



**Conseil économique
et social**

Distr.
GÉNÉRALE

EB.AIR/WG.1/2002/9
17 juin 2002

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
(vingt et unième session, Genève, 28-30 août 2002)
Point 4 c) de l'ordre du jour provisoire

RÉSULTATS OBTENUS APRÈS QUATRE ANS D'EXPOSITION
DANS LE CADRE DU PROGRAMME MULTIPOLLUANT
ET NOUVELLES ACTIVITÉS ENVISAGÉES

Note établie par le 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 (PIC Matériaux)

Introduction

1. La présente note présente les résultats intermédiaires de l'analyse des échantillons retirés après quatre ans d'exposition dans le cadre du programme multipolluant (1997-2001). Les activités envisagées au titre de ce programme sont également décrites, l'accent étant mis en particulier sur les effets de synergie escomptés entre le PIC Matériaux et le projet MULTI-ASSESS mis en route en janvier 2002 au titre du cinquième programme-cadre de l'Union européenne.

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.

I. PROGRAMME D'EXPOSITION À PLUSIEURS POLLUANTS

2. Dans le cadre du programme d'exposition à plusieurs polluants (1997-2001), les échantillons ont été retirés après une année, deux années et quatre années d'exposition. Les sites d'essai étaient au nombre de 30, des mesures régulières étant effectuées dans 16 pays européens ainsi qu'au Canada, aux États-Unis et en Israël. Le dernier site retenu, celui de Katowice (Pologne) (site n° 50), a été utilisé pour la dernière analyse des tendances (2000-2001) (tableau 1).

3. Les effets de la corrosion sur les matériaux sont évalués au moyen de procédures normalisées ou bien établies. Ces évaluations se déroulent dans des centres secondaires spécialisés, chaque centre étant responsable d'un matériau ou d'un groupe de matériaux, pour lequel il doit effectuer toutes les analyses de corrosion, quel qu'ait été le lieu d'exposition [1-5]. Les matériaux en verre sont également inscrits au programme multipolluant mais, dans leur cas, le retrait des échantillons n'intervient qu'après trois et quatre ans d'exposition. Les centres de recherche secondaires suivants ont participé au programme:

a) L'Institut de recherche et d'essai pour la protection contre la corrosion (SVÚOM), Prague; ce centre, chargé d'étudier plusieurs métaux utilisés dans la construction (acier au carbone, acier patinable, zinc) (1987-1995) est également responsable de l'aluminium et des métaux suivants pour l'analyse des tendances (acier au carbone non allié et zinc) (depuis 1987);

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

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

d) L'Institut norvégien de recherche sur l'atmosphère (NILU), Kjeller (Norvège); ce centre est responsable des matériaux revêtus 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 à l'alkyde-acrylate;

e) L'Institut de chimie de l'Académie des beaux-arts de Vienne (Autriche); ce centre est responsable des matériaux en verre utilisés pour la fabrication des vitraux médiévaux (y compris des matériaux en verre de potasse-chaux-silice M1 (sensible) et M3);

f) Le Laboratoire fédéral d'essai et de recherche sur les matériaux (EMPA), corrosion/protection des surfaces, Dübendorf (Suisse); ce centre est responsable du zinc utilisé dans la construction (depuis 1997).

4. Les résultats obtenus pour le zinc, le bronze, le calcaire et l'acier revêtu sont présentés plus loin. Les résultats des travaux du PIC Matériaux permettent non seulement de déterminer quel est, au total, le degré de corrosion mais aussi d'évaluer les rejets de métaux (ruissellement) comme le montre la figure I pour le zinc hors abri. Du fait de la détérioration des toits, façades et autres structures exposés aux intempéries, détérioration qui est accélérée par les polluants acidifiants, une grande partie de ces métaux se répand dans la biosphère. Les fortes concentrations de métaux lourds dans les boues utilisées comme engrais, dans les sédiments ou dans l'eau potable peuvent à long terme avoir des effets néfastes sur les systèmes biologiques et la santé.

5. Vu que les concentrations de dioxyde de soufre ont sensiblement diminué dans de nombreux pays européens, alors que celles de polluants azotés et d'ozone restent élevées, les effets relatifs des NO_x , de l'ozone et des particules prennent davantage d'importance. La figure II met en évidence la tendance qui se dégage pour le bronze hors abri. Mais les différences entre zones urbaines et zones rurales sont encore marquées, comme il ressort de la comparaison des valeurs enregistrées au sud de Stockholm et à Aspvreten, site rural situé à 80 km environ au sud de Stockholm. La valeur obtenue en zone urbaine représente plus du double de celle obtenue en zone rurale.

