

VITESSE D'ACCUMULATION DES POLLUANTS SOUFRÉS SUR LES PIERRES EN OEUVRE

V. Furlan et F. Girardet

Laboratoire de Conservation de la Pierre
de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse)

INTRODUCTION

Le but de cette communication est de présenter les objectifs, le programme et les premiers résultats d'une recherche sur l'impact de la pollution atmosphérique sur les pierres en oeuvre.

Soutenue par le Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique (FNSRS) -programme national No 16 (1984-1987) "Méthodes de conservation des biens culturels"- et bénéficiant de la collaboration de plusieurs organismes suisses et étrangers, cette étude se propose de :

- . déterminer sur diverses natures de pierre, exposées dans des sites très divers, la vitesse de déposition des polluants soufrés "secs" (gaz et aérosols transportés et déposés uniquement par l'air)
- . évaluer la part des polluants soufrés "humides" (transportés et déposés uniquement par la pluie),
- . établir une relation entre la vitesse de déposition des polluants et le niveau de pollution atmosphérique des sites considérés.

Les données relatives à la vitesse et au mode de déposition des composés du soufre devraient nous permettre de mieux appréhender l'importance de la pollution atmosphérique dans les processus d'altération de la pierre et de définir ensuite une stratégie de la protection.

POLLUTION ATMOSPHERIQUE ET ALTERATION DE LA PIERRE

Les conséquences néfastes de la pollution atmosphérique sur les monuments en pierre sont à l'heure actuelle unanimement reconnues par tous les spécialistes de l'altération des matériaux. Cependant, l'évaluation précise des dégâts causés par la pollution atmosphérique n'est pas aisée car aux actions dommageables de la pollution se juxtaposent les effets d'autres causes d'altération. On peut admettre toutefois que l'apparition de composés de soufre exogène dans la pierre est un phénomène imputable directement à la pollution et que l'accumulation du soufre constitue la plus importante cause de désordre. Par conséquent, la vitesse d'accumulation du soufre peut être considérée comme un bon indicateur de l'impact que la pollution exerce sur la pierre. Lorsqu'on se propose de quantifier cette vitesse sur une sculpture ou sur un objet aussi complexe qu'un bâtiment, il est indispensable de faire la distinction entre polluants transportés et déposés par l'air (dépôt de soufre "sec") et polluants transportés et déposés uniquement par la pluie (dépôt de soufre "humide"). En effet, compte tenu de l'orientation et des formes architecturales, seulement certaines surfaces d'un bâtiment sont concernées par le dépôt "humide" alors que toutes les surfaces sont atteintes par le dépôt "sec". Les deux dépôts doivent donc être quantifiés séparément.

Remarque

L'eau de pluie transporte des polluants mais agit également, en tant que solvant, sur les composés solubles résultant du dépôt "sec". Elle peut, en outre, provoquer des phénomènes de dégradation liés à sa seule présence (cycles d'humidification/séchage, de gel/dégel, etc.). Son rôle est donc très complexe.

D'après les données dont nous disposons à l'heure actuelle, dans les sites à haut niveau de pollution (sites urbains) le dépôt de soufre "sec" sur un monument est prépondérant par rapport à l' "humide" (1). Le soufre "sec", à lui seul, est responsable de certaines formes d'altération qui se manifestent dans les zones des bâtiments abritées de la pluie. Bien qu'étant généralement superficielles, ces altérations sont particulièrement dommageables lorsqu'il s'agit de sculptures (fig. 1) ou d'ornements architecturaux (fig. 2). Dans de telles situations, l'analyse de prélèvements précis (P, fig. 2), effectués avec une fraise spéciale, a montré que le soufre est accumulé à très faible profondeur (fig. 3). Ceci nous a permis de déterminer, sur des pierres datées, la vitesse moyenne d'accumulation du soufre "sec" dans le passé et de concevoir une méthode de détermination de la vitesse actuelle.

Ces quelques considérations expliquent l'orientation de notre étude basée surtout sur la quantification du dépôt de soufre "sec".

