

CONCLUSION

Les processus de l'altération du verre ont fait l'objet de très nombreuses études. Mais les recherches se sont centrées essentiellement sur l'altération du verre plongé dans un milieu aqueux. Pourtant, l'observation des vitraux anciens soulève des questions auxquelles la seule étude des processus d'altération du verre en phase aqueuse ne peut répondre. En effet, l'étude des formes d'altération de ces verres montre que des facteurs atmosphériques peuvent intervenir tels que, par exemple, les teneurs en certains polluants gazeux acides (SO_2 ...).

Le développement des études des processus d'altération du verre en chambre climatique et des expériences d'altération en sites réels commence à apporter certains éléments de réponse. Pourtant ces études ne se sont généralement pas intéressées aux mécanismes à l'oeuvre lors des tout premiers stades de l'altération. De plus, ces expériences ne prennent pas toujours en considération les différences entre les processus d'altération qui peuvent exister selon que les verres sont exposés ou non à la pluie.

L'objet de ce travail a donc été de tenter d'apporter des éléments de réponse concernant les phénomènes d'interaction verre-atmosphère urbaine lors des tout premiers stades d'altération dans le cas de verres exposés ou non à la pluie.

Les formes d'altération des vitraux de la Sainte Chapelle

La première partie de ce travail a consisté en l'étude de quelques fragments de vitrail provenant de la Sainte Chapelle de Paris. Ces fragments présentent différentes formes d'altération. On observe tout d'abord une modification de la composition chimique du verre aux abords de la surface. D'autres formes d'altération telles que des cratères, des fractures... sont également visibles. On constate, par ailleurs, une migration de plomb à l'intérieur de la matrice vitreuse. On remarque la présence de croûtes superficielles constituées d'un ciment généralement gypseux, parfois calcique ou plombifère. Ce ciment contient de nombreuses particules de composition et d'origine diverses.

Ces observations montrent sans l'ombre d'un doute l'intervention de facteurs atmosphériques lors du processus d'altération de verres de verrières.

L'altération de verres modèles exposés à l'atmosphère parisienne

La seconde partie de l'étude a consisté à exposer des verres modèles en site réel. Des verres altérables ont ainsi été exposés au sommet de la Tour Saint Jacques à l'environnement atmosphérique urbain.

L'étude de l'impact de l'environnement sur l'altération de ces verres modèles a nécessité une étude, en parallèle, de l'atmosphère parisienne et des échantillons de verres modèles.

Les verres modèles exposés subissent de nombreuses modifications au cours de leur exposition.

Une des caractéristiques de leur processus d'altération est la modification de la composition initiale du verre aux abords de la surface avec l'apparition d'une couche appauvrie en cations modificateurs et enrichie en eau. La présence d'une telle couche hydratée est fréquemment observée lors de l'étude de verres altérés en solution aqueuse. Ici, cette couche se développe, même dans le cas des verres exposés à l'abri de la pluie ce qui souligne l'importance de l'action de l'humidité relative, des brumes et des brouillards dans le processus d'altération des verres. L'importance de cette couche dépend directement de la composition chimique du verre modèle, du mode d'exposition (à l'abri ou non) et de la période d'exposition (automne ou printemps).

La surface des verres, qu'ils soient ou non exposés à la pluie, montre la présence de particules déposées. L'étude comparative de ces particules avec celles qui sont contenues dans les croûtes observées à la surface des verres anciens et celles présentes dans l'aérosol parisien, souligne l'importance qu'elles peuvent avoir en tant que vecteurs de soufre (constituant majeur des croûtes gypseuses). Pourtant le rôle de ces particules dans le mécanisme de formation des croûtes sulfatées ou dans le processus d'altération des verres semble plutôt minoritaire.

La surface des verres exposés à l'abri de la pluie montre également la présence de néocristallisations. Celles-ci sont également observées sur les verres exposés à la pluie mais en moindre quantité. Ces néocristallisations ont, du moins dans un premier temps, une composition qui dépend directement de la composition chimique du verre sous-jacent. De plus, la composition de certains sels dépend également des teneurs en différents polluants gazeux. Par ailleurs, la composition et l'aspect de ces néocristallisations évoluent au cours de l'exposition.

L'ensemble de ces résultats montre qu'il est nécessaire de faire intervenir certains paramètres environnementaux dans les modèles d'altération des verres exposés en verrières. Le principal agent d'altération est l'eau de pluie mais il faut également tenir compte des autres apports d'eau possible (condensation, brumes, brouillards). Les polluants gazeux interviennent également dans la formation des néocristallisations, de même que, dans une moindre mesure, l'aérosol particulaire urbain.

L'altération de verres médiévaux ?

L'étude menée montre que lorsque des verres altérables sont soumis à un environnement agressif, ils s'altèrent. Ceci donne de précieuses indications sur les processus d'altération des verres médiévaux dont, parfois, la composition chimique entraîne une grande fragilité.

Si l'on se place du côté de la restauration, il est nécessaire de déterminer dans quelle mesure les formes d'altération rencontrées à la surface des verres ont un rôle protecteur ou non. De l'importance de ce rôle découle la nécessité de la préservation de ces altérations.

Il faut distinguer le rôle du gel de silice hydraté et le rôle des croûtes formées par les produits de corrosion.

Pour certains, la structure poreuse et peu compacte du gel ne semble pas pouvoir jouer un rôle protecteur (Braütigen *et al.* 1995). Pour d'autres, son rôle est ambigu puisque sa présence protège le verre contre une altération ultérieure (Müller 1992) mais sa structure est très sensible aux variations d'humidité et peut se fracturer (Müller *et al.* 1995). D'une façon générale, il vaut mieux conserver le gel car son retrait entraînerait immédiatement la reprise de l'altération du verre.

Certains considèrent que la croûte sulfatée superficielle peut jouer un rôle plus ou moins protecteur (Braütigen *et al.* 1995), du fait, en partie, de la présence des précipités riches en cations lixiviés qui diminuent le gradient de concentration et ainsi limitent la diffusion de ces cations (Clark *et al.* 1979). Pour d'autres, la formation de sels insolubles entraîne un déplacement de l'équilibre d'altération vers une augmentation de la lixiviation (Fitz 1989). De plus, la nature hygroscopique de la croûte (dans le cas d'une croûte gypseuse) pourrait accélérer l'altération du verre sous-jacent (Frenzel 1985, Lefèvre *et al.* 1998).

Des croûtes gypseuses ont été observées sur des verres inaltérés. D'origine probablement externe, ces croûtes n'ont pas engendré d'altérations supplémentaires (Collongues *et al.* 1976, Gillies et Cox 1988). Lorsque ces croûtes se situent sur des zones fracturées, la présence de ces microfractures va permettre aux solutions altérantes de diffuser jusqu'au verre sain et ainsi à l'altération de progresser plus profondément (Hreglich *et al.* 1980, Libourel *et al.* 1993).

Le principal paramètre est la stabilité du verre vis-à-vis de son environnement. Ainsi, pour des verres stables, la présence de croûtes ne va pas influencer sur leur état de conservation. Cependant, dans le cas de verres déjà altérés, cela va dépendre du type de surface auquel on a affaire (Cf. I.2.4) et donc de sa résistance. Cela va dépendre aussi du pH de la solution à l'interface entre la couche de gel et la croûte constituée par les produits de corrosion, de sa saturation, de son renouvellement... On

se trouve alors dans le cas d'une altération en milieu statique, tamponné, et l'altération du verre va dépendre de sa réactivité vis-à-vis de ce milieu.

La présence de croûtes formées par les produits de corrosion diminue la transparence des vitraux. Si elles sont peu adhérentes, il est peu probable qu'elles aient un rôle protecteur et une simple brosse douce permet de les enlever. En revanche, dans le cas de croûtes adhérentes, les enlever mécaniquement peut entraîner d'importants dommages, et le nettoyage par des solutions complexantes peut accentuer également l'altération (Perez y Jorba et Bettembourg 1989). Faut-il les enlever ou non, le débat reste ouvert...