Tableau 1. Liste des sites d'essai du PIC Matériaux (numéro, nom, catégorie et période d'utilisation)

N°	Nom	Pays	Catégorie de site	Période d'utilisation
1	Prague-Letnany	République tchèque	Urbain	1987-
2	Kasperske Hory	République tchèque	Rural	1987-1997
3	Kopisty	République tchèque	Industriel	1987-
4	Espoo	Finlande	Urbain	1987-1997
5	Ähtäri	Finlande	Rural	1987-
6	Helsinki-Vallila	Finlande	Industriel	1987-1997
7	Waldhof-Langenbrügge	Allemagne	Rural	1987-
8	Aschaffenburg	Allemagne	Urbain	1987-1997
9	Langenfeld-Reusrath	Allemagne	Rural	1987-
10	Bottrop	Allemagne	Industriel	1987-
11	Essen-Leithe	Allemagne	Rural	1987-1997
12	Garmisch-Partenkirchen	Allemagne	Rural	1987-1997
13	Rome	Italie	Urbain	1987-
14	Casaccia	Italie	Rural	1987-
15	Milan	Italie	Urbain	1987-
16	Venise	Italie	Urbain	1987-
17	Vlaardingen	Pays-Bas	Industriel	1987-1997
18	Eibergen	Pays-Bas	Rural	1987-1997
19	Vredepeel	Pays-Bas	Rural	1987-1997
20	Wijnandsrade	Pays-Bas	Rural	1987-1997
21	Oslo	Norvège	Urbain	1987-
22	Borregard	Norvège	Industriel	1987-1997
23	Birkenes	Norvège	Rural	1987-
24	Stockholm sud	Suède	Urbain	1987-
25	Stockholm centre	Suède	Urbain	1987-1997
26	Aspvreten	Suède	Rural	1987-
27	Cathédrale de Lincoln	Royaume-Uni	Urbain	1987-
28	Cathédrale de Wells	Royaume-Uni	Urbain	1987-1997
29	Clatteringshaws Loch	Royaume-Uni	Rural	1987-1997
30	Stoke Orchard	Royaume-Uni	Industrie rurale	1987-1997
31	Madrid	Espagne	Urbain	1987-
32	Bilbao	Espagne	Industriel	1987-1997
33	Tolède	Espagne	Rural	1987-
34	Moscou	Fédération de Russie	Urbain	1987-
35	Lahemaa	Estonie	Rural	1987-
36	Lisbone	Portugal	Urbain	1987-
37	Dorset	Canada	Rural	1987-
38	Research Triangle Park	États-Unis	Rural	1987-1997
39	Steubenville	États-Unis	Industriel	1987-1997
40	Paris	France	Urbain	1997-
41	Berlin	Allemagne	Urbain	1997-
43	Tel Aviv	Israël	Urbain	1997-
44	Svanvik	Norvège	Rural	1997-
45	Chaumont	Suisse	Rural	1997-
46	Londres	Royaume-Uni	Urbain	1997-
47	Los Angeles	États-Unis	Urbain	1997-
49	Anvers	Belgique	Urbain	1997-
50	Katowice	Pologne	Industriel	2000-

