

 ADEME Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie	<b>DEP - DVT - service évaluation de la qualité de l'air</b>
<b>EFFETS DE LA QUALITE DE L'AIR SUR LE BATI</b>	

## **La problématique matériaux et de pollution atmosphérique**

**en particulier lorsqu'il s'agit de la pollution par les particules, le soufre,...**

Les croûtes noires (avec des particules soufrées), à la différence des salissures (dommages essentiellement esthétiques), jouent un rôle dans l'altération vis-à-vis des matériaux et sont observées aussi bien sur les surfaces des bâtiments en pierre que sur les vitraux.

L'amélioration des connaissances sur ces phénomènes d'altération a permis de mieux comprendre certains processus liés à l'interaction des particules avec les matériaux dans un environnement urbain pollué en SO<sub>2</sub> gazeux. D'abord, le piégeage de particules carbonées (ou cendres volantes et suies) dans une matrice gypseuse contribue à l'accroissement de l'épaisseur de la croûte ce qui lui donne une couleur d'autant plus noire que la croûte est épaisse. Ensuite, les métaux présents avec ces cendres volantes (carbonée et silico-alumineuse) agissent comme catalyseurs du processus d'oxydation du SO<sub>2</sub> gazeux en facilitant la formation des cristaux de gypse et en augmentant le taux d'encroûtement des matériaux. Outre un impact esthétique visuellement gênant sur des monuments, les croûtes noires causent des dommages très sévères en particulier lorsque la pierre est très poreuse. Car en dessous de la croûte formée, le matériau est chimiquement attaqué le rendant ainsi plus fragile jusqu'à favoriser des pertes de masse importantes.

Avec la diminution significative des émissions en dioxyde de soufre observées notamment au cours des deux dernières décennies, ces croûtes noires sur les monuments n'ont pas pour autant disparu une fois formées et peuvent continuer leur action d'altérabilité du bâti.

L'impact économique inhérent au phénomène du soiling (ou salissures) n'est pas moins négligeable, même si dans ce cas les particules vont participer plutôt à un gain de masse en surface des matériaux (verres, pierres, bétons...), y compris dans les parties exposées à la pluie, ce qui peut paraître paradoxal. En effet, ce dépôt esthétiquement gênant est enlevé plus ou moins facilement en fonction de la nature du matériau ce qui entraîne des coûts de nettoyage et ravalement des façades souvent considérables. Au niveau européen, des programmes se mettent en place dans le but d'établir une évaluation économique du coût de restauration et conservation du patrimoine bâti. Enfin, sur des matériaux plus réactifs, tels que les verres des vitraux du Moyen Age, les particules contribuent à l'altération chimique. Les particules hydrophiles, tels que les sels solubles et les composés organiques solubles, agissent comme des noyaux de condensation et entraînent la formation de poche d'eau liquide à la surface du verre. Ces dernières se sont révélées être le lieu préférentiel d'altération par cratère (*pitting*).

---

## **Synthèse de l'Etat des connaissances des travaux Français**

**Les charges critiques sur les matériaux :**

Les premières cartes françaises sur les **risques d'exposition des matériaux** à la pollution atmosphérique sont assez récentes. Une tentative de cartographie des charges critiques pour un calcaire (Portland) a été réalisée en région Ile-de-France en 2001. Cette carte est basée à partir de la fonction dose-réponse établie pour le calcaire de Portland. Des fonctions dose-réponse pour divers matériaux (métaux, pierres, peintures, matériaux électriques et polymères, verres médiévaux) sont modélisées dans le cadre des connaissances acquises au sein du Programme International Concerté relatif aux effets de la pollution atmosphérique sur les matériaux, monuments historiques et culturels (PIC-Matériaux).

### Les salissures sur les matériaux :

En 2000 et 2001, l'exposition à Paris d'échantillons de verre moderne et de pierre (calcaire parisien et tuffeau de Touraine) dans un milieu urbain pollué a permis de démarrer les études sur le « soiling » des matériaux (ou salissures). Si les résultats sur la pierre ne se sont pas révélés très concluants, à cause de la complexité du substrat (rugosité, porosité, réactivité chimique, inhomogénéité de la composition...), l'**analyse du verre (chimiquement inerte, non poreux) a permis une avancée en ce qui concerne la caractérisation du dépôt et la compréhension de ce mécanisme**.

Il a été mis en évidence qu'une grande partie du dépôt particulaire est constituée d'espèces carbonées (suies, composés organiques) ainsi que de sels solubles (sulfates, nitrates). Ces particules participeraient activement à la perte de transparence du substrat en absorbant et diffusant la lumière. Un modèle de l'évolution temporelle du soiling a aussi été établi. Il semblerait que le processus de « soiling » évolue rapidement dans une première phase, puis on observerait une décélération du dépôt suivie d'une saturation. Des études ultérieures faites dans le cadre du programme européen MULTI-ASSESS, ont montré que le niveau de saturation et la vitesse du « soiling » varient en fonction des conditions environnementales (milieu urbain, rural...).