Si l'on choisit de nettoyer la surface du verre en préservant la couche de gel, il est nécessaire de mettre en oeuvre des procédés de protection pour éviter une reprise de l'altération. Le débat est très controversé mais une des technique les plus prometteuses, malgré son coût, reste probablement pour l'instant la mise en place de doubles verrières ventilées.

L'altération de verres contemporains ?

La composition chimique d'un verre à vitre le rend très résistant aux influences extérieures. Le développement d'une couche lixiviée est très lent et rarement observé. Le principal problème « d'altération » de ces verres est l'accumulation des dépôts et le développement de néocristallisations. En effet, comme nous venons de le montrer, la formation de certaines néocristallisations, comme les sulfates, semble indépendante de la composition chimique du substrat sous-jacent et elles ont ainsi tendance à se développer sur l'ensemble des surfaces abritées des pluies.

Le nettoyage des surfaces vitrées représente un coût considérable dans le budget d'entretien d'un bâtiment. C'est pourquoi les industriels verriers se penchent très sérieusement depuis quelques années sur ce problème avec le développement de verres dits « autonettoyants ».

L'étude du comportement de ce type de verre en conditions réelles permet de mettre en évidence le rôle très important que peuvent jouer les particules ou les composés carbonés dans l'opacification de la surface vitrée. Il est ainsi nécessaire de se pencher avec plus d'attention sur certaines catégories de composés aérosolaires : suies, vésicules, HAP..., et en particulier, sur leur mode de dépôt.

Par ailleurs, les caractéristiques particulières de ces verres autonettoyants sont dues à des traitements de surface qui peuvent, du fait de la modification des propriétés superficielles du verre, faciliter ou au contraire ralentir le développement des néocristallisations.

Le champ des investigations dans ce domaine reste ainsi largement ouvert. L'étude menée ici a mis en évidence de façon indiscutable l'importance des facteurs environnementaux dans les processus d'altération du verre et a montré ainsi qu'il est nécessaire d'en tenir compte lors d'études ultérieures menées dans le domaine de l'interaction verre-atmosphère.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- Aagaard P. et Helgeson H. C. (1982) - Thermodynamic and kinetic constraints on reaction rates among minerals and aqueous solutions. I. Theoretical considerations - *Am. J. Science* - **282**, 237-285.
- Adams F. (1994) - Chemical characterization of atmospheric particles - in ERCA : Topics in Atmospheric and Interstellar Physics and Chemistry - 271-289.
- Adams P. B. (1984) - Glass Corrosion - A record of the past ? A predictor of the future ? - *J. Non-Crist. Solids* - **67**, 193-205.
- Airparif (1995a) - Surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France - La qualité de l'air en Ile-de-France : les résultats 1995, pp83.
- Airparif (1995b) - Surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France - Rapport d'activité 1995, pp97.
- Airparif (1997) - Surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France - Rapport d'activité, Résultats 97, pp115.
- Airparif (1999) - Les tendances de la pollution atmosphérique en Ile-de-France - *Airparif actualité* - 7.
- Altshuller A. P. (1979) - Model prediction of the rates of homogeneous oxidation of sulfur dioxide to sulfate in the troposphere - *Atm. Env.* - **13**, 1653-1661.
- Appel B. R., Tokiwa Y., Hsu J., Kothyn E. L. et Hahn E. (1985) - Visibility related to atmospheric aerosol constituent - *Atm. Env.* - **19**, 9, 1525-1534.
- Arnold A. (1976) - Behaviour of some soluble salts in stone deterioration - *Colloque International sur la Détérioration des Pierres en œuvre, Athènes* - 27-36.
- Arnold A. (1995) - Evolution des sels solubles dans l'altération et la conservation des monuments - in *La pietra dei monumenti nel suo ambiente fisico, scienze e materiali del patrimonio culturale (I)*, Istituto poligrafico e zecca dello stato, Roma , pp223 - 195-214.
- Aubert M., Grodecki L., Lafond J. et Vernier J. (1959) - Les vitraux de Notre Dame et de la Sainte Chapelle de Paris - *Corpus Vitrearum Medii Aevi, France, Vol 1, Caisse Nationale des Monuments Historiques, Centre National de la Recherche Historique, Paris* - 71-93, 207-215.
- Bannery F. (1997) - Les apports atmosphériques en Arles : relation avec la sulfatation des matériaux - *Thèse de l'Université Paris XII, Val de Marne* - pp232.

- Barbaray B., Contour J. P. et Mouvier G. (1977) - Sulfur dioxide oxidation over atmospheric aerosol - X-ray photoelectron spectra of sulfur dioxide adsorbed on V_2O_5 and carbon - *Atm. Env.* - **11**, 351-356.
- Barbey P., Sterpenich J. et Libourel G. (1996) - Altération des vitraux : produits d'altération, états d'oxydation du manganèse, effets des traitements de surface - 2^{ème} Colloque du Programme Franco-Allemand de Recherche pour la Conservation des Monuments Historiques, Bonn - 61-71.
- Barrie L. A. et Georghiou H. W. (1976) - An experimental investigation of the absorption of sulphur dioxide by water drops containing heavy metal ions - *Atm. Env.* - **10**, 743-749.
- Bates T. S., Lamb B. K., Guenther A., Dignon J. et Stoiber R. E. (1992) - Sulfur emissions to the atmosphere from natural sources - *J. Atm. Chemistry* - **14**, 315-337.
- Belharat S., Garnier V., Desrayaud G. et Lauriat G. (1997) - Modélisation et simulation numérique des transferts de chaleur et de vapeur d'eau dans les verrières de protection des vitraux - 2^{ème} Colloque du Programme Franco-Allemand de Recherche pour la Conservation des Monuments Historiques, Bonn - 113-130.
- Benner W. H., Brodzinsky R. et Novakov T. (1982) - Oxidation of SO_2 in droplets which contain soot particles - *Atm. Env.* - **16**, 6, 1333-1339.
- Bertin M., Faroux J. P. et Renault J. (1984) - Thermodynamique - *Ed. Dunod Université* - pp380.
- Bérubé K. A., Jones T. P. et Williamson B. J. (1997) - Electron microscopy of urban airborne particulate matter - *European Microscopy and Analysis* - **Sept.**, 9-11.
- Bettembourg J.-M. (1976) - Composition et altération des verres de vitraux anciens - *Verres Réfract* - **30**, 1, 36-42.
- Bettembourg J.-M. (1989) - Les verres des vitraux du Moyen-Age. Composition et corrosion - *Extraits des Actes du Colloque de Namur, Techniques et Sciences. Les Arts du Verre, 1989*, Ed. Presses universitaires de Namur - 111-117.
- Bettembourg J.-M. (1991) - Les vitraux - *Analysis Magazine* - **19**, 6, 43-45.
- Billings C. E. et Gussman R. A. (1976) - Dynamic behavior of aerosols - in Handbook of aerosols, Ed. Technical Information Center - Energy Research and Development administration - p40-65.
- Bizjak M., Cigler R., Hansen A. D. A. et Hudnik V. (1993) - Diurnal concentrations of Black Carbon and some other air pollutants in Ljubljana, Slovenia - *Atm. Env.* - **27A**, 8, 1347-1350.

