



## Réponses des végétaux d'une région aride à une pollution atmosphérique double : (SO<sub>2</sub> + composés fluorés)

### *Plant responses of Sfax region to SO<sub>2</sub> and fluoride compounds*

Ben Abdallah FERJANI\*, Henchi BELGACEM (\*) et Boukhris MAKKI (\*\*)

#### RÉSUMÉ

Les réponses simultanées des végétaux de la région de Sfax au SO<sub>2</sub> et aux composés fluorés dégagés par la SIAPE (Société Industrielle d'Acide Phosphorique et d'Engrais) se traduisent par l'apparition de nécroses caractéristiques sur les feuilles.

La sensibilité des plantes au mélange de ces deux polluants varie suivant l'espèce végétale et ne dépend pas nécessairement de leur consommation dans l'atmosphère. Plusieurs paramètres ont été utilisés pour classer les espèces rencontrées selon leur sensibilité.

#### ABSTRACT

*The simultaneous plant responses of Sfax region to SO<sub>2</sub> and fluoride compounds given off by the SIAPE consist of an exhibition of characteristic necrosis on leaves.*

*The plants sensitivity to the mixture of these two pollutants varies according to plant species and doesn't necessary depend on their atmosphere concentration. Many parameters have been used to classify the present species according to their sensitivity.*

#### Introduction

La banlieue sud de Sfax, connue par son développement industriel est cernée par une pollution atmosphérique envahissante dont la Société Industrielle d'Acide phosphorique et d'Engrais (la SIAPE) constitue la principale source.

Cette usine a pour objectif principal, la transformation du phosphate brut du sud Tunisien (minerai riche en fluoroapatite [Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>F] en triple superphosphate produit sous forme de granulé soluble et assimilable par les plantes.

Lors de l'attaque du phosphate par les acides sulfurique et phosphorique, des composés fluorés du type HF, H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>, CaF<sub>2</sub> sont émis sous forme de gaz et de particules. A ces composés fluorés, s'ajoutent le SO<sub>2</sub> et les poussières. La société ECOPOL (1978) et récemment la compagnie Japonaise JICA (1993) ont mis en évidence, une émission soufrée et fluorée, dans les fumées dégagées par la SIAPE.

Des observations régulières sur le terrain, dans la zone polluée, nous ont permis d'observer l'appa-

rition de trois sortes de nécroses foliaires : apicales, marginales et centrales et de constater que, la sensibilité des plantes aux polluants est extrêmement variable d'une espèce à l'autre.

La présente étude a pour objectif d'identifier les nécroses spécifiques de chacun de ces deux polluants mélangés et de classer les espèces rencontrées en fonction de leur résistance.

#### Matériel et méthodes

##### 1. Matériel végétal

Les espèces étudiées sont localisées aux environs immédiats de l'usine. Il s'agit de 3 espèces spontanées et de 11 espèces cultivées. Les prélèvements sont effectués lors de la reprise annuelle de la végétation, sur le côté exposé aux fumées de la source d'émission.

Des feuilles témoins sont récoltées sur les mêmes espèces croissant dans une région loin de toute pollution. Dans le cas des espèces présentant des feuilles larges et entières, une centaine de feuilles ayant à la fois des nécroses centrales et périphériques sont prélevées. Elles sont découpées selon le modèle de la figure 1 page suivante.

(\*) I.N.R.S.T BP 95 2050-Hammam-Lif.

(\*\*) Faculté des Sciences de Sfax, Route La Soukra, 3038-Sfax.