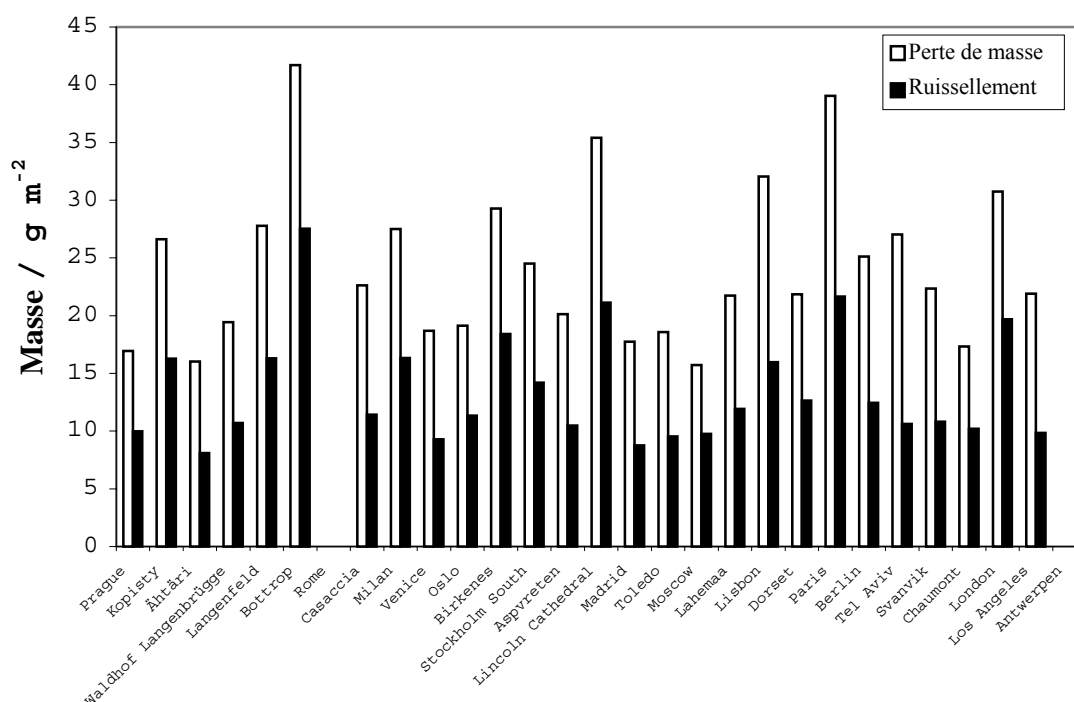


Figure I. Ruisellement et degré de corrosion (perte de masse) pour le zinc hors abri après quatre années d'exposition dans le cadre du programme multipolluant

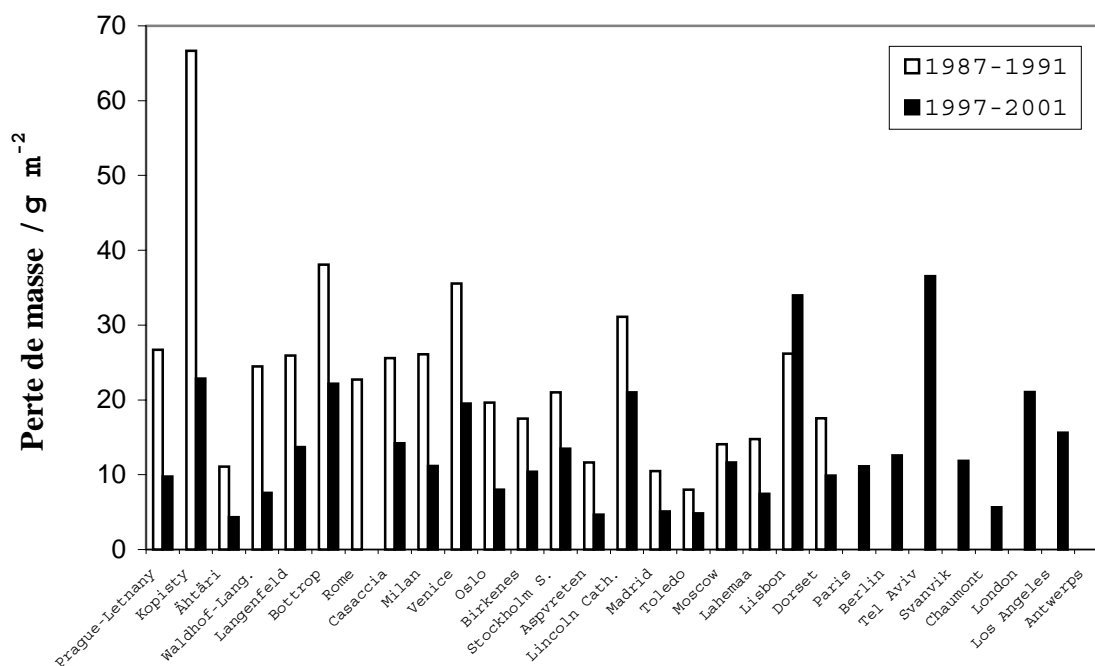


Figure II. Degré de corrosion pour le bronze hors abri après quatre années d'exposition dans le cadre du programme multipolluant

6. Les valeurs concernant le degré de corrosion du calcaire de Portland après une année, deux années et quatre années d'exposition sont présentées à la figure III et les valeurs correspondantes obtenues pour les échantillons de matériaux revêtus dans le tableau 2. Les informations cinétiques seront utilisées pour construire les fonctions dose-réponse. L'intégration du temps dans ces fonctions permet d'estimer la durée de vie des ouvrages techniques et des éléments du patrimoine culturel.

