



**Conseil Économique
et Social**

Distr.
GÉNÉRALE

EB.AIR/WG.1/2000/7
2 juin 2000

FRANÇAIS
Original : ANGLAIS

COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE

ORGANE EXÉCUTIF DE LA CONVENTION SUR LA
POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE TRANSFRONTIÈRE
À LONGUE DISTANCE

Groupe de travail des effets
(Dix-neuvième session, Genève, 23-25 août 2000)
Point 4 c) de l'ordre du jour provisoire

PROGRAMME D'EXPOSITION À PLUSIEURS POLLUANTS :
RÉSULTATS OBTENUS APRES UNE ANNÉE D'EXPOSITION

Rapport récapitulatif du Centre de recherche principal du Programme international
concerté relatif aux effets de la pollution atmosphérique sur les matériaux,
y compris ceux des monuments historiques et culturels

I. INTRODUCTION

1. Au premier programme d'exposition relevant du Programme international concerté relatif aux effets de la pollution atmosphérique sur les matériaux, y compris ceux des monuments historiques et culturels (PIC-Matériaux), lancé en 1987, a succédé à compter de la fin de 1997, le nouveau programme d'exposition à plusieurs polluants (programme multipolluants). Pour une meilleure efficacité, et pour tenir compte des nouveaux polluants intégrés au programme, des modifications ont été apportées sur plusieurs points : réseau de sites d'essai, matériaux exposés et détermination des caractéristiques de l'environnement avant la première exposition. Le programme comprend désormais 29 sites d'essai dans 15 pays européens ainsi qu'en Israël, au Canada et aux États-Unis d'Amérique (fig. I). Des échantillons de matériaux ont été prélevés après un an et deux ans d'exposition.

Les documents établis sous les auspices ou à la demande de l'Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance aux fins d'une distribution GÉNÉRALE doivent être considérés comme provisoires tant qu'ils n'ont pas été APPROUVÉS par l'Organe exécutif.

2. Les résultats obtenus au bout de la première année d'exposition dans le cadre du programme multipolluants commencent à être disponibles. Du point de vue de la corrosion, un an est un laps de temps relativement court. Toutefois, l'utilisation à des fins de comparaison de la base de données constituée précédemment permet d'optimiser l'exploitation des nouvelles données. Le présent rapport i) décrit la constitution de la base de données (chap. II); ii) présente les caractéristiques des nouveaux sites d'essai, en indiquant notamment comment ils complètent les sites existants, repoussant les limites du réseau antérieur (chap. III); et iii) évalue l'évolution de la corrosion de nouveaux matériaux en comparant les résultats les concernant avec les valeurs obtenues après un an d'exposition dans le programme initial (chap. IV). Pour certains matériaux, c'est la seule comparaison possible, alors que pour le calcaire, l'acier et le zinc, de nouvelles expositions et évaluations des tendances suivront. Le choix du calcaire comme nouveau matériau pour l'analyse des tendances (à côté de deux métaux, le zinc et l'acier au carbone) sera très utile pour comprendre l'évolution des effets de la pollution atmosphérique sur la dégradation des éléments du patrimoine culturel.

Figure I

Emplacement approximatif des sites européens utilisés dans le programme d'exposition à plusieurs polluants (voir tableau 1). Les centres de recherche chargés de l'évaluation des matériaux sont également représentés (•).

II. CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNÉES

3. Le tableau 1 et la figure I présentent le réseau de sites d'essai utilisés dans le programme multipolluants. Après un examen attentif de la base de données très fournie tirée du programme d'exposition initial, 18 sites, jugés superflus, ont été éliminés. On a gardé seulement 21 des 39 sites initiaux, et on a retenu huit nouveaux sites correspondant à des situations nouvelles en matière de pollution et à des combinaisons climat-pollution inédites, ce qui a permis non seulement d'améliorer notablement l'efficacité du programme, mais aussi de mieux tenir compte du caractère multipolluant de celui-ci (voir chap. III). Ces changements ont eu pour effet d'augmenter la proportion de sites urbains, qui est passée de 14 sur 39 à 16 sur 29 (avec, par exemple, l'inclusion des nouveaux sites de Berlin, Paris et Londres).

Tableau 1

Liste des sites d'essais utilisés dans le cadre du programme d'exposition multipolluants. Sont indiqués le numéro et le nom de chaque site ainsi que le pays dans lequel il est situé et la catégorie à laquelle il appartient. Les sites 1 à 39 figuraient déjà dans le programme d'exposition initial; les sites 40 à 49 sont nouveaux.