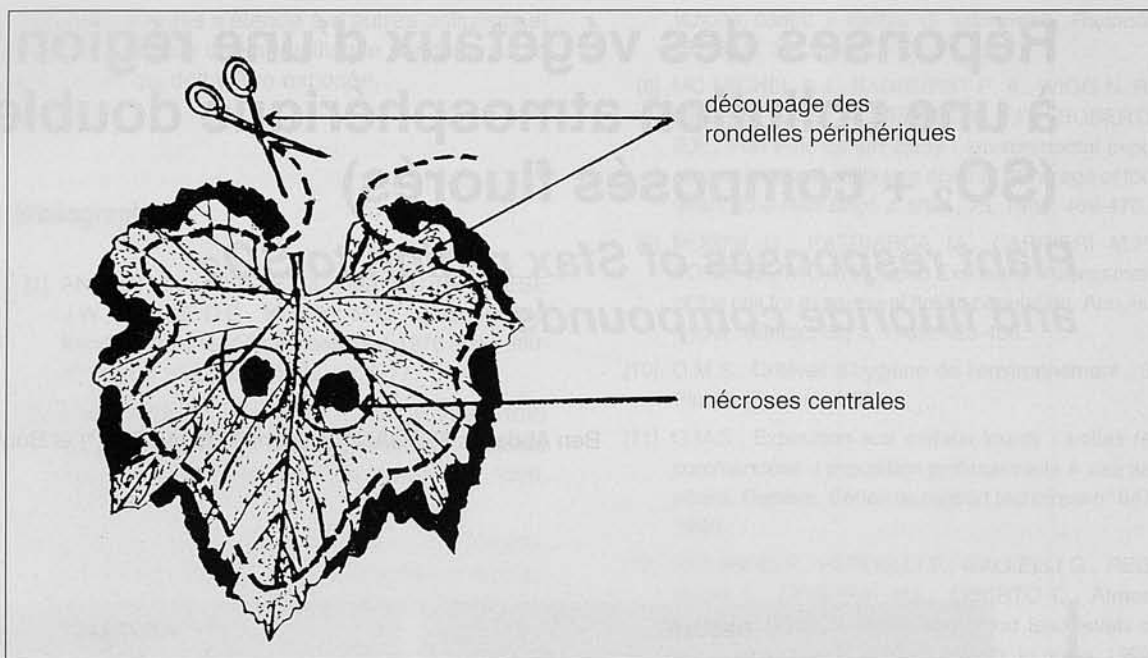


Figure 1.  
Modèle de découpage des zones nécrosées.  
Model of the cutting of the necrotic areas.

Tous les échantillons sont stockés dans des sachets en polyéthylène.

## 2. Méthodes d'analyse

Les analyses ont concerné deux éléments, le fluor et le soufre. La minéralisation des poudres végétales est effectuée par calcination au four électrique à 450 °C suivie d'une fusion alcaline à chaud en présence de soude en pastille pour le fluor. Elle est obtenue par voie humide, par attaque nitroperchlorique pour le soufre.

Le fluor est dosé par une électrode spécifique aux ions fluorures selon la méthode de COOKE et DAVISON (1976). Le soufre est dosé par turbidimétrie.

## Résultats et discussions

### 1. Les types de nécroses observées

L'action des composés fluorés et du SO<sub>2</sub> sur les feuilles s'est traduite par l'apparition de nécroses chez les espèces poussant au voisinage de l'usine. Selon JACOBSON et HILL (1970), ces deux types de composés sont classés parmi les polluants primaires ou majeurs. Leurs effets sur les végétaux sont sévères et les dégâts sont visibles.

Des observations régulièrement faites toutes les semaines pendant trois ans, nous ont permis de répartir les nécroses en fonction de la morphologie des feuilles (fig. 2, page suivante) :

– Des nécroses apicales légèrement marginales sur les feuilles lancéolées, linéaires, longues et plus ou moins étroites des espèces tels que

(*Phoenix dactylifera*, *Amygdalis communis*, *Prunus persica*, *Prunus spinosa*).

– Des nécroses occupant l'extrémité des feuilles lobées, découpées ou profondément dentées tels que chez (*Ficus carica*, *Vitis vinifera*).

– Des nécroses centrales internervaires qui peuvent affecter toutes les feuilles, bien qu'elles ne soient pas très fréquentes (*Prunus armeniaca*, *Ficus carica*).