- Boksay Z., Bouquet G. et Dobos S. (1967) - Diffusion processes in the surface layer of glass - *Phys. Chem. Glasses* - **8**, 4, 140-144.
- Boksay Z., Bouquet G. et Dobos S. (1968) - The kinetics of the formation of leached layers on glass surfaces - *Phys. Chem. Glasses* - **9**, 2, 69-71.
- Boehm T. (1999) - The influence of temperature, relative humidity and SO₂ concentration on weathering of glass - *5th ESG Conf., Prague* - B1.49-B1.55.
- Brady J. B. (1995) - Diffusion data for silicate minerals, glasses, and liquids - in *Mineral Physics & Crystallography, A Handbook of Physical Constants* - Ed. American Geophysical Union - **2**, p269-290.
- Brémond M. P., Cachier H. et Buat-Ménard P. (1989) - Particulate carbon in the Paris region atmosphere - *Env. Tech. Letters* - **10**, 339-346.
- Brewer P. (1975) - Minor elements in seawater - in *Chemical Oceanography*, 2nd ed., vol. 1 - Ed. Academic, New York - 415-496.
- Britton L. G. et Clarke A. G. (1980) - Heterogeneous reactions of sulphur dioxide and SO₂/NO₂ mixtures with a carbon soot aerosol - *Atm. Env.* - **14**, 829-839.
- Budd S. M. (1961) - The mechanisms of chemical reaction between silicate glass and attacking agents - *Phys. Chem. Glasses* - **2**, 4, 111-114.
- Budd S. M. et Frackiewicz J. (1961) - The mechanisms of chemical reaction between silicate glass and attacking agents. Part 2. Chemical equilibria at glass-solution interfaces - *Phys. Chem. Glasses* - **2**, 4, 115-118.
- Bunker B. C. (1994) - Molecular mechanisms for corrosion of silica and silicate glasses - *J. Non-Cryst. Solids* - **179**, 300-308.
- Bunker B. C., Arnold G. W., Beauchamp E. K. et Day D. E. (1983) - Mechanisms for alkali leaching in mixed-Na-K silicate glasses - *J. Non-Cryst. Solids* - **58**, 295-322.
- Butor J.-F. (1981) - Contribution à l'étude de l'aérosol atmosphérique en zone urbaine, maritime et océanique - *Rapport CEA R 5 080* - 62-85.
- Cachier H. (1998) - Carbonaceous combustion aerosols - in *Atmospheric particles*, Ed. John Wiley & Sons - p295-348.
- Cadle S. H. et Dasch J. M. (1988) - Wintertime concentrations and sinks of atmospheric particulate carbon at a rural location in Northern Michigan - *Atm. Env.* - **22**, 7, 1373-1381.
- Calvert J. G., Lazrus A., Kok G. L., Heikes B. G., Walega J. G., Lind J. et Cantrell C. A. (1985) - Chemical mechanisms of acid generation in the troposphere - *Nature* - **317**, 27-35.

- Calvert J. G., Su F., Bottenheim J. W. et Strausz O. P. (1978) - Mechanism of the homogeneous oxidation of sulphur dioxide in the troposphere - *Atm. Env.* - **12**, 197-226.
- Calvet C. (1984) - Climatologie de la région parisienne - *Ed. Ministère des transports, Direction de la météorologie* - pp42.
- Camuffo D. (1998) - Microclimate for cultural heritage - *Development in Atmospheric Science 23, Ed. Elsevier* - pp416.
- Canh D. Q. (1987) - Evolution des émissions de polluants atmosphériques de 1980 à 1986 et à l'horizon 1990-2000 en France - *Études Documentaires du CITEPA* - **87**, 1-46.
- Chang L. L. Y., Howie R. A. et Zussman J. (1998) - Non-silicates, sulphates, carbonates, phosphates et halides - *Rock Forming Minerals, Vol. 5b* - *Ed. The Geological Society* - pp383.
- Chang S. G., Toossi R. et Novakov T. (1981) - The importance of soot particles and nitrous acid in oxidising SO₂ in atmospheric aqueous droplets - *Atm. Env.* - **15**, 7, 1287-1292.
- Chan W. H., Tang A. J. S., Chung D. H. S. et Reid N. W. (1987) - An analysis of precipitation chemistry measurements in Ontario - *Env. Sci. Tech.* - **21**, 12, 1219-1224.
- Chao Y. et Clark D. E. (1982) - Weathering of binary alkali silicate glasses and glass-ceramics - *Cer. Eng. Sci. Proc.* - **Sept-oct.**, 458-476.
- Charles R. J. (1958) - Static Fatigue of Glass. I - *J. Applied Physics* - **29**, 11, 1549-1553.
- Charlson R. J., Covert D. S., Larson T. V. et Waggoner A. P. (1978) - Chemical properties of tropospheric sulfur aerosols - *Atm. Env.* - **12**, 39-53.
- Chartier P. (1997) - La surface du verre : bases scientifiques pour la recherche industrielle - *Verre* - **3**, 3, 5-13.
- Chiaradia M., Gulson B. L., James M., Jameson C. W. et Johnson D. (1997) - Identification of secondary lead sources in the air of an urban environment - *Atm. Env.* - **31**, 21, 3511-3521.
- Claes M., Gysels K., Van Grieken R. et Harrison R. M. (1998) - Inorganic composition of atmospheric aerosols - *in Atmospheric particles, Ed. John Wiley & Sons* - p95-146.
- Clark D. E., Dilmore M. F., Ethridge E. C. et Hench L. L. (1976) - Aqueous corrosion of soda-silica and soda-lime-silica glass - *J. Am. Ceram. Soc.* - **59**, 1-2, 62-65.
- Clark D. E., Pantano C. G. Jr et Hench L. L. (1979a) - General review of Corrosion and weathering of glass - *in Corrosion of glass, Book for Industry and the Glass Industry, New York* - 1-6.

- Clark D. E., Pantano C. G. Jr et Hench L. L. (1979b) - Corrosion of glass by aqueous solutions - in Corrosion of glass, *Book for Industry and the Glass Industry*, New York - 22-39.
- Clark D. E., Pantano C. G. Jr et Hench L. L. (1979c) - Weathering - in Corrosion of glass, *Book for Industry and the Glass Industry*, New York - 40-54.
- Cofer III W. R., Schryer D. R. et Rogowski R. S. (1980) - The enhanced oxidation of SO₂ by NO₂ on carbon particulates - *Atm. Env.* - **14**, 571-575.
- Cofer III W. R., Schryer D. R. et Rogowski R. S. (1981) - The oxidation of SO₂ on carbon particles in the presence of O₃, NO₂ and N₂O - *Atm. Env.* - **15**, 7, 571-575.
- Cofer III W. R., Schryer D. R. et Rodowski R. S. (1984) - Oxidation of SO₂ by NO₂ and O₃ on carbon : implications to tropospheric chemistry. - *Atm. Env.* - **18**, 1, 243-245.
- Colin J.-L. (1989) - Variabilité des concentrations des espèces minérales dans les précipitations humides en relation avec l'aérosol atmosphérique - *Thèse de l'Université Paris VII* - pp376.
- Colin J.-L., Jaffrezo J.-L. et Gros J. M. (1990) - Solubility of majors species in precipitation : factors of variation - *Atm. Env.* - **24A**, 3, 537-544.
- Collongues R., Perez y Jorba M., Tilloca G. et Dallas J.-P. (1976) - Nouveaux aspects du phénomène de corrosion des vitraux anciens des églises françaises - *Verres Réfract.* - **30**, 1, 43-55.
- Cooper G. I. et Cox G. A. (1996) - The aqueous corrosion of potash-lime-silica glass in the range 10-250°C - *Applied Geochemistry* - **11**, 511-521.
- Cougnenc S. (1994) - Caractérisation physique et chimique des flux d'aérosols atmosphériques et marins sur la côte méditerranéenne française - *Thèse de l'Université de Toulon et du Var* - pp129.
- Coupry C., Sagon G. et Lautié A. (1993) - Contribution par spectrométrie Raman à la connaissance des vitraux - *1^{er} Colloque du Programme Franco-Allemand de Recherche pour la Conservation des Monuments Historiques, Karlsruhe* - 245-249.
- Cox G. A. et Ford B. A. (1993) - The long-term corrosion of glass by ground water - *J. Mat. Sci.* - **28**, 20, 5637-5647.
- Cox G. A., Heavens O. S., Newton R. G. et Pollard A. M. (1979) - A study of the weathering behavior of medieval glass from York Minster - *J. Glass Studies* - **21**, 54-75.
- Crank J. (1990) - The mathematics of diffusion - *Ed. Oxford University Press*.