No	Nom	Pays	Catégorie
1	Prague-Letnany	République tchèque	Urbain
3	Kopisty	République tchèque	Industriel
5	Ähtäri	Finlande	Rural
7	Waldhof-Langenbrügge	Allemagne	Rural
9	Langenfeld-Reusrath	Allemagne	Rural
10	Bottrop	Allemagne	Industriel
13	Rome	Italie	Urbain
14	Casaccia	Italie	Rural
15	Milan	Italie	Urbain
16	Venise	Italie	Urbain
21	Oslo	Norvège	Urbain
23	Birkenes	Norvège	Rural
24	Stockholm sud	Suède	Urbain
26	Aspvreten	Suède	Rural
27	Cathédrale de Lincoln	Royaume-Uni	Urbain
31	Madrid	Espagne	Urbain
33	Tolède	Espagne	Rural
34	Moscou	Fédération de Russie	Urbain
35	Lahemaa	Estonie	Rural
36	Lisbonne	Portugal	Urbain
37	Dorset	Canada	Rural
40	Paris	France	Urbain
41	Berlin	Allemagne	Urbain
43	Tel Aviv	Israël	Urbain
44	Svanvik	Norvège	Rural
45	Chaumont	Suisse	Rural
46	Londres	Royaume-Uni	Urbain
47	Los Angeles	États-Unis	Urbain
49	Anvers	Belgique	Urbain

4. On a amélioré la communication des données environnementales en recourant aux moyens électroniques, en se limitant aux données mensuelles et en remplaçant le paramètre "durée d'humidité", difficile à mesurer, par la température et l'humidité relative.

5. Pour la définition de fonctions dose-réponse, il est important que les concentrations de polluants sur les différents sites comparés soient nettement différentes. Le tableau 2 montre que la distribution des valeurs correspondantes pour les polluants gazeux est assez bonne.

Tableau 2

Ventilation des sites d'essai en fonction des intervalles de concentration de SO₂, NO₂ et O₃ (chiffres annuels pour la première année).

Intervalle de concentration, µg/m ³	SO ₂	NO ₂	O ₃
≤ 10	63 %	30 %	0 %
10 à 30	30 %	30 %	13 %
30 à 50	7 %	26 %	52 %
>50	0 %	13 %	35 %

Numéro du site

Figure II

Concentration moyenne de O₃ pour la première année du programme d'exposition multipolluants. Pour savoir à quels sites correspondent les numéros, voir tableau 1 et figure I.

6. Les concentrations de SO₂ vont de 30 µg/m³ à 0,2 µg/m³ dans les stations scandinaves de mesure de la pollution de fond (EMEP). Comme on pouvait s'y attendre, les valeurs faibles prédominent puisque le volume total des émissions de soufre en Europe a été réduit au cours de la période d'activité du PIC-Matériaux. Les concentrations de NO₂ sont comprises entre 80 µg/m³ et 0,7 µg/m³. Les valeurs faibles sont prépondérantes, mais la fourchette est large. Pour ce qui est des concentrations de O₃, elles s'échelonnent entre 90 µg/m³ et 30 µg/m³. Comme le montre la figure II, les valeurs faibles s'observent dans les grandes villes, les valeurs élevées dans les zones rurales du sud ainsi qu'en altitude dans la région alpine.

7. Les effets de corrosion sur les matériaux sont évalués au moyen de procédures normalisées ou reconnues de longue date dans des centres secondaires spécialisés désignés à cet effet. Chaque centre secondaire se consacre à un matériau ou un groupe de matériaux pour lequel il effectue toutes les analyses de corrosion sans tenir compte du lieu d'exposition des échantillons. Ces centres secondaires sont les suivants :

SVÚOM, Prague (République tchèque), chargé de plusieurs métaux utilisés dans la construction – acier au carbone, acier patinable, zinc (1987-1995) et aluminium – et des matériaux suivants pour l'analyse des tendances : acier au carbone non allié et zinc (depuis 1987);

Département des monuments historiques du Land de Bavière, Munich (Allemagne), chargé de deux métaux utilisés dans la construction, à savoir le cuivre et le bronze coulé, y compris les bronzes prétraités;

Building Research Establishment (BRE), Garston, Watford (Royaume-Uni), chargé des matériaux en pierre suivants : calcaire (également pour l'analyse des tendances) et grès;