Selon BOLAY *et al.* (1971), GARREC *et al.* (1974), le fluor s'accumule dans la zone marginale et apicale des feuilles. MANNING et FEDER (1980) ont étudié le devenir du fluor dans les feuilles des plantes. Comme les autres gaz de l'atmosphère, il pénètre par les stomates, atteint les cellules du mésophylle, ensuite il migre apicalement vers les zones périphériques où il s'accumule. Une fois le seuil de toxicité, dépassé, les nécroses apparaissent

Selon BARRET et BENEDICT (1970), l'action du SO<sub>2</sub> sur les végétaux se manifeste par des nécroses centrales, internervaires sans aucune lésion sur les nervures. Les symptômes caractéristiques d'une attaque par SO<sub>2</sub> ne se manifestent que rarement sur les espèces à feuilles larges. RENOUX (1976) a pu montrer que le soufre absorbé se déplace dans toute la plante et peut même parfois être excrété par les racines. Dans la zone étudiée nous avons constaté que le SO<sub>2</sub> est beaucoup moins phytotoxique que HF, ce qui explique que l'on observe plus de nécroses marginales que de nécroses internervaires. Selon ZEBOULON (1983), l'action de SO<sub>2</sub> comme de HF est plus prononcée dans les pays à climat humide et à hiver froid que ceux ayant un climat aride.

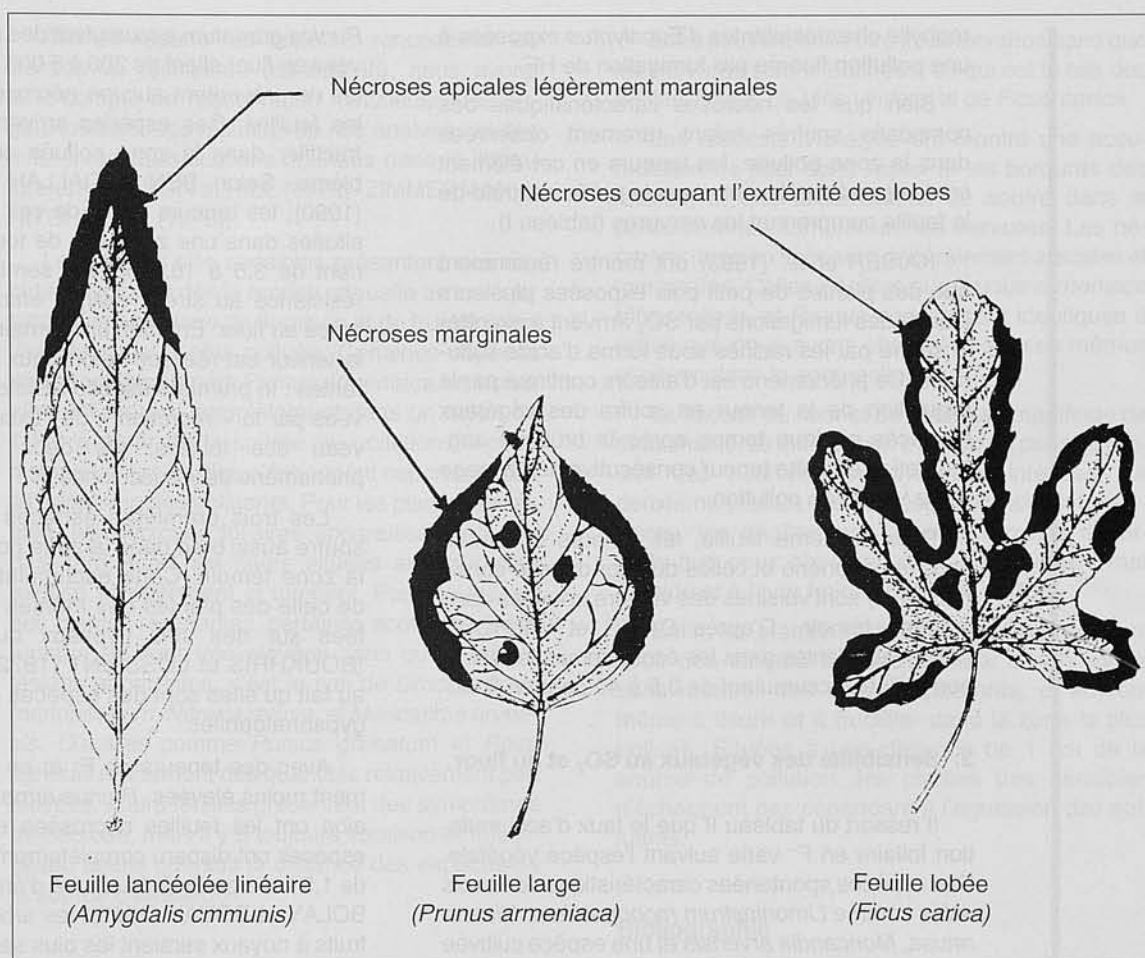


Figure 2.  
Différents types de nécroses observées en fonction de la morphologie des feuilles.  
The different types of necrosis observed as a function of leaf morphology.