- Das C. R. (1980) - Diffusion-controlled attack of glass surfaces by aqueous solutions - *J. Am. Ceram. Soc.* - **63**, 3-4, 160-165.
- Das C. R. et Douglas R. W. (1967) - Studies on the reaction between water and glass. Part. 3 - *Phys. Chem. Glasses*, **8**, 5, 178-184.
- Del Monte M. et Sabbioni C. (1984) - Morphology and mineralogy of fly-ash from a coal-fueled power plant - *Arch. Met. Geoph. Biocl.* - **B35**, 93-104.
- Derbez M. (1999) - Rôle des apports atmosphériques dans l'altération de calcaires tendres en environnement urbain : la Cathédrale de Tours - *Thèse de l'Université Paris XII - Val de Marne* - pp242.
- De Santis F. et Allegrini I. (1992) - Heterogeneous reactions of SO₂ and NO₂ on carbonaceous surfaces - *Atm. Env.* - **26A**, 16, 3061-3064.
- Dikaiakos J. G., Tsitouris C. G., Siskos P. A., Melossos D. A. et Nastos P. (1990) - Rainwater composition in Athens, Greece - *Atm. Env.* - **24B**, 1, 171-176.
- Dilmore M. F., Clark D. E. et Hench L. L. (1978) - Chemical durability of Na₂O-K₂O-CaO-SiO₂ glasses - *J. Am. Ceram. Soc.* - **61**, 9-10, 439-443.
- Dittenhoefer A. C. et de Pena R. G. (1978) - A study of production and growth of sulfate particles in plumes from a coal-fired power plant - *Atm. Env.* - **12**, 297-306.
- Dod R. L., Giauque R. D., Novakov T., Weihs S., Quipeng Z. et Wenzhi S. (1986) - Sulfate and carbonaceous aerosols in Beijing, China - *Atm. Env.* - **11**, 20, 2271-2275.
- Doremus R. H. (1975) - Interdiffusion of hydrogen and alkali ions in a glass surface - *J. Non-Cryst. Solids* - **19**, 137-144.
- Doremus R. H. (1983) - Diffusion-controlled reaction of water with glass - *J. Non-Cryst. Solids* - **55**, 143-147.
- Doremus R. H., Mehrotra Y., Lanford W. A. et Burman C. (1983) - Reaction of water with glass : influence of a transformed surface layer - *J. Mat. Sci.* - **18**, 612-622.
- Douglas R. W. et El-Shamy T. M. M. (1967) - Reactions of glasses with aqueous solutions - *J. Am. Ceram. Soc.* - **50**, 1, 1-8.
- Douglas R. W. et Isard J. O. (1949) - The action of water and sulphur dioxide on glass surfaces - *J. Soc. Glass Tech.* - **33**, 289-335.
- Drewello R. et Weißmann R. (1998) - Microbial deterioration of glass - *XVIII Int. Congress on Glass, San Francisco*.

- Eatough D. J., Caka F. M. et Farber R. J. (1994) - The conversion of SO₂ to sulfate in the atmosphere - *Israel J. Chem.* - **34**, 301-314.
- Ebert W. L. (1993) - The effects of the leachate pH and the ratio of glass surface area to leachant volume on glass reactions - *Physics and Chemistry of Glasses* - **34**, 2, 58-65.
- Eggleston S., Hackman M. P., Heyes C. A., Irwin J. G., Timmis R. J. et Williams M. L. (1992) - Trends in urban air pollution in the United Kingdom during recent decades - *Atm. Env.* - **26B**, 2, 227-239.
- Eggleton A. E. J. et Cox R. A. (1978) - Homogeneous oxidation of sulphur compounds in the atmosphere - *Atm. Env.* - **12**, 227-230.
- El-Shamy T. M. (1973) - The chemical durability of K₂O-CaO-MgO-SiO₂ glasses - *Phys. Chem. Glasses* - **14**, 1, 1-5.
- El-Shamy T. M. et Douglas R. W. (1972) - Kinetics of the reaction of water with glass - *Glass Technology* - **13**, 3, 77-80.
- El-Shamy T. M., Lewins J. et Douglas R. W. (1972) - The dependence on the pH of the decomposition of glasses by aqueous solutions - *Glass Technology* - **13**, 3, 81-87.
- El-Shamy T. M., Morsi S. E., Taki-Eldin H. D. et Ahmed A. A. (1975) - Chemical durability of Na₂O-CaO-SiO₂ glasses in acid solutions - *J. Non-Cryst. Solids* - **19**, 241-250.
- Farnan I., Grandinetti P. J., Baltisberger J. H., Stebbins J. F., Werner U., Eastman M. A. et Pines A. (1992) - Quantification of the disorder in network-modified silicate glasses - *Nature* - **358**, 31-35.
- Fassina V. (1978) - A survey on air pollution and deterioration of stonework in Venice - *Atm. Env.* - **12**, 2205-2211.
- Fassina V. (1997) - Physical and chemical properties of aerosols and of sea-salt particles - in *La pietra dei monumenti in ambiente fisico e culturale, scienze e materiali del patrimonio culturale (2)*, Ed. Edipuglia, Bari, pp143 - p89-107.
- Faugeras L. (1999) - Analyse d'anions en traces déposés sur des verres par chromatographie ionique - *Mémoire de maîtrise* - pp35 (non publié).
- Ferrazzini J.-C. (1976) - L'influence de la corrosion sur la vitesse de décomposition des verres du Moyen-Age - *Verres Réfract.*, **30**, 1, 26-29.
- Fidalgo M. R., Mateos J. et Garmendia J. (1988) - The origin of some of the elements contained in the aerosols of Salamanca (Spain) - *Atm. Env.* - **22**, 7, 11495-1498.

- Fitz S. (1989) - Glass objects : causes, mechanisms and measurement of damage - *Science Technology and European Cultural Heritage, Proceeding of the European Symposium, Bologne* - 180-189.
- Forrest J. et Newman L. (1977) - Further studies on the oxidation of sulfur dioxide in coal-fired power plant plumes - *Atm. Env.* - **11**, 465-474.
- Frenzel G. (1985) - La restauration des vitraux médiévaux - *Pour la Science* - **93**, 61-67.
- Fripiat J., Chaussidon J. et Jelli A. (1971) - Chimie-physique des phénomènes de surface - *Ed. Masson & Cie* - pp387.
- Fuchs D. R. (1991) - Total stress levels at monuments - Combined assessment using glass sensors - *2nd Int. Symp. Conserv. Mon. Mediter. Basin, Geneva* - 187-192.
- Fuchs D. R., Popall M., Römich H. et Schmidt H. (1989) - Preservation of stained glass windows : new materials and techniques - *Science, Technology and European Cultural Heritage, Proceeding of the European Symposium, Bologne* - 679-683.
- Gaines R. V., Skinner H. C. W., Foord E. E., Mason B. et Rosenzweig A. (1997) - Dana's new mineralogy - *Eighth Edition, John Wiley & Sons* - pp1819.
- Gally N., Ritter P. et Sepetjan M. (1991) - Pollution ambiante extérieure urbaine - *Pollution atmosphérique* - **Janv.-Mars**, 11-19.
- Ganor E., Levin Z. et Van Grieken R. (1998) - Composition of individual aerosol particles above the israelian mediterranean coast during the summer time - *Atm. Env.* - **32**, 9, 1631-1642.
- Garnaud S. (1999) - Transfert et évolution géochimique de la pollution métallique en bassin versant urbain - *Thèse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées* - pp396 + Annexes pp222.
- Geotti-Bianchini F. et De Riu L. (1995) - Infrared Spectroscopic analysis of water incorporated in the structure of industrial soda-lime-silica glasses - *Glastech. Ber. - Glass Sci. Technol.* - **68**, 7, 228-240.
- Geotti-Bianchini F., De Riu L., Gagliardi G., Guglielmi M. et Pantano C. G. (1991) - New interpretation of the IR reflectance spectra of SiO₂-rich films soda-lime glass - *Glastech. Ber. - Glass Sci. Technol.* - **64**, 8, 205-217.
- Gilbert B., Baril M. et Leduc R. (1990) - Techniques de mesures des dépôts secs : revue bibliographique - *Pollution Atmosphérique* - **127**, 306-323.
- Gillies K. J. S. et Cox A. (1988) - Decay of medieval stained glass at York, Canterbury and Carlisle, Part. 1. Composition of the glass and its weathering products - *Glastech. Ber. - Glass Sci. Technol.* - **61**, 3, 75-84.