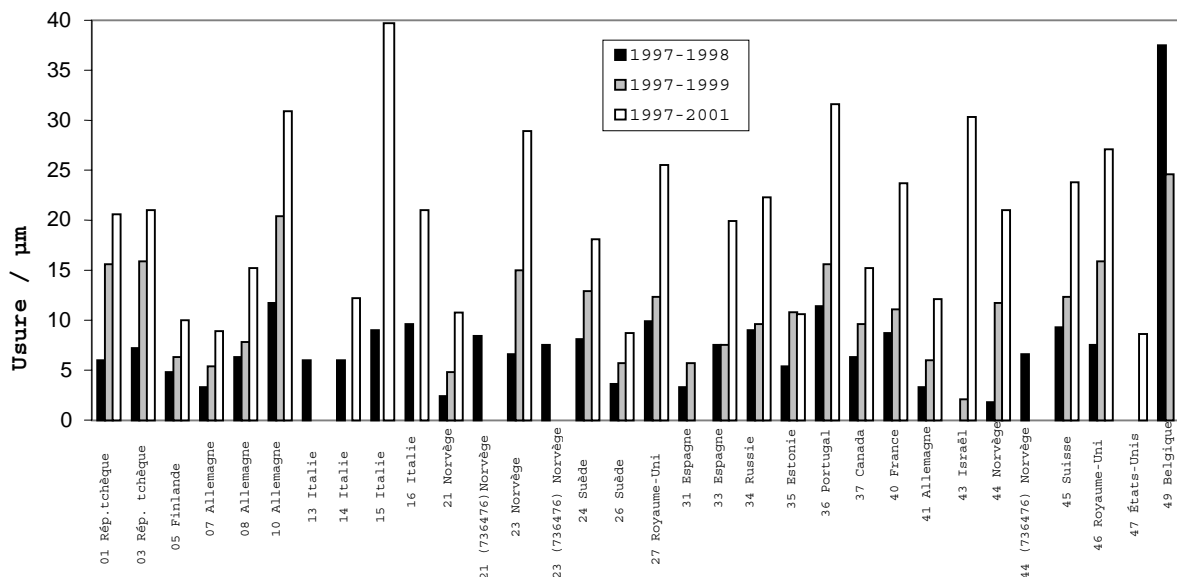


Figure III. Degré de corrosion du calcaire hors abri après une année, deux années et quatre années d'exposition dans le cadre du programme multipolluant

Tableau 2. Degré de corrosion (dégradation sur entaille, en mm) de panneaux d'acier revêtus de peinture à l'alkyde hors abri après une année, deux années et quatre années d'exposition dans le cadre du programme multipolluant

N° du site	Pays	Lieu	Une année (97/98)	Deux années (97/99)	Quatre années (97/01)
1	République tchèque	Prague-Letnany	3	4	6
3	République tchèque	Kopisty	4	6	7
5	Finlande	Ähtäri	3	4	4
7	Allemagne	Waldhof-Langenbrügge	3	4	5,5
9	Allemagne	Langenfeld-Reusrath	3	4	5
10	Allemagne	Bottrop	3	5	7
13	Italie	Rome	2,5	2,5	*
14	Italie	Casaccia	3	3	3,5
15	Italie	Milan	3	3	4
16	Italie	Venise	2	3	3
21	Norvège	Oslo	2	2,5	3
23	Norvège	Birkenes	4	6	8
24	Suède	Stockholm sud	3	3	3
26	Suède	Aspvreten	4	4,5	5,5
27	Royaume-Uni	Cathédrale de Lincoln	5	6	5
31	Espagne	Madrid	1,5	2	2,5
33	Espagne	Tolède	1,5	2	3
34	Fédération de Russie	Moscou	3,5	3,5	3
35	Estonie	Lahemaa	3	5	6
36	Portugal	Lisbone	5	4	5
37	Canada	Dorset	3,5	3,5	6
40	France	Paris	1,5	3	2
41	Allemagne	Berlin	4	3	4
43	Israël	Tel Aviv	2,5	3	3
44	Norvège	Svanvik	3	3,5	7
45	Suisse	Chaumont	2	2,5	5
46	Royaume-Uni	Londres	5	4	5
47	États-Unis	Los Angeles	2,5	2,5	2,5
49	Belgique	Anvers	2,5	3	*

* = échantillons manquants.