## 2. Teneurs en soufre et en fluor des zones nécrosées

En raison de leurs grandes surfaces foliaires disponibles, nous avons prélevé des feuilles de *Vitis vinifera*, de *Ficus carica* et de *Prunus armeniaca* présentant à la fois des attaques centrales internervaires et des attaques marginales et apicales. Des rondelles périphériques et centrales sont découpées selon le modèle de la figure 1.

Les résultats d'analyse sont repris dans le tableau I.

Suivant le découpage effectué, on constate que les parties centrales de la feuille comprenant essentiellement les nervures principales, ne retiennent que peu de fluor par rapport aux parties périphériques, ce qui explique l'apparition des nécroses dans cette zone.

Après avoir analysé plusieurs pétioles et feuilles polluées, DE CORMIS (1968) a constaté que ces organes ne retiennent pratiquement pas de fluor. Ceci montre, en d'autres termes, que le fluor est un élément étranger au métabolisme des végétaux. Pour expliquer son mécanisme d'action, selon cet auteur, l'action essentielle du fluor consiste à perturber le métabolisme du Ca par forma-

tion du  $\text{CaF}_2$  et  $\text{MgF}_2$  insolubles. Cette hypothèse semble être vérifiée par GARREC *et al.* (1977) qui ont mentionné une corrélation entre la répartition du fluor et celle du calcium chez *Abies alba* Mill (espèce très sensible aux composés fluorés). D'autre part, MURRAY et WILSON (1988) ont montré une diminution de la concentration en chlo-

Tableau I.  
Teneurs en fluor et en soufre des parties nécrosées.

Plantes	Fluor en ug/g de M.S		Soufre en mg/g de M.S	
	Centre	Partie marginale	Centre	Partie marginale
<i>Prunus armeniaca</i>	12	430	4,1	2,1
<i>Ficus carica</i>	24	982	12,3	3,2
<i>Vitis vinifera</i>	8	653	7,2	1,9

rophyllé chez les plantes d'*Eucalyptus* exposées à une pollution fluorée par fumigation de HF.

Bien que les nécroses caractéristiques des composés soufrés soient rarement observées dans la zone polluée, les teneurs en cet élément sont cependant élevées dans la partie centrale de la feuille comprenant les nervures (tableau I).

KAISER *et al.* (1993) ont montré récemment que des plantes de petit pois exposées plusieurs jours à des fumigations par SO<sub>2</sub> arrivent à excréter le soufre par les racines sous forme d'acide sulfurique. Ce phénomène est d'ailleurs confirmé par la régulation de la teneur en soufre des végétaux herbacés quelque temps après la brusque augmentation de cette teneur consécutive au passage d'une vague de pollution.

Pour la même feuille, les teneurs en soufre dans la périphérie et celles du fluor dans le centre (tableau I) sont voisines des valeurs trouvées dans la zone témoin. D'après DAVIS et WILHOOR (1976), les plantes dans les écosystèmes terrestres non pollués accumulent de 0,5 à 40 ppm en fluor.

### 3. Sensibilité des végétaux au SO<sub>2</sub> et au fluor

Il ressort du tableau II que le taux d'accumulation foliaire en F<sup>-</sup> varie suivant l'espèce végétale. Des espèces spontanées caractéristiques des sols salés comme *Limoniastrum monopetalum*, *Nitraria retusa*, *Moricandia arvensis* et une espèce cultivée

*Punica granatum* accumulent des teneurs très élevées en fluor allant de 200 à 5 000 ppm alors qu'elles ne présentent aucune nécrose ou brûlure sur les feuilles. Ces espèces arrivent à fleurir et à fructifier dans la zone polluée sans aucun problème. Selon BEN ABDALLAH et BOUKHRIS (1990), les teneurs en F<sup>-</sup> de ces mêmes plantes situées dans une zone loin de toute pollution varient de 3,5 à 18,8 ppm. Il semble ainsi que la résistance au stress salin a entraîné une résistance au fluor. En effet, une certaine régulation de la teneur est réalisée selon deux modalités différentes : la première espèce résiste aux doses élevées par la « récréation » de l'excès de sel au niveau des feuilles, les deux autres par le phénomène de « succulence ».

Les trois premières espèces accumulent le soufre aussi bien dans la zone polluée que dans la zone témoin. Cette accumulation est proche de celle des plantes des mêmes espèces récoltées sur des sols gypseux du sud tunisien (BOUKHRIS et LOSSAINT (1972)). Ceci est dû au fait qu'elles sont des espèces gypsophiles ou gypsohalophiles.

Avec des teneurs en F<sup>-</sup> et en soufre relativement moins élevées, *Prunus armeniaca*, et *Morus alba* ont les feuilles nécrosées et brûlées. Ces espèces ont disparu complètement dans un rayon de 1,5 km à partir de la source d'émission. D'après BOLAY et BOVAY (1965), les arbres portant des fruits à noyaux seraient les plus sensibles.

Tableau II.  
Teneurs en fluor et en soufre des feuilles des espèces situées aux environs de la SIAPE et des mêmes espèces de la zone témoin.  
Fluorine and sulphur content in the leaves of species located near the SIAPE and the same species in a control area.

Espèces Végétales	Teneur en fluor (ug/g de M.S)		Teneur en soufre (mg/g de M.S)	
	Zone polluée	Zone témoin	Zone polluée	Zone témoin
<i>Limoniastrum monopetalum</i>	4 296	24	54	23,5
<i>Nitraria retusa</i>	1 219	13	48	26,3
<i>Moricandia arvensis</i>	306	9,3	46,2	34,6
<i>Ficus carica</i>	405	16	8,06	2,43
<i>Amygdalis communis</i>	305	14	6,2	1,6
<i>Vitis vinifera</i>	204	6	6,1	1,52
<i>Rosa agrestis</i>	96	12,3	7	1,85
<i>Punica granatum</i>	242	7,2	9,1	1,6
<i>Prunus armeniaca</i>	93	6,7	3	1,44
<i>Morus alba</i>	41,4	4	2,1	1,5

Afin de répartir les espèces rencontrées en classes de résistance (tableau III), nous avons tenu compte de l'observation minutieuse des dégâts foliaires, des résultats de nos analyses et des différentes classifications données dans la littérature (JACOBSON et HILL (1970), ZIMMERMAN et HITCHCOCK (1976)).

Les plantes très sensibles présentent des nécroses typiques dès la reprise annuelle de la végétation avec absence de floraison et de fructification dans la zone la plus polluée. Certaines espèces très sensibles comme *Prunus armeniaca*, et *Morus alba* ont disparu complètement dans un rayon de 1 km à partir de la source de pollution. A cette distance, leurs feuilles n'échappent cependant pas à l'agression des polluants. Pour les plantes sensibles, les nécroses foliaires apparaissent un peu plus tard, mais les fleurs situées sur leur côté exposé se nécrosent et tombent. Pour ce qui est des plantes résistantes, certaines accumulent des teneurs en fluor très élevées sans qu'il y ait de lésions apparentes, c'est le cas de *Limoniastrum monopetalum*, *Nitraria retusa*, et *Moricandia arvensis*. D'autres comme *Punica granatum* et *Rosa agrestis* renferment des quantités relativement peu élevées. Leurs feuilles présentent des symptômes de nécrose, mais il y a toujours floraison et fructification quelle que soit la distance des espèces de la source d'émission.

Elles peuvent enfin être internervaires sans que les nervures soient touchées, ce qui est le cas des feuilles larges de *Vitis vinifera* et de *Ficus carica*.

Les résultats d'analyse ont montré une accumulation de fluor dans l'apex et les bordures des feuilles, et une accumulation de soufre dans la partie centrale comprenant les nervures. Les nécroses dues au fluor sont généralement apicales et marginales. Celles décrites sur *Prunus armeniaca*, *Vitis vinifera*, et *Prunus persica* sont identiques à celles que nous avons observées sur ces mêmes espèces dans la zone polluée.