- Girardet F. et Furlan V. (1989) - The ratio between the dry deposition of sulfur by aerosol and by gas on vertical stone surfaces - *Science Technology and European Cultural Heritage, Proceeding of the European Symposium, Bologne* - 350-353.
- Gomez M. L. S. et Martin M. C. R. (1987) - Application of cluster analysis to identify sources of airborne particles - *Atm. Env.* - **21**, 7, 1521-1527.
- Gottardi V., Guglielmi M., Della Mea G. et Gasparotto A. (1986) - Near-surface compositional changes in leached simple and mixed alkali glasses - *XIV Int. Congress on Glass* - **2**, 341-348.
- Gray H. A. et Cass G. R. (1998) - Source contributions to atmospheric fine carbon particle concentrations - *Atm. Env.* - **32**, 22, 3805-3825.
- Greaves G. N., Fontaine A., Lagarde P., Raoux D. et Gurman S. J. (1981) - Local structure of silicate glasses - *Nature* - **293**, 611-616.
- Grgic I., Hudnik V., Bizjak M. et Levec J. (1991) - Aqueous S(IV) oxidation - I. Catalytic effects of some metal ions - *Atm. Env.* - **25A**, 8, 1591-1597.
- Grgic I., Hudnik V., Bizjak M. et Levec J. (1992) - Aqueous S(IV) oxidation - II. Synergistic effects of some metal ions - *Atm. Env.* - **26A**, 4, 571-577.
- Grgic I., Hudnik V., Bizjak M. et Levec J. (1993) - Aqueous S(IV) oxidation - III. catalytic effect of soot particles - *Atm. Env.* - **27A**, 9, 1409-1416.
- Guy C. (1989) - Mécanismes de dissolution des solides dans les solutions hydrothermales déduits du comportement de verres basaltiques et de calcites néoformées - *Thèse de l'Université Paul Sabatier de Toulouse* - pp188.
- Hamilton R. S. et Mansfield T. A. (1991) - Airborne particulate elemental carbon : its sources, transport and contribution to dark smoke and soiling - *Atm. Env.* - **25A**, 3/4, 715-723.
- Hamilton R. S., Revitt D. M., Vincent K. J. et Butlin R. N. (1995) - Sulphur and nitrogen particulate pollutant deposition on to building surfaces - *Sci. total Env.* - **167**, 57-66.
- Hardie L. A. et Eugster H. P. (1980) - Evaporation of seawater : calculated mineral sequences - *Science* - **208**, 498-500.
- Harrison R. M. et Pio C. A. (1983) - Size-differentiated composition of inorganic atmospheric aerosols of both marine and polluted continental origin - *Atm. Env.* - **17**, 9, 1733-1738.
- Harrison R. M., Smith D. J. T., Pio C. A. et Castro L. M. (1997) - Comparative receptor modelling study of airborne particulate pollutants in Birmingham (United Kingdom) and Lahore (Pakistan) - *Atm. Env.* - **31**, 20, 3309-3321.

- Harrison R. M. et Sturges W. T. (1984) - Physico-chemical speciation and transformation reactions of particulate atmospheric nitrogen and sulphur compounds - *Atm. Env.* - **18**, 9, 1829-1833.
- Harrison R. M. et Williams C. R. (1982) - Airborne cadmium, lead and zinc at rural and urban sites in North-West England - *Atm. Env.* - **16**, 11, 2669-2681.
- Haury G., Jordan S. et Hofmann C. (1978) - Experimental investigation of the aerosol-catalysed oxidation of SO₂ under atmospheric conditions - *Atm. Env.* - **12**, 281-287.
- Hegg D. A. et Hobbs P. V. (1978) - Oxidation of sulfur dioxide in aqueous systems with particulate reference to the atmosphere - *Atm. Env.* - **12**, 241-253.
- Heintzenberg J. (1994) - The life cycle of the atmospheric aerosol - in ERCA : Topics in Atmospheric and Interstellar Physics and Chemistry - 251-270.
- Hellmann R. (1997) - The albite-water system : Part IV. Diffusion modelling of leached and hydrogen-enriched layers - *Geochimica and Cosmochimica Acta* - **61**, 8, 1595-1611.
- Hench L. L. (1975) - Characterization of glass corrosion and durability - *J. Non-Cryst. Solids* - **19**, 27-39.
- Hench L. L. (1977) - Physical chemistry of glass surfaces - *J. Non-Cryst. Solids* - **II**, 343-369.
- Hench L. L. (1982) - Glass surfaces - *J. Physique Colloque* - **43**, C9-625-C9-636.
- Hench L. L. et Clark D. E. (1978) - Physical chemistry of glass surfaces - *J. Non-Cryst. Solids* - **28**, 83-105.
- Houser C. A., Herman J. S., Tsong I. S. T., White W. B. et Lanford W. A. (1980) - Sodium-hydrogen interdiffusion in sodium silicate glasses - *J. Non-Cryst. Solids* - **41**, 89-98.
- Hreglich S., Profilo B. et Verità M. (1980) - Study on the corrosion & colour of potassium glass - Church of S.S. Giovanni & Paolo, Venice - *News Letter CVMA* - **31/32**, 16-23.
- Iliffe C. J. et Newton R. G. (1976) - Using triangular diagrams to understand the behaviour of medieval glasses - *Verres Réfract* - **30**, 1, 30-34.
- Isard J. O., Allnatt A. R. et Melling P. J. (1982) - An improved model of glass dissolution - *Phys. Chem. Glasses*, **23**, 6, 185-189.
- Isard J. O. et Müller W. (1986) - Influence of alkaline earth ions on the corrosion of glasses - *Phys. Chem. Glasses* - **27**, 2, 55-58.

- Isard J. O. et Patel A. R. (1981) - A comparison between weathering and water leaching tests on glasses of simple composition - *Glass Tech.* - **22**, 6, 247-250.
- Jantzen C. M. et Plodinec M. J. (1984) - Thermodynamic model of natural, medieval and nuclear waste glass durability - *J. Non-Cryst. Solids* - **67**, 207-223.
- Jollivet P., Montanelli T. et Vernaz E. (1997) - Estimation de la cinétique d'altération d'un colis de déchets vitrifiés de « type R7T7 » dans un site de stockage - *Verre* - **Vol. 3**, 4, 11-21.
- Juguet B., Coviaux F., Le Moullec Y. et Festy B. (1984) - Etude de la fraction minérale de l'aérosol urbain à Paris, Bilan d'une surveillance prolongée - *Pollution Atmosphérique* - **Janvier-Mars** - 3-12.
- Kadowaki S. (1977) - Size distribution and chemical composition of atmospheric particulate nitrate in the Nagoya area - *Atm. Env.* - **11**, 671-675.
- Kadowaki S. (1990) - Characterization of carbonaceous aerosols in the Nagoya urban area. 1. Elemental and organic carbon concentrations and the origin of organic aerosols - *Env. Sci. Tech.* - **24**, 5, 741-744.
- Katrinak K. A., Anderson J. R. et Buseck P. R. (1995) - Individual particle types in the aerosol of Phoenix, Arizona - *Env. Sci. Tech.* - **29**, 2, 321-329.
- Koutrakis P. (1984) - Physico-chimie de l'aérosol urbain : identification et quantification des principales sources par analyse multivariable - *Thèse de l'Université Paris VII* - pp124.
- Krumbein W. E., Urzi C. E. et Gehrman C. (1991) - Biocorrosion and Biodeterioration of Antique and Medieval glass - *Geomicrobiology Journal* - **9**, 139-160.
- Kulmala M., Kerminen V. et Laaksonen A. (1995) - Simulations on the effect of sulphuric acid formation on atmospheric aerosol concentrations - *Atm. Env.* - **29**, 3, 377-382.
- Lammel G. et Metz G. (1997) - Pollutant fluxes onto the façades of a historical monument - *Atm. Env.* - **31**, 15, 2249-2259.
- Lanford W. A., Davis K., Lamarche P., Laursen T. et Groleau R. (1979) - Hydration of soda-lime glass - *J. Non-Cryst. Solids* - **33**, 249-266.
- Larson T. V. et Harrison H. (1977) - Acidic sulfate aerosols : formation from heterogeneous oxidation by O₃ in clouds - *Atm. Env.* - **11**, 1133-1141.
- Lasaga A. C. (1981) - Transition state théorie - in *Kinetics of geochemical processes* - Editeurs Lasaga A. C. et Kirkpatrick R. J.
- Lee D. S., Garland J. A. et Fox A. A. (1994) - Atmospheric concentrations of trace elements in urban areas of The United Kingdom - *Atm. Env.* - **28**, 16, 2691-2713.