II. NOUVELLES ACTIVITÉS ENVISAGÉES

7. Les polluants atmosphériques endommagent gravement les matériaux des bâtiments et des monuments. La mesure la plus efficace pour préserver les éléments du patrimoine culturel consiste à réduire les émissions de polluants nocifs. Afin de prévenir ou de réduire les effets sur la santé et l'environnement dans son ensemble, le Conseil de l'Union européenne a récemment édicté une directive (Directive 1999/30/CE) qui fixe des valeurs limites pour les concentrations de dioxyde de soufre, d'oxydes d'azote, de particules et de plomb dans l'air ambiant. La directive ne prévoit pas de valeurs limites pour les effets sur les matériaux; or, les valeurs limites pour les concentrations de SO₂ destinées à protéger la santé et les écosystèmes risquent de ne pas être suffisantes pour préserver le patrimoine culturel de tout dommage. L'absence de valeurs limites pour les matériaux constitue un sérieux handicap pour assurer une protection et une gestion durables du patrimoine culturel de l'Europe.

8. Avec la diminution des concentrations de SO₂ dans la plus grande partie de l'Europe et l'augmentation de la circulation automobile à l'origine de concentrations élevées de composés azotés, d'ozone et de particules, on se trouve désormais dans une situation nouvelle marquée par une pollution multiforme. La prise en compte de cette évolution dans le cadre des activités menées au titre de la Convention de la CEE sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance a conduit à l'adoption du Protocole de Göteborg, qui repose sur une approche «multipolluant, multieffet». Contrairement à ceux du SO₂, les effets de l'ozone et des composés azotés, en particulier les effets de la circulation automobile, considérés globalement ne sont pas encore bien connus. Cela vaut tout particulièrement pour l'acide nitrique (HNO₃) ainsi que pour les particules, qui peuvent endommager les matériaux à la fois en accélérant la dégradation et en provoquant leur encrassement.

9. Afin d'étendre le programme de mesure et d'évaluation de ces importants polluants, ce qui passait par la mobilisation de ressources financières supplémentaires, un projet visant à modéliser l'impact d'une pollution multiforme et à déterminer des niveaux limites pour le patrimoine culturel (projet MULTI-ASSESS) a été soumis à l'Union européenne au titre du cinquième programme-cadre (action-clef «La ville de demain et le patrimoine culturel»). Ce projet, qui a fait l'objet d'une évaluation favorable, a démarré le 1^{er} janvier 2002. Ses principaux objectifs sont les suivants:

a) Construire des modèles multipolluants simulant les processus de détérioration et d'encrassement provoqués par les dépôts secs et humides de gaz et de particules sur les matériaux des éléments du patrimoine culturel et obtenir des fonctions dose-réponse quantifiant les effets;

b) Utiliser les fonctions dose-réponse obtenues pour déterminer les limites de pollution à retenir dans les futures directives de l'Union européenne relatives à la qualité de l'air en milieu urbain afin de réduire au minimum les effets de la pollution sur les éléments du patrimoine culturel, et pour cartographier les parties du territoire européen où les limites sont dépassées; et

c) Adapter et valider des échantillonneurs passifs pour mesurer les concentrations d'acide nitrique et de particules et concevoir un kit propre à permettre d'évaluer rapidement le risque de détérioration des éléments du patrimoine culturel.

10. On s'attachera dans le cadre du projet MULTI-ASSESS à construire des modèles simulant les processus de détérioration et d'encrassement dont on tirera des fonctions dose-réponse pour les matériaux des éléments du patrimoine culturel en prenant en compte les effets de HNO₃ et des particules ainsi que d'autres polluants (SO₂, NO₂, O₃), du climat (température, humidité relative et rayonnement solaire) et des caractéristiques des précipitations (pH, hauteur et analyse des ions). Des échantillonneurs passifs pour HNO₃ et les particules seront mis au point et validés. Ils feront partie d'un kit composé (d'échantillons de matériaux divers) et d'échantillonneurs passifs, destiné à permettre d'évaluer rapidement et à peu de frais le risque de détérioration des éléments du patrimoine culturel. Ce projet ambitieux et novateur pourra être mené à bien car il complète et prolonge les travaux du PIC Matériaux. Pour exécuter le programme général d'exposition sur le terrain, on utilisera les 30 sites d'essai du réseau PIC Matériaux dans 15 pays européens ainsi qu'au Canada, en Israël et aux États-Unis. En outre des programmes d'exposition ciblés sur le terrain seront entrepris à Athènes, Londres, Prague et Rome où les paramètres environnementaux et les phénomènes de corrosion et d'encrassement feront l'objet

d'analyses approfondies. Les programmes d'exposition sur le terrain seront complétés par des programmes d'exposition ciblés en laboratoire dans des chambres spécialement conçues pour les essais climatiques.

11. On se fondera sur les fonctions dose-réponse pour déterminer les limites de pollution à retenir dans les futures directives de l'Union européenne relatives à la qualité de l'air en milieu urbain afin de réduire au minimum les effets de la pollution sur les éléments du patrimoine historique et culturel, et pour cartographier les parties du territoire européen où il existe un risque accru de dommages. Le kit mis au point pour l'évaluation des risques sera fort utile aux responsables de la gestion du patrimoine. Les monuments inscrits sur la liste du patrimoine mondial de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture par exemple exigent des mesures de surveillance particulières. La figure IV donne une idée des effets de synergie escomptés entre le PIC Matériaux et le projet MULTI-ASSESS.

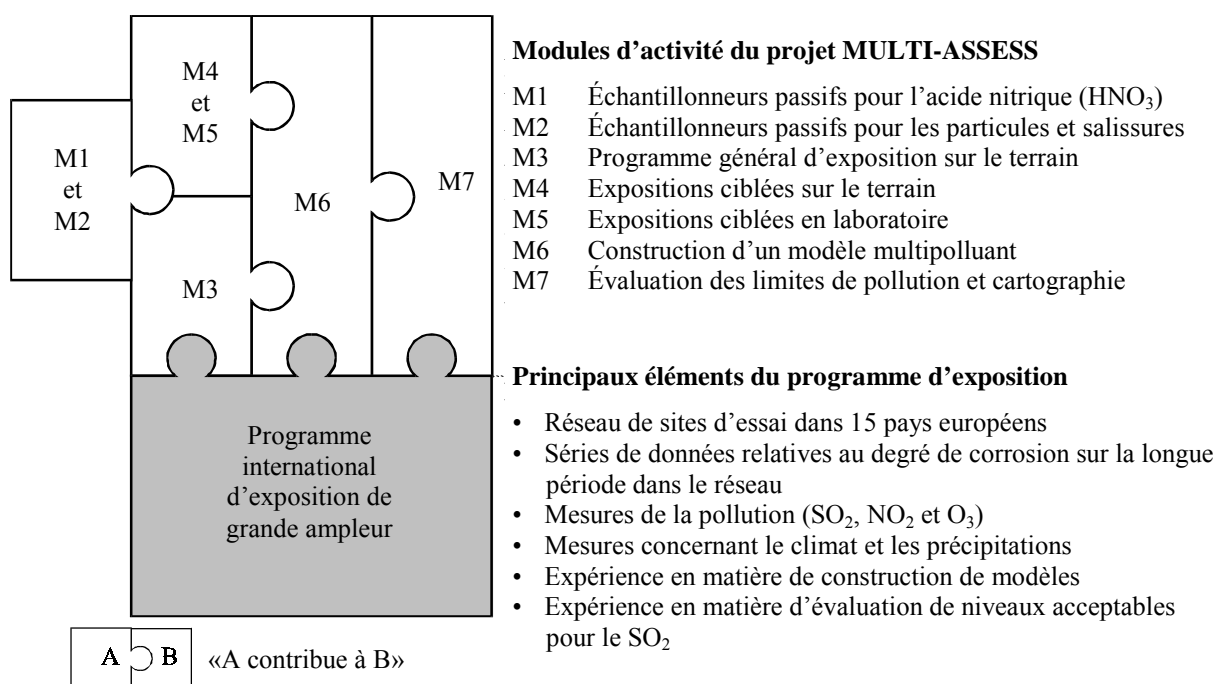


Figure IV. Vue schématique des relations et synergies entre le PIC Matériaux (programme international d'exposition de grande ampleur) et MULTI-ASSESS

12. Au début de 2002, il a été proposé à l'Union européenne au titre du cinquième programme-cadre (action-clef «La ville de demain et le patrimoine culturel») de faire participer au projet des États nouvellement associés. Cette proposition a été bien accueillie et les négociations avec la Commission européenne vont débuter prochainement. La participation de partenaires polonais et lettons permettra tout particulièrement de renforcer le module WP4 en intégrant dans le programme d'exposition plusieurs types de matériaux en pierre et le béton, qui s'ajouteront au calcaire de Portland, utilisé dans le cadre du PIC Matériaux pour analyser les tendances, et en retenant un nouveau site pour les expositions ciblées, celui de Cracovie (Pologne), qui se caractérise par des concentrations de SO_2 relativement élevées.

13. Si l'on inclut la Pologne et la Lettonie, les participants au projet MULTI-ASSESS sont au nombre de 15, répartis dans 13 pays. Outre le centre de recherche principal, les six centres de recherche secondaires du PIC Matériaux sont associés au projet. On trouvera au tableau 3 la liste des participants.

Tableau 3. Liste des participants au projet (numéro, rôle, nom et/ou acronyme de l'organisation et pays/ville)

N°	Rôle [#]	Nom de l'organisation	Pays/ville
1	CO ^{##}	Institut suédois de recherche sur la corrosion AB	Suède/Stockholm
2	AC ^{##}	Académie des Beaux-Arts	Autriche/Vienne
3	MP ^{##}	Département des monuments historiques du Land de Bavière	Allemagne/Munich
4	MP ^{##}	Laboratoire fédéral d'essai et de recherche sur les matériaux	Suisse/Dübendorf
5	MA	Institut suédois de recherche sur l'environnement	Suède/Göteborg
6	MP	Institut de recherche sur la pollution atmosphérique du CNR	Italie/Rome
7	MP	Université d'Athènes	Grèce/Athènes
8	MA	Middlesex University	Royaume-Uni/Londres
9	MA ^{##}	SVUOM Ltd.	République tchèque/Prague
10	MA ^{##}	Building Research Establishment Ltd.	Royaume-Uni/Watford
11	MP ^{##}	Institut norvégien de recherche sur l'atmosphère	Norvège/Kjeller
12	MA	Institut de mécanique de précision	Pologne/Varsovie
13	MA	Université technique de Riga	Lettonie/Riga
14	ST	LISA – Université Paris XII	France/Paris
15	ST	CEIE – Centre estonien d'information sur l'environnement	Estonie/Tallinn

Notes:

[#] CO: coordinateur; MP: maître d'œuvre principal; MA: maître d'œuvre assistant; ST: sous-traitant.

^{##} Centre de recherche principal/centre de recherche secondaire du PIC Matériaux.

III. CONCLUSIONS

14. Les résultats obtenus dans le cadre du programme multipolluant après une année, deux années et quatre années d'exposition ont encore un caractère préliminaire dans l'attente de l'évaluation statistique des données concernant l'exposition sur quatre ans et des résultats des travaux entrepris en synergie avec le projet MULTI-ASSESS (cinquième programme-cadre). Il est néanmoins possible de formuler les conclusions suivantes:

- a) La diminution tendancielle de la corrosion déjà observée après une année et deux années d'exposition est confirmée par le programme d'exposition sur quatre ans;
- b) Même si la corrosion a tendance à diminuer, il y a encore des différences importantes entre les sites pollués et les sites non pollués des zones urbaines et des zones rurales;
- c) Les résultats obtenus permettent également d'évaluer les rejets de métaux dans l'environnement dus à la pollution;
- d) L'intégration du temps dans les fonctions dose-réponse permet d'estimer la durée de vie des ouvrages techniques et des éléments du patrimoine culturel.

IV. RÉFÉRENCES

Report N° 35. Results from the multi-pollutant programme: Corrosion attack on carbon steel after 1 and 2 years of exposure (1997-1999).

Report N° 36. Results from the multi-pollutant programme: Corrosion attack on zinc after 1 and 2 years of exposure (1997-1999).

Report N° 37. Results from the multi-pollutant programme: Corrosion attack on copper and bronze after 1 and 2 years of exposure (1997-1999).

Report N° 38. Results from the multi-pollutant programme: Corrosion attack on limestone after 1 and 2 years of exposure (1997-1999).

Report N° 39. Results from the multi-pollutant programme: Corrosion attack on painted steel after 1 and 2 years of exposure (1997-1999).

Note: Les références sont reproduites telles qu'elles ont été reçues par le secrétariat.