Une fois le modèle établi, il reste à déterminer les paramètres atmosphériques responsables de la salissure. Pour cela une nouvelle campagne d'exposition de verre dans des conditions environnementales variées (23 sites d'exposition en Europe, 1 au Canada) a été récemment financée par l'ADEME dans le cadre du Programme International Coopératif des Nations Unies « PIC-Matériaux ». Les résultats obtenus devraient permettre d'établir une première fonction dose-réponse pour le « soiling » du verre.

## Les perspectives des travaux Français

L'établissement de la fonction dose-réponse ouvrira différentes perspectives. Tout d'abord il sera possible d'établir des *cartes du risque* de « soiling » à large échelle (Europe). A plus long terme une cartographie à l'échelle régionale, voir locale, pourra être établie sur le territoire français grâce aux travaux du Lisa (université Paris 12 et 7). Le couplage de ces cartes du risque avec des *cartes du stock de matériaux soumis au risque* permettrait une évaluation précise des coûts économiques entraînés par la salissure. Enfin, des *scenarii de réduction des émissions* connus (protocole de Kyoto, directives européennes) pourraient être testés afin d'évaluer leur impact en terme de diminution de la salissure. Parallèlement, des nouveaux *scenarii de réduction* permettant d'atteindre les *niveaux de « soiling tolérable »* pourraient être établis ainsi que leurs conséquences économiques en terme de réduction des coûts de maintenance et ravalement.

## Les actions de l'ADEME

en particulier sur les « Charges critiques<sup>1</sup> acceptables » et les salissures « soiling »

<sup>1</sup> Les charges critiques sont définies comme les seuils de flux d'entrées dans les écosystèmes/matiériaux au-delà desquels des effets nocifs peuvent apparaître (Nilsson & Grennfelt, 1988). Autre définition possible : Dose d'exposition à un ou plusieurs polluants atmosphériques au dessous desquelles aucun effet indésirable ne sera perceptible sur des éléments sensibles de l'environnement (vivant ou inerte), dans l'état présent des connaissances. Le concept des charges critiques trouve son origine en Scandinavie dès 1986 lors d'une réunion du Conseil Nordique. Puis, il a été développé à partir des années 90 dans le cadre des activités de recherches de la Convention de Genève. Ce concept a ainsi définitivement été adopté par la Convention pour lui permettre de s'appuyer sur une appréciation

**L'Agence Française de l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie (ADEME) soutient les travaux issus du Laboratoire Interdisciplinaires des Systèmes Atmosphériques (Lisa) pour permettre à la France de répondre aux objectifs du PIC Matériaux** (contribution aux rapports européens édités annuellement et discutés au sein de la Convention de Genève -Groupe de travail sur les Effets).

L'ADEME assure la coordination et le suivi des travaux français dans ce domaine, afin de veiller à la bonne intégration de ces données françaises au niveau européen. Les aides de l'ADEME pourtent sur les matériaux/charges critiques/salissures.

Depuis 1998, **l'ADEME apporte un soutien technique et financier au point focal national du PIC-Matériaux (ECE-LRATP)** pour le compte de l'Etat, ce qui permet de répondre aux besoins de données françaises pour l'amélioration des connaissances sur le calcul et la cartographie des charges critiques pour les matériaux, et aussi en modélisation du phénomène des salissures.

**NOTA :** Cette aide s'inscrit plus globalement dans les actions engagées par l'ADEME depuis plus de 15 ans en matière de soutien à la thématique « Charges Critiques » via des études et des thèses, dans de nombreux domaines sur la vulnérabilité des écosystèmes (à l'acidité, l'azote eutrophisant, les métaux), la surveillance des dépôts atmosphériques via les dispositifs MERA ou BRAMM, ou comme ici dans le domaine des matériaux et des biens culturels

## **CONTACTS**

---

### **ADEME, Paris**

Laurence GALSOMIÈS : Service Evaluation de la Qualité de l'Air ([laurence.galsomies@ademe.fr](mailto:laurence.galsomies@ademe.fr))

### **LISA, Paris**

Tiziana Lombardo, responsable du point focal national du PIC-Matériaux (WGE/LRATP-ECE)

---

scientifique des niveaux de pollution « tolérables » pour les écosystèmes voir « acceptables » pour le bâti, dans le but d'élaborer les protocoles de réduction des émissions atmosphériques.