- Lefèvre R.-A., Grégoire M., Derbez M. et Ausset P. (1998) - Origin of sulphated grey crusts on glass in polluted urban atmosphere : stained glass windows of Tours Cathedral (France) - *Glastech. Ber. - Glass Sci. Technol* - **71**, 3, 75-80.
- Leissner J., Beuschlein S., Pilz M., Martin G., Blades N. et Redol P. (1997) - Assessment and monitoring the environment of cultural property - *Eur. Cult. Heritage Newsletter on Res.* - **10**, 5-49.
- Libourel G., Barbey P. et Chaussidon M. (1994) - L'altération des vitraux - *La Recherche* - **262**, 168-188.
- Libourel G., Barbey P., Chaussidon M. et Brown. L. (1993) - Caractérisation microstructurale et chimique de l'altération des vitraux de la Cathédrale Saint-Gatien de Tours et de l'église Sainte-Catherine d'Oppenheim - *1^{er} Colloque du Programme Franco-Allemand de Recherche pour la Conservation des Monuments Historiques, Karlsruhe* - 227-236.
- Libourel G., Sterpenich J., Barbey P. et Chaussidon M. (1997) - Caractérisation microstructurale, minéralogique et chimique de l'altération des vitraux - *in le Matériau vitreux : verre et vitraux, Actes du cours Intensif Européen Ravello, 28-30 avril 1995, Ed. Edipuglia* - 75-89.
- Lightowlers P. J. et Cape J. N. (1988) - Sources and fate of atmospheric HCl in the UK and Western Europe - *Atm. Env.* - **22**, 1, 7-15.
- Lioy P. J., Zelenka M. P., Cheng M.-D., Reiss N. M. et Wilson W. E. (1989) - The effect of sampling duration on the ability to resolve source types using factor analysis - *Atm. Env.* - **23**, 1, 239-254.
- Lipfert F. W. (1989) - Dry deposition velocity as an indicator for SO₂ damage to materials - *JAPCA* - **39**, 446-452.
- Losno R., Bergametti G., Carlier P. et Mouvier G. (1991) - Major ions in marine rainwater with attention to sources of alkaline and acidic species - *Atm. Env.* - **25A**, 3/4, 763-770.
- Luria M., Peleg M., Sharf G., Tov-Alper D. S., Spitz N., Ben Ami Y., Gawii Z., Lifschitz B., Yitzchaki A. et Seter I. (1996) - Atmospheric sulfur over the East Mediterranean region - *J. Geophys. Res.* - **101**, D20, 25917-25930.
- McMahon T. A. et Denison P. J. (1979) - Review paper, Empirical atmospheric deposition parameters - A survey - *Atm. Env.* - **13**, 571-585.
- Madelaine G. J. (1979) - Physique et dynamique de l'aérosol atmosphérique - *1st Eur. Symp. Physico-chemical Behaviour of Atmospheric Pollutants, Ispra* - 261-267.
- Mamane Y. (1988) - Estimate of municipal refuse incinerator contribution to Philadelphia aerosol - I. source analyses - *Atm. Env.* - **22**, 11, 2411-2418.

- Mamane. Y., Dzubay T. G. et Ward R. (1992) - Sulfur enrichment of atmospheric minerals and spores - *Atm. Env.* - **26A**, 6, 1113-1120.
- Mamane Y. et Gottlieb J. (1989) - Heterogeneous reactions of minerals with sulfur and nitrogen oxides - *J. Aerosol Sci.* - **20**, 3, 303-311.
- Mamane Y. et Mehler M. (1987) - On the nature of nitrate particles in a coastal urban area - *Atm. Env.* - **21**, 9, 1989-1994.
- Mamane Y. et Noll K. E. (1985) - Characterization of large particles at a rural site in the Eastern United States : mass distribution and individual particle analysis - *Atm. Env.* - **19**, 4, 611-622.
- Mamane Y. et Pueschel R. F. (1980) - A method for the detection of individual nitrate particles - *Atm. Env.* - **14**, 629-639.
- Marabelli M., Sautopadre P. et Verità M. (1993) - Influence of external protective glazing upon conservation of the medieval stained glass window in Orvieto Cathedral - *Rivista della Staz. Sper. Vetro* - **3**, 137-144.
- Marchal T. (1983) - Contribution à l'étude physico-chimique de l'aérosol atmosphérique en milieu côtier - *Thèse de l'Université Paris VII, R. Diderot* - pp138.
- Marshall B. T., Patterson E. M. et Grams G. W. (1986) - Characterization of the Atlanta area aerosol, elemental composition and possible sources - *Atm. Env.* - **20**, 6, 1291-1300.
- Martinetto P. (1997) - Etude de l'altération de deux verres-modèles et d'un verre ancien exposés à l'atmosphère de Venise - *DEA Science et Structure des Matériaux, Université Joseph Fourier, Grenoble* - pp22.
- Mason B. (1966) - Principles in geochemistry - *Ed. Wiley and Sons, New York*.
- Mészáros A. et Mészáros E. (1989) - Sulfate formation on elemental carbon particles - *Aer. Sci. Tech.* - **10**, 337-342.
- Michalske T. et Bunker B. (1988) - La fracture du verre - *Pour la Science* - **Fev.**, 52-59.
- Middleton P., Kiang C. S. et Mohnen V. A. (1980) - Theoretical estimates of the relative importance of various urban sulfate aerosol production mechanisms - *Atm. Env.* - **14**, 463-472.
- Millet M., Mirabel P., Lakkis D. et Leroy M. J. F. (1993) - Composition chimique des eaux de pluies et de ruissellement au voisinage de la collégiale de Thann et de la cathédrale de Tours - *1^{er} Colloque du Programme Franco-Allemand de Recherche pour la Conservation des Monuments Historiques, Karlsruhe* - 47-51.

