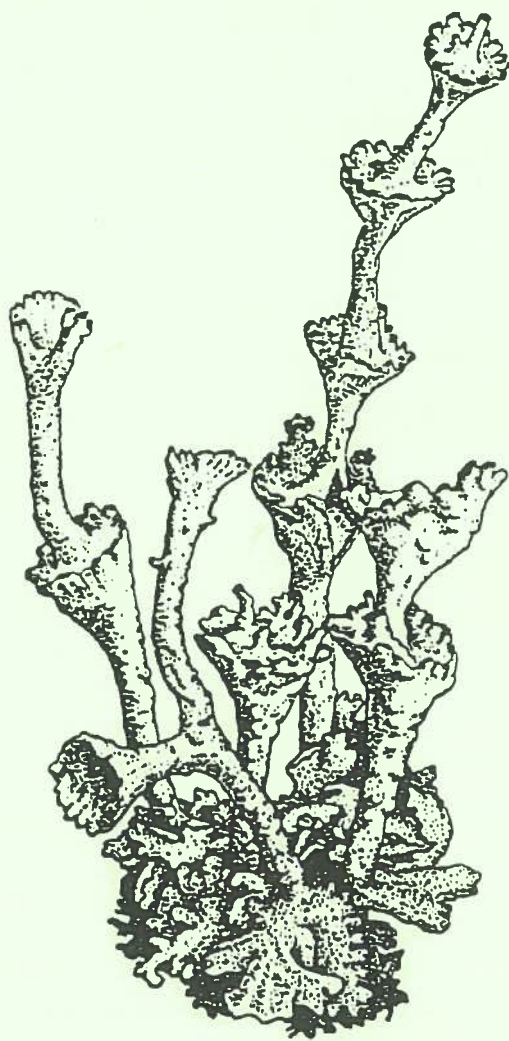


**Bulletin d'informations**  
**de**  
**l'Association Française de Lichénologie**



# ASSOCIATION FRANCAISE DE LICHENOLOGIE

Président d'honneur : Georges CLAUZADE

## Président

Juliette ASTA  
Laboratoire de Biologie Alpine  
Université Joseph Fourier - BP 53  
38041 GRENOBLE

## Vice Président

Claude REMY  
Le Parc Chancel, Bât F, Appt 3412  
12, avenue de 159è R.I.A.  
05100 BRIANCON

## Secrétaire

Olivier DAILLANT  
Néronde  
71250 MAZILLE

## Trésorier

Robert BEGAY  
13, chemin de la garenne  
16000 ANGOULEME

## Autres membres du Conseil d'Administration :

Pascale LAUNE (Trésorière adjointe)  
Jean Paul MONTAVONT

Imprimé par les soins de l'Association - Directeur de la Publication : Chantal VAN HALUWYN  
et Jean Pierre GAVERIAUX

Dépôt légal : décembre 1999

## SOMMAIRE

### ARTICLES

*LIKENOJ DE OKCIDENTA EUROPO : le genre CALOPLACA Th. Fr.*  
*d'après G. Clauzade & C. Roux. Traduction de Paulette RAVEL* 1 - 37

*Activités scientifiques conduites en lichénologie dans la région Rhône-Alpes par*  
*Juliette ASTA et Claude REMY* 39-52

*Les Impacts communautaires, physiologiques et cellulaires des éléments traces*  
*métalliques sur la symbiose lichénique, mise en évidence de mécanismes de tolérance chez*  
*Diploschistes muscorum (Scop.) R. Sant. Résumé de la Thèse de Damien Cuny par Damien*  
*CUNY* 53-60

### ACTIVITÉS DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE DE LICHÉNOLOGIE

*Les éco-acteurs du Nord- Pas de Calais 1999 – Mention spéciale à Jean Pierre*  
*GAVERIAUX* 61

*Bilan de trésorerie au 31/12/1998 par Robert BEGAY* 62-63

---

#### ASSOCIATION FRANÇAISE DE LICHENOLOGIE

Siège social  
5 square du Vimeu  
78310 MAUREPAS

Prix de l'adhésion au Bulletin de l'Association Française de Lichénologie (deux fascicules par an) 150 FF  
Vente au numéro 70 FF

Tirés à part de tout article sur demande et contre participation aux frais (de photocopie et d'expédition) 1 FF/page

Possibilité d'effectuer tous les paiements par CCP : Association Française de Lichénologie n° 11 220 87 R PARIS

---

## ACTIVITES SCIENTIFIQUES CONDUITES EN LICHENOLOGIE DANS LA REGION RHÔNE-ALPES

**J.ASTA\* et C.REMY\*\***

\* Laboratoire Ecosystèmes et Changements environnementaux  
UMR UJF-Cemagref Université Joseph Fourier Grenoble I  
BP 53X 38041 Grenoble Cedex 9

\*\* Les Hameaux du Villard 46b rue Joseph Silvestre  
05100 BRIANCON

Durant cette dernière décennie, de nombreux travaux de lichénologie ont été effectués dans la région Rhône-Alpes et ont abordé plusieurs axes de recherche, soit directement sur le terrain, soit en laboratoire. Ainsi, des recherches ont été conduites, du sud au nord, dans les Hautes-Alpes (Briançon, région du Briançonnais, Col du Lautaret), en Isère (Grenoble et région grenobloise), dans le Rhône (Lyon et région lyonnaise, depuis Givors au sud jusqu'à Neuville-sur-Saône au nord) et plus récemment dans la Loire (Saint-Etienne et Roanne).