La toxicité du fluor et du soufre se manifeste de deux manières différentes. L'action du premier produit des nécroses périphériques intenses. Le deuxième produit des nécroses centrales internervaires, les dégâts sont cependant moins importants que ceux observés dans les pays à climat humide et à hiver froid (RENOUX, 1976).

Enfin, les plantes résistantes étudiées peuvent avoir des teneurs élevées en fluor ou en soufre sans montrer des dégâts apparents, et arrivent même à fleurir et à fructifier dans la zone la plus polluée. Situées à une distance de 1 km de la source de pollution, les plantes très sensibles n'échappent pas cependant à l'agression des polluants.

## Conclusion

Nos observations sont faites sur les espèces spontanées et cultivées qui se trouvent au voisinage de la source émettrice. Les nécroses observées sur les feuilles reflètent les conséquences d'une forte pollution fluorée et soufrée. Les attaques sur les feuilles sont variées, elles peuvent correspondre à des nécroses apicales, marginales, ou les deux à la fois suivant la morphologie des feuilles.

## Bibliographie

- BARRET J. W. et BENEDICT H. M. Sulfur dioxide in plants. Recognition of Air pollution injury to vegetation. A Pictorial Atlas : Air Pollution Control Association. 1990, Pittsburgh, c<sub>1</sub>-c<sub>7</sub>.
- BEN ABDALLAH F. et BOUKHRIS M. Action des polluants atmosphériques sur la végétation de la région de Sfax (Tunisie). *Revue Poll. Atm.*, juillet-septembre 1990 n° 127, 1990, 292-297.
- BOLAY A., BOVAY E., NEURY G., QUINCHE T.P. et ZUBER R. Dégâts causés aux abricots et à d'autres fruits par les composés fluorés. *Revue Suisse de Viticulture et Arboriculture*, III, 3, 1971, 82-92.

Tableau III.

Classification des espèces selon leur sensibilité aux polluants (SO<sub>2</sub> + HF).  
Classification of the species according to their sensitivity to pollutants (SO<sub>2</sub> + HF).

Espèces très sensibles	Espèces sensibles	Espèces résistantes
<i>Vitis vinifera</i>	<i>Prunus persica</i>	<i>Rosa agrestis</i>
<i>Prunus armeniaca</i>	<i>Ficus carica</i>	<i>Punica granatum</i>
<i>Pyrus communis</i>	<i>Amygdalis communis</i>	<i>Limoniastrum monopetalum</i>
<i>Morus alba</i>	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Nitraria retusa</i>
	<i>Pyrus malus</i>	<i>Moricandia arvensis</i>

- BOLAY A. et BOVAY E. Observations sur les dégâts provoqués par les composés fluorés en VALAIS. *Agric. romande* 4 (6), 1965, 43-46.
- BOUKHRIS M. et LOSSAINT P. Spécificité biogéochimique des plantes gypsophiles de Tunisie. *Ooecol. Plant.*, 7, 1972, 45-68.
- COOKE J. A. and DAVISON A. W. Determination of fluorides in vegetation. A review of modern techniques. *Environ. Poll.*, 11, 1976, 257-268.
- CHANG C.W. Fluorides in reponses of plants to air pollution. *Academic Press*, N.Y., 1975, 57-87.
- DAVID D. et WILHOOR R. G. Susceptibility of woody plants to sulfur dioxide and photochemical oxidants. U.S. *Environmental Protection Agency*, Pub. 600/3, 1976, 76-102.
- De CORMIS L. Contribution à l'étude de l'absorption du soufre par les plantes soumises à une atmosphère contenant du dioxyde de soufre. *Ann. Physiol. Vég.*, 10, 1968, 99-112.
- ECOPOL. Etude de la pollution atmosphérique et marine de la région de Sfax. *Rapport établi par la société ECOPOL à la demande de la Municipalité de Sfax*, 1978, 3-42.
- GARREC J.P., PLEBIN R. et LHOSTE A.M. Influence du fluor sur la composition minérale d'aiguilles polluées de sapin (*Abies alba Mill.*). *Jour. Env. Poll.*, 13, 1977, 159-67.
- J.I.C.A. Report of Exhaust gaz of selected industries in the region of SFAX submitted by Japan International Cooperation Agency to Regional Laboratory of Environment Sciences at ENIS Sfax. 1993, 31 p.
- JACOBSON J.S. et HILL A.L. Recognition of air pollution injury to vegetation : *A Pictorial Atlas. Air. Poll. Control. Assoc.*, 1970, Pittsburg, Pa. c<sub>1</sub>- c<sub>7</sub>.
- KAISER W.M., HEFLER M. and HEBER U. Can plants exposed to SO<sub>2</sub> excrete sulfuric acid through the roots ? *Physiol. Plant.*, 87, 1993, 61-67.
- MANNING J.W. et FEDER W.A. Symptoms of air pollution injury. *Biomonitoring air pollutants with plants*. Advisory Editor : Kenneth Mellands, 1980, 22-25.
- MURRAY F. et WILSON S. Effects of Sulphur Dioxide, Hydrogen Fluoride and Their Combinaison on Three *Eucalyptus Species*. *Jour. Env. Poll.*, 52, 1988, 265-279.
- RENOUX A. Quelques idées sur la pollution atmosphérique. *Bulletin écologique*, t<sub>7</sub>, 1976, 61-77.
- ZEBOULON J. Les points noirs d'une pollution soufrée. *Sciences et vie*, juin 1982, n° 777, 1982, 37-44.
- ZIMMERMAN P.W. et HITCHCOCK. A.E. Susceptibility of plants to hydrofluoric acid and sulfur dioxide gases. *Contrib. Boyce. Thompson Inst.*, 18, 1976, 263-279.