- Mogileva V. V., Ivanovskaya I. S., Belyustin A. A. et Shul'ts M. M. (1978) - Study of concentration distribution of Na in surface layers of sodium-aluminosilicate glass and its leaching in HCl - *Sov. J. Glass Physics Chem.* - **4**, 4, 400-406.
- Moharram M. A. et Sowelin M. A. (1979) - Infrared study of mineral and compound in atmospheric dustfall in Cairo - *Atm. Env.* - **14**, 853-856.
- Möller D. (1980) - Kinetic model of atmospheric SO₂ oxidation based on published data - *Atm. Env.* - **14**, 1067-1076.
- Molnàr A., Mészàaros E., Bozó L., Borbély-Kiss I., Koltay E. et Szabó Gy. (1993) - Elemental composition of atmospheric aerosol particles under different conditions in Hungary - *Atm. Env.* - **27A**, 15, 2457-2461.
- Müller W. (1992) - Corrosion phenomena of medieval stained glasses - *XVI Int. Congress. on Glass, Madrid* - **1**, 219-239.
- Müller W., Torge M. et Adam K. (1995) - Primary stabilization factor of the corrosion of historical glasses : the gel layer - *Glastech. Ber. - Glass Sci. Technol.* - **68**, 9, 285-292.
- Munier I. (1996) - Altération du verre par la pollution atmosphérique : étude d'un fragment de vitrail de la Sainte-Chapelle de Paris - *DEA Surfaces et Interfaces : Matériaux en évolution, Universités de Paris XII, de Paris VII, de Marne la Vallée* - pp38.
- Nahir T. M. et Dawson G. A. (1987) - Oxidation of sulfur dioxide by ozone in highly dispersed water droplets - *J. Atm. Chem.* - **5**, 4, 373-383.
- Negi B. S., Sadasivan S. et Mishra U. C. (1987) - Aerosol composition and sources in urban areas in India - *Atm. Env.* - **21**, 6, 1259-1266.
- Newton R. (1975) - The weathering of medieval window glass - *J. Glass Studies* - **17**, 161-168.
- Newton R. et Davison S. (1989) - Conservation of glass - *Ed. Butterworth Heinemann* - pp318.
- Newton R. G. and Paul A. (1980) - A new approach to predicting the durability of glasses from their chemical compositions - *Glass Tech.* - **21**, 6, 307-309.
- Newton R. G. et Fuchs D. (1988) - Chemical compositions and weathering of some medieval glasses from York Minster. Part 1 - *Glass Tech.* - **29**, 1, 43-48.
- Nicholson K. W. (1988a) - Review article : A review of particle resuspension - *Atm. Env.* - **22**, 12, 2639-2651.
- Nicholson K. W. (1988b) - Review article : The dry deposition of small particles : a review of experimental measurements - *Atm. Env.* - **22**, 12, 2653-2666.

- Noll K. E., Draftz R. and Fang K. Y. P. (1987) - The composition of atmospheric coarse particles at an urban and non-urban site - *Atm. Env.* - **21**, 12, 2717-2721.
- Novakov T., Chang S. G. et Harker A. B. (1974) - Sulfates as pollution particulates : catalytic formation on carbon (soot) particles - *Science* - **186**, 259-261.
- Ohta S. et Okita T. (1984) - Measurements of particulate carbon in urban and marine air in Japanese area - *Atm. Env.* - **18**, 11, 2439-2445.
- Ohta H. et Suzuki Y. (1978) - Chemical durability of glasses in the systems $\text{SiO}_2\text{-CaO-Na}_2\text{O-R}_m\text{O}_n$ - *Am. Ceram. Soc. Bul.* - **57**, 602-604.
- Pacyna J. M. (1994) - Emissions of pollutants and their control - in ERCA : Topics in Atmospheric and Interstellar Physics and Chemistry - 135-159.
- Parekh P. P., Ghauri B., Siddiqi Z. R. et Husain L. (1987) - The use of chemical and statistical methods to identify sources of selected elements in ambient air aerosols in Karachi, Pakistan - *Atm. Env.* - **21**, 6, 1267-1274.
- Paul A. (1977) - Chemical durability of glasses ; a thermodynamic approach - *J. Mat. Sci.* - **12**, 2246-2268.
- Paul A. et Youssefi A. (1978) - Influence of complexing agents and nature of buffer solution on the durability of glass. Part 2. Effect of EDTA, ethyl alcohol, and sugar in the leach solution - *Glass Tech.*, **19**, 6, 166-170.
- Pederson L. R., Baer D. R., McVay G. L. et Engelhard M. H. (1986) - Reaction of soda lime silicate glass in isotopically labelled water - *J. Non-Crist. Solids* - **86**, 369-380.
- Penkett S. A., Jones M. R., Brice K. A. et Eggleton A. E. J. (1979) - The importance of atmospheric ozone and hydrogen peroxide in oxidising sulphur dioxide in cloud and rainwater - *Atm. Env.* - **13**, 1, 123-137.
- Perez y Jorba M. et Bettembourg J.-M. (1989) - Opacification des verres médiévaux. Rôle du manganèse - *Extraits des Actes du Colloque de Namur, Techniques et Sciences. Les arts du verre, 1989, Ed. Presses universitaires de Namur* - 119-125.
- Perez y Jorba M., Dallas J. P., Bauer C., Bahezre C. et Martin J. C. (1980) - Deterioration of stained glass by atmospheric corrosion and micro-organisms - *J. Mat. Sci.* - **15**, 1640-1647.
- Perez y Jorba M., Dallas J. P., Collongues R., Bahezre C. et Martin J. C. (1984) - La corrosion atmosphérique d'un verre du Moyen-Age. Rôle du phosphore dans le mécanisme d'altération. - *Rivista della Staz. Sper. Vetro* - **5**, 121-130.

- Perez y Jorba M., Tilloca G., Michel D. et Dallas J. P. (1975) - Quelques aspects du phénomène de corrosion des vitraux anciens des églises françaises - *Verres Réfract.*, **29**, 2, 53-63.
- Pernot B. (1997) - Modification du pouvoir entartrant d'eaux calcifiantes par des cations métalliques : fer, aluminium, manganèse, zinc - *Thèse de l'Université de Franche-Comté* - pp153.
- Petit J.-C., Della Mea G., Dran J.-C., Magonthier M.-C., Mando P. A. et Paccagnella A. (1990) - Hydrated-layer formation during dissolution of complex silicate glasses and minerals - *Geochimica et Cosmochimica Acta* - **47**, 805-815.
- Pilinis C., Seinfeld J. H. et Grosjean D. (1989) - Water content of atmospheric aerosols - *Atm. Env.* - **23**, 7, 1601-1606.
- Pinto J. P., Stevens R. K., Willis R. D., Kellogg R., Mamane Y., Novak J., Santroch J., Benes I., Lenicek J. et Bures V. (1998) - Czech air quality monitoring and receptor modeling study - *Env. Sci. Tech.* - **32**, 7, 843-854.
- Pio C. A., Ramos M. M. et Duarte A. C. (1998) - Atmospheric aerosol and soiling of external surfaces in an urban environment - *Atm. Env.* - **32**, 11, 1979-1989.
- Post J. E. et Buseck P. R. (1984) - Characterization of individual particles in the Phoenix urban aerosol using electron-beam instruments - *Env. Sci. Tech.* - **18**, 1, 35-42.
- Prodi F. et Tampier F. (1982) - The removal of particulate matter from the atmosphere : the physical mechanisms - *PAGEOPH* - **120**, 287-325.
- Quisefit J.-P., de Chateaubourg P., Garivait S. et Steiner E. (1994) - Quantitative analyses of aerosol filters by wavelength-dispersive X-ray spectrometry from bulk reference samples - *X-ray Spectrum* - **23**, 59-64.
- Rahn K. A. (1976) - Silicon and aluminum in atmospheric aerosols : crust-air fractionation ? - *Atm. Env.* - **10**, 597-601.
- Rana M. A. et Douglas R. W. (1961a) - The reaction between glass and water. Part 1. Experimental methods and observations - *Phys.Chem. Glasses* - **2**, 6, 179-195.
- Rana M. A. et Douglas R. W. (1961b) - The reaction between glass and water. Part. 2 Discussion of the results - *Phys. Chem. Glasses* - **2**, 6, 196-205
- Renoux A. (1990) - Ce qu'il faut savoir sur l'aérosol atmosphérique - *Pollution Atmosphérique* - **1**, 10-13.
- Renoux A. et Bouland D. (1998) - Les aérosols, physique et métrologie - *Ed. Lavoisier Tec. & Doc.* - pp301.