Différents axes de recherche ont été suivis, mais la majorité des travaux ont porté sur l'utilisation des lichens dans la détection des pollutions atmosphériques et les applications de la bioindication lichénique (pollution diffuse, pollution urbaine globale, circulation automobile : plomb, Nox, ...). Dans ce contexte, les études ont parfois été complétées par des recherches appliquées concernant l'utilisation d'autres bioindicateurs végétaux (sphaignes dans la détection des chlorures, variété sensible de tabac ou belW3, dans la détection de l'ozone).

Des études ont été conduites sur la colonisation de divers supports (sol ou roches) et le rôle des lichens dans la pédogenèse, la floristique et la biodiversité lichénique, et, plus récemment, en physiologie et biochimie lichénique en relation avec les perturbations du milieu, ainsi que dans l'utilisation des lichens dans la gestion de l'environnement.

Toutes ces recherches ont été réalisées en collaboration avec d'autres lichénologues ou des chercheurs d'autres disciplines, avec le concours actif de certains organismes (INRA, Centre Européen Médical et Bioclimatique de Recherches et d'Enseignement Universitaire ou CEMBREU de Briançon), ainsi que par l'encadrement de nombreux étudiants pour des stages de maîtrise, de DEA ou de thèse, et la rédaction de mémoires scientifiques. La plupart des travaux ont bénéficié d'un support financier acquis par des contrats (contrats DEFORPA, ADEME, PRIMEQUAL, ...) ou auprès de différents organismes publics (Région Rhône-Alpes, Région PACA, Conseil général des Hautes-Alpes, DDASS Lyon, DIREN, Commune de Briançon, Communauté de Communes de la région grenobloise, Parc des Ecrins, ...).

Seront donc présentés ci-après, non seulement les publications auxquelles ces recherches ont donné lieu, mais aussi d'autres activités qui en découlent, à savoir la participation ou l'organisation de séminaires, colloques et congrès régionaux, nationaux et internationaux, des travaux d'expertise ainsi que des activités d'enseignement et de vulgarisation.

Pour une meilleure lisibilité, l'axe de recherche abordé par chaque rubrique est indiqué par une ou deux lettres concernant les mots-clés indiqués ci-dessous et auxquels on pourra se reporter :

- (B): Biodiversité et systématique,
- (C): Colonisation et pédogenèse,

- (G): Généralités,
- (Gs): Gestion,
- (Ph): Physiologie et biochimie,
- (Po): Pollution.
- (V): Végétaux supérieurs

## I. LISTE DES PUBLICATIONS, MEMOIRES ET RAPPORTS

### 1. Publications, communications et posters

- (Po) ASTA, J., 1991 - Etat des recherches sur les lichens dans les régions alpines françaises. *Bull. Ass. Fr. Lichénol. Mémoires n°1, Problèmes actuels posés à la bioindication lichénique*, 51-53.
- (Po) (C) ASTA, J., 1991- Les lichens, bioindicateurs de milieux naturels et perturbés. Texte d'une conférence prononcée le 21 Octobre 1991. *Bull. Bio-Club Grenoble, nouvelle série*, 19, 89-94.
- (G) ASTA, J. 1992 - *Les lichens et l'environnement*. Cours de Télé-Enseignement Universitaire. ISBN 2-907193-60-0. 30 p, 21 planches.
- (Po) ASTA, J., 1992 - Etat de l'art dans le domaine des bioindicateurs végétaux : les lichens. *3èmes Rencontres Internationales sur l'Environnement*, Charbonnières, 6-7 Février 1992. 13-15.
- (Po) ASTA, J. 1993 - Les lichens, bioindicateurs de pollution atmosphérique dans la région Rhône-Alpes. *Bull. Ass. Fr. Lich. Mémoires n° 2, Les lichens bioindicateurs de la qualité de l'air*, 71-84.
- (Po) ASTA, J. 1994 - Lichens et pollutions. *ARET*, Actualités aux bioindicateurs de pollution, 6-8.
- (Po) ASTA, J. 1994 - Lichens et pollution fluorée. *Actes du Colloque " L'environnement et la santé des végétaux sur le littoral "*. SPPI, Dunkerque, 6 Avril 1994, p 89.
- (Po) ASTA, J. 1996 - Les lichens, bioindicateurs de pollution atmosphérique. *Actes du Congrès International " L'Ecotoxicologie du Compartiment aérien "*, Rouen, 13-15 Septembre 1995, Poster et publication, 191-196.
- (G) ASTA, J. 1998 - Brève histoire de la lichénologie dans les Alpes françaises nord-occidentales. *Ecologie*, 29, 1, 261-265.
- (Po) ASTA, J. 1998 - Intérêt des groupements lichéniques pour la connaissance des milieux alpins : milieux perturbés (pollutions) et milieux extrêmes (radiations UV-B). *Livret-guide du Congrès International de Sciences des Sols, Montpellier 98*, 8p.
- (Po) ASTA, J., BELANDRIA, G. et LEGRAND, I., 1992 - Lichens et écorces, bioindicateurs de pollution atmosphérique dans la région Rhône-Alpes. *1er Congrès du GRAPE*, 29 Octobre 1992, Chambéry-Technolac. Poster.
- (B) ASTA, J., BOISSIERE, J.C., MONTAVONT, J.P. et REMY C., 1993 - Contribution à la flore lichénique du Briançonnais. *Bull. Ass. Fr. Lichénol.*, 18, 1, 21-45.
- (Ph) ASTA, J., JUGE, C., GOUT, E. et BLIGNY, R., 1992 - