

Au sujet de ... La pollution et le patrimoine bâti

Parmi les nombreux types de dégradation dont sont victimes les monuments, il est maintenant couramment admis que la pollution atmosphérique joue un rôle prépondérant dans les processus de noircissement et de sulfatation des façades. Les processus naturels d'altération sont essentiellement dus aux conditions climatiques, c'est-à-dire aux variations de température, d'humidité, mais aussi à l'action des êtres vivants, qu'il s'agisse de bactéries, d'algues, de champignons, de lichens, de végétaux supérieurs ou d'oiseaux.

UN PATRIMOINE BÂTI RICHE, REPRESENTATIF DES RESSOURCES REGIONALES

Les établissements humains qui constituent les espaces bâtis de la région Centre sont l'expression de l'histoire et de la diversité du milieu naturel. Il y a, bien sûr, les points d'arrêts obligatoires : Orléans, ville de Jeanne d'Arc, Chartres et sa cathédrale, Bourges et son passé médiéval, Azay-le-Rideau chargé d'histoire, Chambord et le magnifique désordre de ses toits. Somptueux châteaux, églises romanes, villes d'art et d'histoire, manoirs de chaume font de la région Centre, après l'Ile-de-France, la plus riche concentration de monuments classés ou inscrits à l'inventaire du patrimoine. Au sein de ce très important ensemble, quatre éléments se distinguent pour être inscrits sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO : la cathédrale Notre-Dame de Chartres, la cathédrale Saint-Etienne de Bourges, le château de Chambord et la Vallée de la Loire. Ce patrimoine artistique et culturel est extrêmement riche mais il est aussi extrêmement fragile et donc particulièrement vulnérable aux caprices de l'atmosphère. Les pierres utilisées pour la construction et la restauration de ces monuments sont principalement des calcaires dont on

connaît la réactivité aux agents atmosphériques : calcaires du Jurassique (Berry et Nivernais), calcaires lacustres du Bassin Parisien (Chartres, Orléanais), mais aussi et surtout craies et calcaires du Crétacé plus connus sous le nom local de "tuffeau" et utilisés dans toute la moitié ouest de la région. Le tuffeau est un calcaire très poreux.

Il est très sensible aux altérations. Les verres, dont sont faits les vitraux, ne sont pas moins fragiles. La région Centre est un véritable conservatoire des vitraux anciens, dont les plus célèbres ornent les cathédrales de Chartres, de Bourges et de Tours. Plus d'un millier de fenêtres (145 pour la seule cathédrale de Chartres) sont pourvues de vitraux antérieurs au XIX^{ème} siècle, répartis dans 200 édifices.

Rôle de la météorologie et des émissions

L'eau joue un rôle très important dans les processus d'altération de la pierre soit par voie chimique, physique ou biologique, ou par contact direct ou indirect, qu'elle soit sous forme de pluie, de neige, de grêle ou de brouillard. L'eau a un grand pouvoir solvant et agit par ruissellement ou apportée par le vent.

Les particules polluantes voient leur origine dans la combustion partielle des charbons, des fuels ou des carburants fossiles ainsi que des déchets. Ces résidus de combustion, encore appelés **cendres**, sont constitués de nombreuses particules solides. Ce sont principalement : des **suies** (particules carbonées) et des **cendres volantes** (microparticules sphériques dont la composition chimique est variable suivant la composition chimique des combustibles).

Sources du sujet :

- DRIRE Centre, *PROA région Centre, 2001*
- Fabienne BANNERY (1997), *Les apports atmosphériques particuliers en Arles : relation avec la sulfatation des matériaux*, Thèse de l'université de Paris XII, 222 p.
- Patrick AUSSET (1991), *Etudes des microparticules atmosphériques dans les croûtes d'altération des monuments*, 63 p.
- Mickaël DERBEZ (1999), *Rôle des apports atmosphériques dans l'altération de calcaires tendres en environnement urbain : la cathédrale de Tours*, Thèse de l'université Paris XII, 200 p.



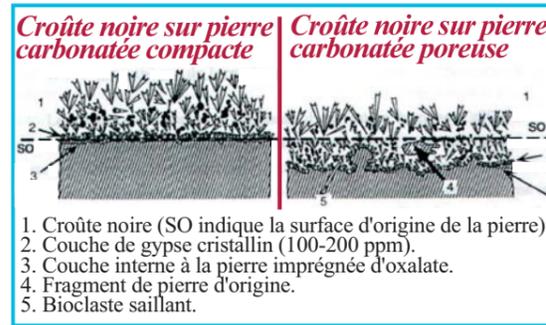
ALTERATIONS DES MATERIAUX LIEES A LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

Les effets de la pollution atmosphérique sur les pierres peuvent être de différents ordres et se présentent, par conséquent, sous différents aspects. L'observation des

façades ou des statues montre que ces dégradations, qui se manifestent par des **zones blanches, grises ou noires** (voir encadré) sont généralement réparties de façon non uniforme. Ces différents types d'altération sont fonction de **plusieurs facteurs** : ils dépendent à la fois du **type et de l'intensité de la pollution rencontrée, de la nature de la pierre, de la géométrie, de la surface et de son exposition** à la pluie.