- Roberts D. B. et Williams D. J. (1979) - The kinetics of oxidation of sulfur dioxide within the plume from sulphide smelter in a remote region - *Atm. Env.* - **13**, 1485-1499.
- Rojas C. M. , Artaxo P. et Van Grieken R. (1990) - Aerosols in Santiago de Chile : a study using receptor modeling with X-ray fluorescence and single particle analysis - *Atm. Env.* - **24B**, 2, 227-241.
- Römich H., Aerts A., Janssens K. et Adams F. (1998) - Simulation of corrosion phenomena of glass objects on model glasses - *XVIII Int. Congress on Glass, San Francisco*.
- Römich H., Leissner J. et Böhm T. (1998) - Monitoring of environmental effects with glass sensors - *Proc. UNECE Workshop Quantification of Effects of Air Pollutants on Materials, 24-27 mai 1998* - 165-171.
- Rousseau-Djabri M.-F., Jaunet A.-M. et Robert M. (1996) - Corrosion des verres : rôle des bactéries et des sécrétions dans les phénomènes de dissolution et de brunissement - *2^{ème} Colloque du Programme Franco-Allemand de Recherche pour la Conservation des Monuments Historiques, Bonn* - 55-60.
- Salem A. A. et Grasserbauer M. et Schreiner M. (1994) - Study of corrosion processes in glass by a multitechnique approach. Part 1. Atomic absorption spectroscopy, atomic emission spectroscopy and scanning electron microscopy - *Glass Technology* - **45**, 2, 89-96.
- Sallès J., Janischewski J., Jaeger-Voirol A. et Martin B. (1996) - Mobile source emission inventory model. Application to Paris area - *Atm. Env.* - **30**, 12, 1965-1975.
- Sanders D. M. et Hench L. L. (1973) - Mechanisms of glass corrosion - *J. Am. Ceram. Soc.* - **56**, 7, 373-377.
- Saxena P. et Seigneur C. (1987) - On the oxidation of SO₂ to sulfate in atmospheric aerosols - *Atm. Env.* - **21**, 4, 807-812.
- Schmitz I., Schreiner M., Friedbacher G. et Grassebauer M. (1998) - *In situ* investigation of the weathering of potash-lime-silica glass by tapping mode atomic force microscopy (TM-AFM) - *XVIII Int. Congress on Glass, San Francisco*.
- Schneider B. (1987) - Source characterization for atmospheric trace metals over Kiel Bight - *Atm. Env.* - **21**, 6, 1275-1283.
- Scholze H. (1982) - Chemical durability of glasses - *J. of Non-Cryst. Solids* - **52**, 91-103.
- Scholze H. (1989) - The chemistry of glass surfaces - *XV Int. Congress on Glass, Leningrad* - 302-326.
- Scholze H. (1991) - Glass : Nature, Structure, and properties - *Ed. Springer-Verlag* - pp454.

- Schreiner M. (1988) - Deterioration of stained medieval glass by atmospheric attack, Part 1. Scanning electron microscopic investigations of the weathering phenomena - *Glastech. Ber. - Glass Sci. Technol.* - **61**, 7, 197-204.
- Schreiner M. (1989) - Secondary Ion Mass Spectrometer analysis of potash-lime-silica glasses leached in hydrochloric and sulfuric acids - *J. Am. Ceram. Soc.* - **72**, 9, 1713-1715.
- Sehmel G. A. (1980) - Particle and gas dry deposition : a review - *Atm. Env.* - **14**, 983-1011.
- Seigneur C. et Saxena P. (1984) - A study of atmospheric acid formation in different environments - *Atm. Env.* - **18**, 10, 2109-2124.
- Seigneur C. et Saxena P. (1988) - A theoretical investigation of sulfate formation in clouds - *Atm. Env.* - **22**, 1, 101-115.
- Shelby J. E., Vitko J. Jr et Pantano C. G. (1980) - Weathering of glasses for solar applications - *Solar An. Mat.* - **3**, 97-110.
- Sen S. et Tooley F. V. (1955) - Effect of $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ratio on chemical durability of alkali-lime-silica glasses - *J. Am. Ceram. Soc.* - **38**, 5, 175-177.
- Smets B. M. J. et Tholen M. G. W. (1985) - The pH dependence of the aqueous corrosion of glass - *Phys. Chem. Glasses* - **26**, 3, 60-63.
- Sterpenich J. (1998) - Altération des vitraux médiévaux, contribution à l'étude du comportement à long terme des verres de confinement - *Thèse de l'Université Nancy I* - pp461.
- Sterpenich J. et Libourel G. (1997) - Les vitraux médiévaux : caractérisation physico-chimique de l'altération - *Techne* - **6**, 70-78.
- Stockdale G. F. et Tooley F. V. (1950) - Effect of humid conditions on glass surfaces studied by photographic and transmission techniques - *J. Am. Ceram. Soc.* - **33**, 1, 11-16.
- Tani B., Siegel S., Johnson S. A. et Kumar R. (1983) - X-ray diffraction investigation of atmospheric aerosols in the 0,3-1,0 μm aerodynamic size range - *Atm. Env.* - **17**, 11, 2277-2283.
- Touray J.-C. (1980) - La dissolution des minéraux, aspects cinétiques - *Ed. Masson* - pp109.
- Valaoras G., Huntzicker J. J. et White W. H. (1988) - On the contribution of motor vehicles to the Arhenian «Nephos » : an application of factor signatures - *Atm. Env.* - **22**, 5, 965-971.
- Van Borm W. A., Adams F. C. et Maenhaut W. (1989) - Characterization of individual particles in the Antwerp aerosol - *Atm. Env.* - **23**, 5, 1139-1151.

- Vernaz E. Y. et Jacquet-Francillon N. (1997) - Altération des verres par l'eau - *Verre* - **3**, 3, 14-20.
- Warren B. E. et Bischof J. (1938) - The structure of silica glass by X-ray diffraction studies - *J. Am. Ceram. Soc.* - **21**, 2, 49-54.
- Wexler A. S. et Seinfeld J. H. (1991) - Second-generation inorganic aerosol model - *Atm. Env.* - **25A**, 12, 2731-2748.
- Whitby K. T. (1978) - The physical characteristics of sulfur aerosols - *Atm. Env.* - **12**, 135-159.
- Wikby A. (1974) - The resistance of the surface layers of glass electrodes - *Phys. Chem. Glasses* - **15**, 2, 37-41.
- Willison M. J., Clarke A. G. et Zeki E. M. (1985) - Seasonal variation in atmospheric aerosol concentration and composition at urban and rural sites in Northern England - *Atm. Env.* - **19**, 7, 1081-1089.
- Woisetschlager G., Dutz M. et Schreiner M. (1998) - Evaluation of the weathering progress on naturally weathered potash-lime-silica glass with medieval composition by scanning electron microscopy (SEM) - *Proc. UN/ECE Workshop Quantification of Effects of Air Pollutants on Materials*, 24-27 mai 1998 - 27-36.
- Wright A. C. (1994) - Neutron scattering from vitreous silica. V. The structure of vitreous silica : what have we learned from 60 years of diffraction studies ? - *J. Non-Crist. Solids* - **179**, 84-115.
- Yamaguchi K., Tatano T., Tanaka F., Nakao M. et Gomyoda M. (1991) - An analysis of precipitation chemistry measurements in Shimane, Japan - *Atm. Env.* - **25A**, 2, 285-291.
- Young G. J. (1958) - Interaction of water vapor with silica surfaces - *J. Colloid Sci.* - **13**, 67-85.
- Zachariensen W. H. (1932) - The atomic arrangement in glass - *J. Am. Chem. Soc.* - **54**, 3841-3851.
- Zachariensen W. H. (1933) - Die Struktur der Gläser - *Glastech. Ber.* - *Glass Sci. Technol.* - **11**, 4, 120-123.
- Zarzycki J. (1981) - La surface des verres - *Verres Réfract.*, **35**, 1, 21-30.
- Zarzycki J. (1982) - Les verres et l'état vitreux - *Ed. Masson* - pp391.
- Zarzycki J. (1984) - Le verre et l'eau - *Rivista della Staz. Sper. Vetro* - **5**, 17-28.
- Zhou G. et Tazaki K. (1996) - Seasonal variation of gypsum in aerosol and its effect on the acidity of wet precipitation on the Japan sea side of Japan - *Atm. Env.* - **30**, 19, 3301-3308.