PROGRAMME DE RECHERCHE

Des études précédentes (2, 3) ont prouvé que la vitesse de déposition actuelle du soufre "sec" est directement mesurable sur des éprouvettes de pierre exposées in situ. Dans le cadre de la recherche en cours, les mesures initialement limitées à la Suisse Romande ont été étendues à l'ensemble du territoire suisse et à quelques sites (essentiellement des villes) étrangers. L'ensemble des sites de mesure est représenté sur les figures 4 et 5. Les éprouvettes de pierre, de 20x10x2 cm, sont exposées (à l'abri de la pluie) sur des monuments (fig. 6) et, en vue de corréliser les résultats avec la concentration des polluants dans l'air, à proximité des stations de mesure de la pollution atmosphérique (fig. 7). Après des périodes d'exposition de 6 et 12 mois, la détermination de la prise en soufre est effectuée par pyrolyse et coulométrie sur les poudres obtenues par fraisage progressif des éprouvettes. La différenciation entre polluants sous forme gazeuse et aérosols est faite au moyen de matériaux insensibles au gaz. Vu le caractère ponctuel au dépôt de soufre "humide" et les difficultés de mesure sur les bâtiments, des évaluations sont faites à partir du dépôt de soufre "humide" au sol (données des stations de mesure de la pollution w.o.) et de la fraction de pluie qui atteint les surfaces considérées. Il est à remarquer que, dans le cas des façades d'un bâtiment, cette quantité d'eau dépend de l'orientation par rapport au vent et ne constitue généralement qu'une fraction, parfois très petite, de la pluie tombant au sol.

Après une campagne préliminaire de mesures effectuées sur un grès tendre, des mesures sont actuellement en cours sur diverses natures de pierre telles que : grès, calcaires, granite et marbre.

Parallèlement, au moyen de la fraise spéciale, des prélèvements (P, fig. 2) sont effectués sur des pierres datées de monuments dans le but, d'une part, de

déterminer la prise en soufre dans le passé (fig. 3) et la comparer à la prise actuelle et, d'autre part, établir une relation entre la teneur en soufre et l'état d'altération.

RESULTATS PRELIMINAIRES

La figure 8 donne, pour un certain nombre de sites pris en considération, les valeurs du dépôt de soufre "sec" déterminées sur un grès tendre au cours de l'année 1984-85. A ce stade de l'étude, nous nous limiterons à souligner les écarts importants qui existent entre les vitesses de déposition des polluants du soufre mesurées sur une même nature de pierre exposée dans des villes diverses et dans des sites ruraux assez proches des centres urbains.

CONCLUSIONS

La vitesse d'accumulation du soufre "sec" est à notre avis un bon critère pour évaluer objectivement l'impact réel de la pollution atmosphérique sur le patrimoine architectural en pierre. La mesure de cette vitesse, la détermination de la part des polluants gazeux par rapport aux aérosols et l'évaluation du soufre "humide" nous paraissent également les bases essentielles pour aborder tout problème de protection.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements sincères à toutes les personnes et aux organismes qui nous ont accordé leur soutien.

REFERENCES

- 1 Furlan, V. et Girardet, F., *Considerations on the rate of accumulation and distribution of sulphurous pollutants in exposed stones*, Materials science and restoration, Int. conference, Technische Akademie, Esslingen, September 6-8, 1983, Proceedings, p. 285-290, F.H. Wittmann editor, Lack + Chemie edition.
- 2 Girardet, F. et Furlan, V., *Teneurs en sulfates, mesures de température et d'humidité et essais de simulation à l'église de Saint-François à Lausanne*, 3ème Congrès international sur l'altération et la conservation de la pierre, Venise, octobre 1979, p. 245-252.
- 3 Girardet, F. et Furlan, V., *Mesure de la vitesse d'accumulation des composés soufrés sur des éprouvettes de pierre exposées en atmosphères rurale et urbaine*, Fourth international congress on deterioration and preservation of stone objects, Louisville (USA), juillet 1982, Proceedings (1983), p. 127-134, K.L. Gauri and J.A. Gwinn editors.



Figure 1
Cathédrale de Fribourg,
statue abritée de la pluie,
état après environ 60 ans.



Figure 2
Musée Ariana Genève,
partie inférieure d'une corniche,
état après 100 ans.

Figure 3
Musée Ariana Genève,
répartition du soufre dans
la zone P de la fig. 2.
Dépôt total de soufre "sec"
au cours de la période
d'exposition (1886-1986) :
 41 gS/m^2 .
Vitesse moyenne de
déposition :
 $0.41 \text{ gS/m}^2 \text{ année}$.

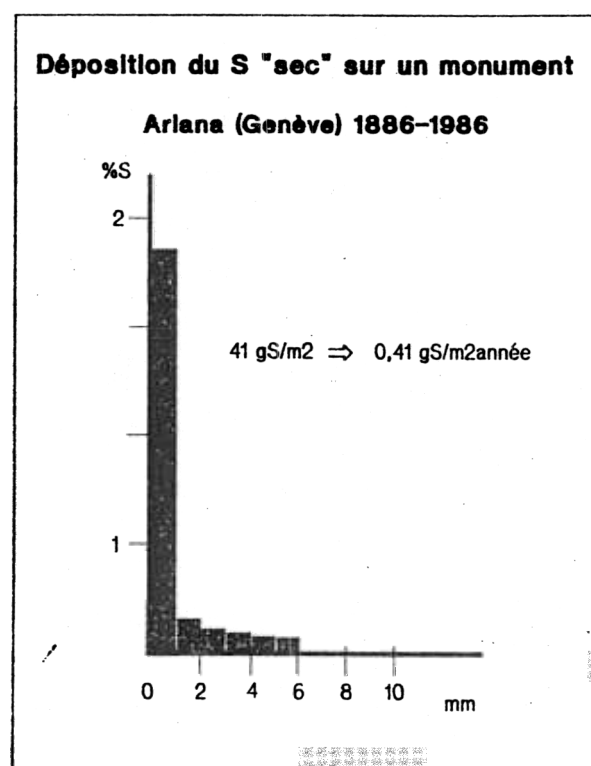




Figure 4
Sites d'exposition (1986),
Europe.

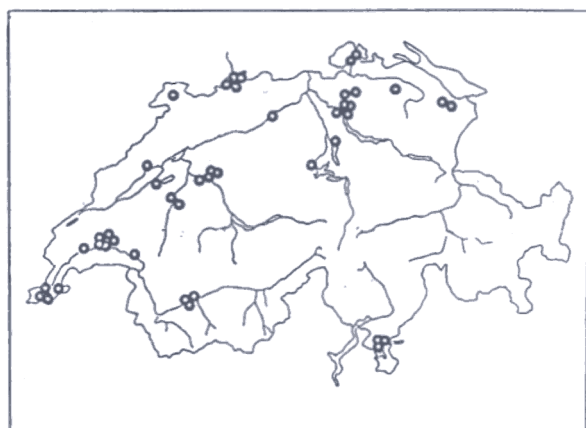


Figure 5
Sites d'exposition (1986),
Suisse.

