cm). Cette action peut parfois être bénéfique par la création d'une couche naturelle et protectrice que l'on nomme patine. Cependant, dans les autres cas, cette modification conduit à terme à un endommagement irrémédiable de la pierre.

## 2- Objectifs des études et travaux présentés

Nous cherchons à caractériser ces mécanismes d'altération et nous travaillons pour cela sur une pierre modèle, le tuffeau, qui est une pierre utilisée dans la construction des châteaux de la vallée de la Loire ([1], [2]). Les transferts s'effectuant dans un espace en trois dimensions, notre objectif est de décrire le milieu poreux 3D. Dans ce cadre, les travaux que nous présentons cette année concernent la caractérisation par microtomographie X de cette pierre modèle, sachant que les outils développés sont potentiellement utilisables pour un grand nombre de milieux poreux.

Les images que nous présentons ont été obtenues sur la ligne ID 19 de l'ESRF avec une résolution de  $0.25 \mu\text{m}$  et elles sont découpées en 8 sous volumes de  $2048 \times 2048 \times 256$  pixels. Cependant, l'analyse d'image de milieux aussi complexes (figure 1) nécessite au préalable de les segmenter avec des algorithmes qui

préservent au maximum l'information d'origine. Pour cela, nous avons conçu et développé une plate forme logicielle à interface graphique (figure 1), en utilisant le langage IDL (Interactive Data Language, Research Systems Inc., version 6.1). Notre logiciel permet d'utiliser et de contrôler un ensemble d'outils de traitement d'images 2D et 3D (filtrage et segmentation) basé sur les méthodes linéaires et la morphologie mathématique. Il est également possible de visualiser les volumes ou les plans de coupes de ces images en trois dimensions (figure 2).

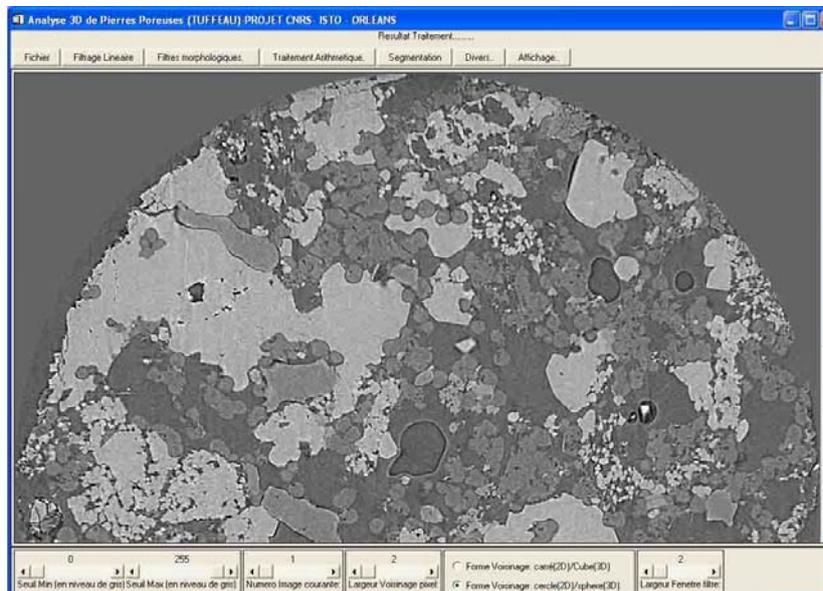


Figure 1 : Aperçu de l'interface graphique.

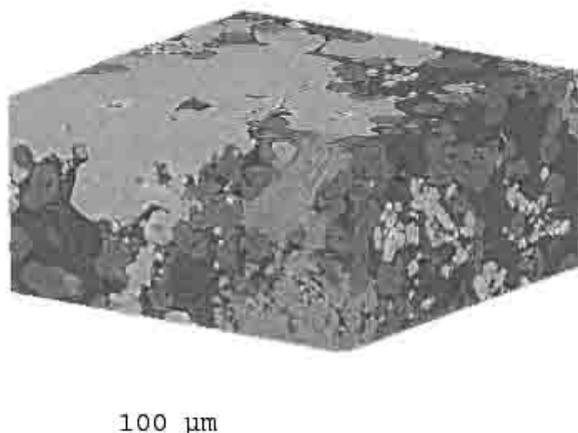


Figure 2 : Visualisation 3D d'un échantillon de tuffeau (ESRF). Les niveaux de gris permettent de distinguer les différents constituants : gris clair : calcite ; gris foncé : silice ; noir : porosité.

Après segmentation par ce logiciel, les phases solides et poreuses sont distinctement séparées. On peut alors quantifier le milieu poreux à l'aide de différents estimateurs : porosité, surface spécifique, nombre d'Euler Poincaré, distribution de cordes, fonctions d'autocorrélation de masse et de surface etc. Ces outils permettent de comparer quantitativement une zone altérée d'une zone intacte (ou provenant directement d'une carrière) et ainsi de caractériser l'évolution du réseau poreux causée par l'altération.

## Références

- [1] B. Brunet-Imbault, Etude des patines de pierres calcaires mises en oeuvre en Région Centre, Thèse de l'Université d'Orléans, 1999.
- [2] K. Beck, M. Al-Mukhtar; O. Rozenbaum, M. Rautureau, 2003, Characterization, water transfer properties and deterioration in tuffeau: building material in the Loire valley-France, *Building and Environment*, 38, p 1151 – 1162.