Les effets observés

Les effets, liés à la présence de composés soufrés (issus de la pollution industrielle et du chauffage) et directement observés sur les façades des monuments, outre les effets mécaniques, desquamations, exfoliations, alvéolisations ..., se circonscrivent (il s'agit d'ailleurs de l'une des préoccupations



majeures des conservateurs, des restaurateurs et des scientifiques) à la formation de sulfocalcin ou croûtes noires. La présence de ces dépôts se limite essentiellement aux zones protégées des pluies battantes (zones noires). L'aspect de ces croûtes noires est très variable. Leurs couleurs vont du gris au noir, leurs épaisseurs s'étendent de quelques millimètres à plusieurs centimètres. Dans la plupart des cas, lorsque ces couches restent peu épaisses, les reliefs originels de la pierre sont conservés. Par contre, lorsque leur épaisseur atteint plusieurs centimètres, elles prennent des formes irrégulières, dentritiques, qui modifient complètement l'aspect de la surface. Dans le cas du tuffeau, ces plaques se décollent en laissant apparaître une surface pulvérulente. Il se reforme très rapidement une nouvelle croûte noire et le processus recommence.



LE NETTOYAGE ET LA RESTAURATION

Le nettoyage consiste en la microabrasion des croûtes noires sur les parties planes des monuments. La restauration, quant à elle, est beaucoup plus importante puisqu'il faut retravailler la pierre, la resculpter ou la remplacer, si elle est trop endommagée. Ce travail est minutieux et de longue haleine.

Les coûts

Le coût de l'action de la pollution atmosphérique sur le bâti peut être évalué pour le seul nettoyage (hors sculptures) à, en moyenne, 38 E le m². Les coûts de restauration, quant à eux, sont beaucoup plus importants. En 2002, le budget de l'Etat consacré à la restauration des monuments historiques sera de 585,4 ME. **En région Centre, entre 18,3 et 21,3 ME sont attribués par an à la restauration des monuments historiques, répartis en 500 à 600 opérations de conservation-restauration (Source DRAC Centre).**

En région Centre

Un programme franco-allemand s'est déroulé de 1988 à 1996 et avait pour objectif de développer les connaissances sur les dégradations que subissent les monuments historiques. Cette étude a été réalisée sur 4 monuments franco-allemands dont la cathédrale de Tours.

Orientations

Des recherches réalisées aux échelles internationale et nationale mettent en évidence les impacts conséquents de nombreux polluants sur le patrimoine bâti, notamment sur des sites présents dans des régions dites "non polluées" mais touchées par des pollutions de proximité. Afin de préserver le patrimoine bâti des effets potentiels de la pollution atmosphérique, il convient de mener des actions de prévention par la mise en place d'outils de recherche et de suivi. Ceci constitue l'une des orientations proposées dans le cadre du Plan Régional de la Qualité de l'Air de la région Centre.

Les zones blanches

Ces zones, qui se situent dans les parties soumises à la pluie battante ou ruisselante sont des **zones d'érosion**. Les précipitations lessivent les surfaces en entraînant avec elles les particules qui ont pu s'y déposer et provoquent, en général, une **régression de la surface par rapport à la surface d'origine**. Dans le cas d'une roche calcaire, l'eau entraîne une dissolution du carbonate de calcium (CaCO₃) et, par conséquent, une érosion de la pierre. Une partie du carbonate de calcium recristallise en surface sous forme de calcite, et parfois sous forme de **gypse (sulfate de calcium CaSO₄)**.

Les zones grises

Elles se situent dans les zones abritées, qui ne sont ni affectées par la pluie, ni par les eaux de ruissellement. Il s'agit en réalité d'un **dépôt de particules** dont les origines peuvent être **naturelles ou anthropiques**. Ces particules, présentes dans l'atmosphère que leur transporte, sont simplement déposées en surface, il n'existe pas de cohésion entre elles ; cependant, elles peuvent parfois être enlevées comme un film compact, ceci implique qu'il s'est produit des réactions physiques ou chimiques conduisant à une connexion entre les particules. **Une fois le dépôt enlevé, le substrat ne montre pas de signe d'altération.**

Les zones noires

Le noircissement est attribué à un **simple dépôt** dans la couche la plus externe de la surface des matériaux, **de particules carbonées issues de la combustion du pétrole et de ses dérivés, du charbon, du bois, ou du charbon de bois** mais aussi de nombreux autres types de particules. Ce dépôt est presque toujours accompagné de réactions chimiques avec formation de gypse. Le **noircissement généralisé** est principalement observé **sur des pierres très poreuses** (grès tendres, calcaires grossiers, ...) qui présentent une rugosité superficielle très importante. Les particules qui arrivent sur les surfaces sont piégées dans les pores superficiels et ni l'air, ni l'eau ne réussissent à les enlever. **L'intensité de ce phénomène dépend des caractéristiques de la pierre, du taux de pollution atmosphérique et des caractéristiques des particules présentes dans les aérosols** (particules liquides ou solides, ou les deux, en suspension dans un milieu gazeux).