Institut norvégien de recherche sur l'atmosphère (NILU), Lilleström (Norvège), chargé des matériaux avec revêtements suivants : acier galvanisé avec revêtement de peinture à la mélamine alkyde, panneaux d'acier avec revêtement de peinture à l'alkyde, panneaux de bois revêtus d'une peinture à l'alkyde et panneaux de bois revêtus d'une couche primaire de peinture à l'alkyde et d'une couche de l'alkyde-acrylate;

Institut suédois pour l'étude de la corrosion, Stockholm (Suède), chargé de plusieurs matériaux de contact électrique - nickel, cuivre, argent, étain et connecteurs de cartes de crédit de trois classes différentes - ainsi que des matériaux polymères suivants : polyamide et polyéthylène;

Institut de chimie de l'Académie des beaux-arts de Vienne (Autriche), chargé des matériaux en verre utilisés pour la fabrication des vitraux médiévaux, notamment des matériaux en verre de potasse-chaux-silice M1 (sensible) et M3;

EMPA, corrosion/protection des surfaces, Dübendorf (Suisse), chargé d'un métal utilisé dans la construction, à savoir le zinc (depuis 1997).

8. Les matériaux prélevés après une année d'exposition sont l'acier au carbone, le zinc, le cuivre, le bronze coulé, le calcaire et les panneaux de bois à revêtement de peinture à l'alkyde. Les matériaux en verre font aussi partie du programme multipolluants, mais le premier prélèvement interviendra fin 2000, après trois ans d'exposition. À titre d'exemple, la figure III montre le degré de corrosion du bronze hors abri, mesuré dans le cadre du programme multipolluants et, pour comparaison, les valeurs obtenues dix ans plus tôt dans le cadre du programme initial.

Perte de masse [g/m²]

Numéro du site

Figure III

Dégradation par corrosion du bronze hors abri après un an d'exposition en 1987-88 et en 1997-98. Pour savoir à quels sites correspondent les numéros, voir tableau 1 et figure I.

III. CARACTÉRISTIQUES DES NOUVEAUX SITES

9. La liste des sites d'essai figure au tableau 1. Parmi les nouveaux sites, certains sont urbains (Paris, Berlin, Tel Aviv, Londres, Los Angeles et Anvers) et d'autres ruraux (Svanvik et Chaumont).

A. Paris

10. Du point de vue à la fois du climat et de la pollution, Paris est comparable à Milan. Le climat est relativement doux et sec, avec des concentrations de NO₂ très élevées. Dans le programme initial, Milan était considéré comme un site extrême en raison de la forte

concentration de NO₂, mais l'inclusion de Paris permet de combler l'écart entre les concentrations de NO₂ relevées à Milan et celles relevées dans les autres sites. Par rapport à Milan, Paris a un niveau de précipitations plus faible, avec une acidité moindre; la part estimative des dépôts secs y est donc plus importante. Le degré de corrosion est normal, sauf dans le cas du cuivre, pour lequel on observe des valeurs inférieures sans doute en raison des faibles concentrations de O₃. Le cuivre est le seul matériau métallique pour lequel une corrélation claire a été établie sur le terrain entre la corrosion et la concentration de O₃. L'inclusion dans le programme du site de Paris était également importante pour l'évaluation globale, puisque celui-ci fait partie des cinq à dix sites où les concentrations de SO₂ sont supérieures à 10 µg/m³.

B. Berlin

11. Du point de vue à la fois du climat et de la pollution, Berlin est très comparable à Prague, avec des concentrations de SO₂ inférieures, mais des concentrations de NO₂ supérieures. Les degrés de corrosion sont également comparables, sauf dans le cas du calcaire hors abri, pour lequel la valeur enregistrée à Berlin est nettement plus faible.

C. Tel Aviv

12. Le degré de corrosion, très élevé, est comparable à celui de Bottrop, sauf dans le cas du cuivre sous abri, pour lequel il est très faible. Les données environnementales sont extrêmes : Tel Aviv est le site le plus chaud du réseau, avec une température moyenne annuelle de 25 °C; cette ville présente aussi la plus forte concentration moyenne annuelle de SO₂, à savoir 35 µg/m³, contre 25 µg/m³ à Bottrop.

D. Svanvik

13. Le climat est très froid, avec une moyenne annuelle des températures d'environ -2 °C, ce qui est exceptionnel dans le réseau de sites d'essais retenus aux fins du programme. Pour le reste, Svanvik est comparable au site EMEP d'Aspvreten, avec toutefois des teneurs supérieures en SO₂. Le degré de corrosion est à peu près égal ou supérieur à celui observé à Aspvreten, sauf dans le cas du calcaire, pour lequel il est plus faible.

E. Chaumont

14. Chaumont est assez semblable à Ähtäri, site de mesure de la pollution de fond en Finlande. Le climat est plus doux, avec une moyenne annuelle des températures d'environ 7 °C. Par rapport à Ähtäri, le site présente des teneurs en NO₂ et en O₃ plus importantes, ce qui est exceptionnel et s'explique probablement par sa situation montagneuse. Le degré de corrosion est légèrement plus élevé, sauf dans le cas du calcaire, pour lequel il est bien supérieur à celui observé sur les échantillons exposés à Ähtäri.

F. Londres

15. Les données climatiques ne sont pas disponibles à ce jour, mais du point de vue de la pollution, Londres est comparable à Rome. Les valeurs concernant la corrosion sont

généralement plus élevées que celles relevées à Rome, sans doute en raison d'un climat plus humide.

G. Los Angeles

16. Le site de Los Angeles est vraiment très particulier; il ne ressemble à aucun autre site du programme. En ce qui concerne la pollution, la situation est comparable à celle de Stockholm, avec toutefois une concentration de SO₂ encore plus faible (moins de 1 µg/m³). Le climat, par contre, se rapproche de celui de Madrid, chaud et sec. À ce jour, on dispose de peu de données sur la corrosion mais les valeurs relevées sont toutes supérieures à la fois à celles de Stockholm et à celles de Madrid.

H. Anvers

17. Anvers est relativement semblable à Milan et Paris, avec toutefois des concentrations de NO₂ moins extrêmes, soit environ 50 µg/m³ contre 70 µg/m³ à Paris et 90 µg/m³ à Milan. Les chiffres relatifs à la corrosion sont comparables à ceux de Milan.

IV. TENDANCES

18. L'analyse des tendances consiste à soumettre des échantillons de matériaux à des expositions répétées d'une durée d'un an sur des sites d'essais, la période d'exposition commençant et finissant à l'automne. Le but de l'expérience est de confirmer les informations déjà recueillies et de fournir de nouvelles données au sujet des effets sur l'environnement des réductions des émissions de polluants atmosphériques acidifiants opérées en application de la Convention. Les essais permettent par ailleurs de repérer d'autres modifications exceptionnelles de l'environnement qui provoquent une dégradation des matériaux.

19. Les résultats de l'analyse des tendances pour l'acier au carbone non allié et le zinc ont été publiés récemment dans le rapport du Groupe de travail des effets sur l'impact de la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance et les tendances observées à cet égard¹. Les nouveaux résultats obtenus à ce jour dans le cadre du programme d'exposition multipolluants n'ont pas encore apporté suffisamment d'éléments d'information supplémentaires pour justifier dès à présent une nouvelle analyse des données relatives à l'acier et au zinc. L'accent est donc mis sur de nouveaux matériaux qui n'ont jamais fait l'objet d'une analyse des tendances, à savoir le cuivre, le bronze, le calcaire et l'acier revêtu. Les principaux résultats obtenus pour l'acier et le zinc dans le cadre du programme initial sont cependant présentés pour comparaison.

20. La figure IV présente quelques résultats de la précédente analyse des tendances, qui a confirmé l'évolution très marquée des valeurs observées pour les paramètres environnementaux SO₂, NO₂ et H⁺ et des taux de corrosion de l'acier et du zinc exposés, en situation abritée ou non abritée. Aucune tendance ne s'est dégagée quant à la concentration de O₃.

¹ Trends in Impacts of Long-range Transboundary Air Pollution. Rapport technique établi par le Bureau et les Programmes internationaux concertés du Groupe de travail des effets. ISBN 1 870393 52 X, 1999.

L'analyse montre également que la concentration de SO₂ est le paramètre le plus important pour la diminution de la corrosion atmosphérique. Pour les matériaux hors abri, l'atténuation

du phénomène de corrosion est également liée en partie à une moindre teneur en H⁺ des précipitations. Toutefois, la contribution de ce facteur est en moyenne, mais pas partout, bien inférieure à celle des dépôts secs.

21. La méthode employée pour l'acier au carbone et le zinc a été utilisée à nouveau pour le calcul du degré moyen de corrosion du cuivre, du bronze, du calcaire et de l'acier revêtu. Le tableau 3 donne les évolutions calculées à partir des données des sites qui figuraient déjà dans le programme initial. Comme dans les analyses précédentes, des tendances très claires sont observées pour les concentrations de SO₂, NO₂ et H⁺ dans les précipitations, mais non pour O₃. En ce qui concerne la dégradation par corrosion de tous les matériaux, les évolutions sont aussi très claires, encore qu'elles ne soient pas aussi marquées partout. (Il convient cependant de noter que sur un petit nombre de sites, les valeurs de certains paramètres environnementaux et le taux de corrosion de certains matériaux étaient en fait en augmentation.)

Évolutions relatives

Année

Figure IV

Évolutions relatives des teneurs en SO₂, en NO₂, de l'acidité (H⁺), et de la corrosion de l'acier au carbone non allié et du zinc, hors abri. Toutes les valeurs sont exprimées par rapport à la valeur initiale (1987-88). Pour les données environnementales, c'est l'évolution moyenne au cours de la période de huit ans qui est représentée et non les différentes moyennes annuelles.

Tableau 3

Évolutions d'après les valeurs moyennes de 1987-88 et de 1997-98 pour le SO₂, le NO₂, l'acidité, la corrosion du cuivre et du bronze hors abri et sous abri, et la corrosion du calcaire et de l'acier revêtu hors abri. La comparaison est fondée sur les chiffres des sites communs au programme initial et au programme d'exposition multipolluants.

Paramètre	Unité	1987-88	1997-98	Sites présentant des valeurs en hausse
SO ₂	µg/m ³	16	5,3	1 sur 18
NO ₂	µg/m ³	29	22	2 sur 16
H ⁺	mg/m ³	0,043	0,015	0 sur 10
Cuivre hors abri	g/m ²	9,9	6,8	3 sur 19
Cuivre sous abri	g/m ²	6,3	4,0	3 sur 19
Bronze hors abri	g/m ²	6,9	3,5	0 sur 19
Bronze sous abri	g/m ²	2,3	1,5	2 sur 19
Calcaire	µm	12	6,4	2 sur 19
Acier revêtu	mm	2,1	1,0	2 sur 19

22. La figure V montre la diminution relative sur le même principe que la figure IV et à partir des données indiquées au tableau 3. Il faut noter que les valeurs obtenues ne sont pas nécessairement comparables à celles issues de la précédente analyse des tendances en raison d'une sélection différente des sites d'essai. Toutefois, les évolutions des teneurs en SO₂, NO₂ et H⁺ semblent cadrer assez bien avec celles de la figure IV, ce qui rend la comparaison possible. La réduction moyenne est, pour la plupart des matériaux, comprise entre 30 % et 50 % sur la période de 10 ans, la valeur la plus faible correspondant au bronze hors abri (voir fig. III).

Évolutions relatives

Figure V

Évolutions relatives au cours de la période allant de 1987-88 à 1997-98 des teneurs en CO₂, et NO₂, de l'acidité (H⁺), de la corrosion du cuivre et du bronze hors abri et sous abri, et de la corrosion du calcaire et de l'acier revêtu hors abri.

V. CONCLUSIONS

23. Une base de données environnementales et de données sur la corrosion a été constituée à partir des résultats obtenus après un an d'exposition dans le cadre du programme d'exposition multipolluants et on s'est servi de cette base pour faire une comparaison avec les données obtenues après un an d'exposition au titre du programme initial.
24. Par rapport au programme d'exposition initial, 18 sites faisant double emploi ont été exclus, 21 sites initiaux ont été conservés et huit sites nouveaux ont été ajoutés. Les données relatives au climat, à la pollution et à la corrosion relevées sur les nouveaux sites montrent clairement que ceux-ci apportent vraiment un plus en permettant d'étudier des situations nouvelles en matière de pollution et des combinaisons climat-pollution inédites.
25. La tendance à la diminution des paramètres de la pollution (SO_2 , NO_2 et H^+) et de la corrosion de l'acier au carbone non allié et du zinc, exposés en situation abritée et non abritée, avait été établie précédemment grâce aux données issues du programme d'exposition initial. Les résultats récents confirment cette tendance à la baisse des valeurs de SO_2 , NO_2 et H^+ , ainsi que la diminution du taux de corrosion pour de nouveaux matériaux : cuivre et bronze coulé sous abri et hors abri, et calcaire et acier revêtu hors abri. Les réductions ont été en moyenne d'environ 30 à 50 % au cours de la période 1987 à 1997, suivant le matériau et les conditions d'exposition. Aucune évolution n'a été observée pour la concentration de O_3 .

SO₂

NO₂

H⁺

Cuivre hors abri

Cuivre sous abri

Bronze hors abri

Bronze sous abri

Calcaire

Acier revêtu