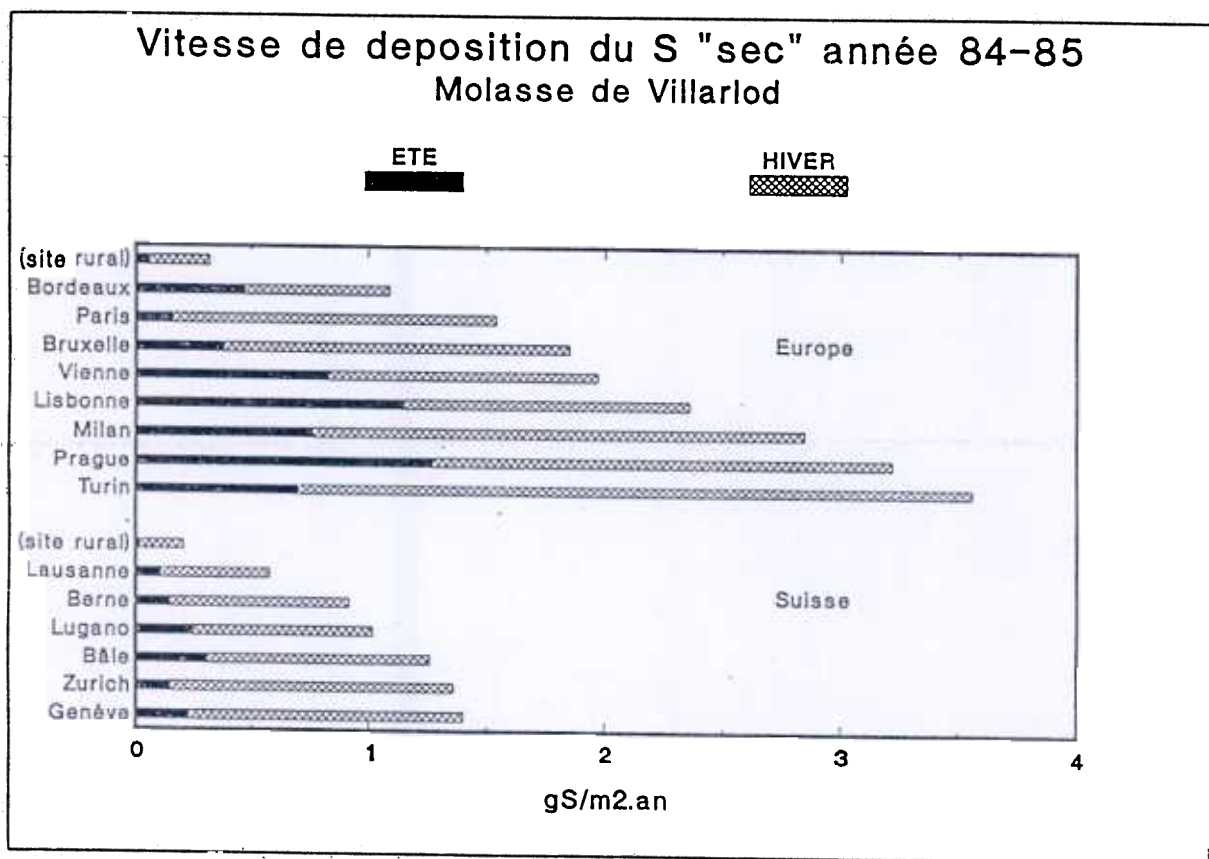


Figure 8
Vitesse de déposition du soufre "sec" sur un grès tendre (molasse);
comparaison entre divers sites.