## LA REVUE POLLUTION ATMOSPHERIQUE

Cette publication, expression de l'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique (APPA, reconnue d'utilité publique, et agréé par le Ministère de l'Environnement), éditée avec le concours du Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique (CITEPA) est la seule revue française scientifique et technique traitant exclusivement de la pollution de l'air.

Elle est diffusée par ailleurs dans une quarantaine de pays. Y collaborent non seulement les Présidents de l'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique (APPA) et du Centre Interprofessionnel Technique d'Étude de la Pollution Atmosphérique (CITEPA), mais également des représentants de l'industrie et des diverses disciplines scientifiques impliquées dans la connaissance des origines, des effets et du traitement de cette nuisance.

Les documents qu'elle publie dans ses différentes rubriques émanent de personnalités scientifiques éminentes. Ils font le point sur les sujets d'actualité et sur l'état des recherches dans le domaine de la pollution atmosphérique.

Pour élargir son audience sur le plan international, la revue éditée les titres, les résumés et les légendes des figures et tableaux de ses articles en anglais ; de même, les articles qui lui seront adressés, seront publiés en anglais et feront l'objet d'une publication en anglais et en français après avis du Comité de rédaction (la traduction étant prise en charge par la revue).

A l'heure où les problèmes d'environnement se posent à tous les niveaux et dans tous les pays, les bases scientifiques que la revue apporte sont les meilleurs arguments dont peuvent disposer les responsables.

POLLUTION  
ATMOSPHERIQUE

REVUE TRIMESTRIELLE

RÉDACTION - ADMINISTRATION - PUBLICITÉ  
58, RUE DU ROCHER - 75008 PARIS  
Tél. (1) 42 93 62 07 - 42 93 69 30  
Fax (1) 42 93 41 99  
Registre du Commerce - Paris 6420 17438 B  
C.C.P. PARIS 21242-77  
Commission Paritaire des Papiers de Presse n° 56640

## BULLETIN D'ABONNEMENT

NOM ou RAISON SOCIALE : \_\_\_\_\_

ADRESSE : \_\_\_\_\_

- déclare souscrire un abonnement d'un an à « POLLUTION ATMOSPHERIQUE » pour 1995

- souhaite recevoir une facture en \_\_\_\_\_ exemplaire(s)

- joint un chèque de F : \_\_\_\_\_ - date : \_\_\_\_\_

(règlement en francs français uniquement)

1995

- cachet ou signature :

ABONNEMENT  
1 AN (4 NUMÉROS)

{	FRANCE.....	460 F.T.T.C.
	OUTRE-MER...	455 F
	ÉTRANGER...	665 F

Pour les entreprises dépendant de la CEE, merci d'indiquer votre numéro de TVA.