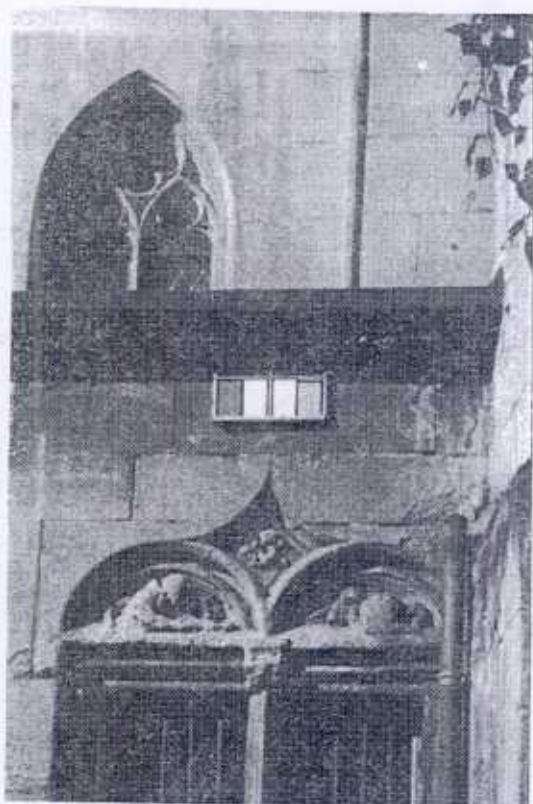


Figure 6
*Eprouvettes de pierre exposées
 sur un monument.*

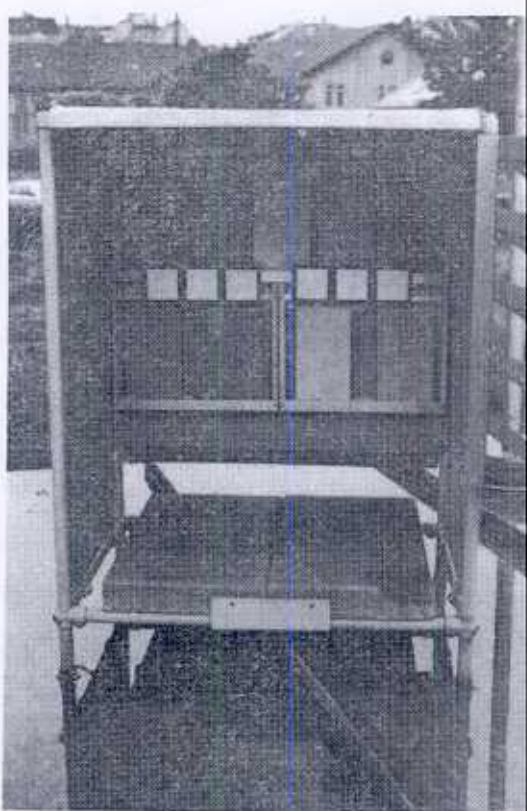


Figure 7
*Eprouvettes de pierre exposées
 à proximité d'une station
 de mesure de la pollution de
 l'air.*

RATE OF ACCUMULATION OF SULPHUROUS POLLUTANTS IN EXPOSED STONES

V. Furlan et F. Girardet

Laboratoire de Conservation de la Pierre
de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse)

ABSTRACT

The contribution describes objectives, research programme and preliminary results of an investigation into the influence of atmospheric pollution on the degradation of natural stone building objects in situ, in which several organisations, both Swiss and foreign, collaborate.

Since sulphurous compounds are the most harmful components of atmospheric pollution for natural stone the rate of accumulation of air-borne sulphur is taken as a criterion for the assessment of the impact of pollution.

The rate of accumulation of air-borne sulphur is measured on several types of natural stone at a number of highly different locations both in Switzerland and abroad, in order to establish a correlation between rate of accumulation and level of pollution. It is planned to evaluate also the quantity of rain-borne sulphurous compounds which can reach the surface of building.

Experimental results obtained so far on the same type of stone show large variations of the amount of accumulated sulphur measured, both from town to town as from town to surrounding countryside, and allowing for the characteristics of each individual site.

VITESSE D'ACCUMULATION DES POLLUANTS SOUFRÉS SUR LES PIERRES EN OEUVRE

V. Furlan et F. Girardet

*Laboratoire de Conservation de la Pierre
de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse)*

RESUME

Le but de la communication est de présenter les objectifs, le programme et les premiers résultats d'une recherche, bénéficiant de la collaboration de plusieurs organismes suisses et étrangers, sur l'impact de la pollution atmosphérique sur les pierres en oeuvre.

Admis que les polluants atmosphériques les plus nuisibles pour les pierres sont les composés du soufre, on considère que la vitesse de déposition du soufre "sec" (transporté et déposé uniquement par l'air) constitue un bon critère pour évaluer objectivement l'impact réel de la pollution.

La vitesse de déposition du soufre "sec" est déterminée sur plusieurs natures de pierre exposées dans des sites très divers en Suisse et à l'étranger dans le but d'établir une corrélation entre prise en soufre et niveau de pollution. On se propose également d'évaluer la part de soufre "humide" (transporté et déposé uniquement par la pluie) pouvant atteindre les surfaces d'un bâtiment.

Les premières mesures effectuées sur une même nature de pierre montrent que, en fonction des caractéristiques propres de chaque site, le dépôt de soufre "sec" varie énormément d'une ville à l'autre et des villes aux sites ruraux proches des centres urbains.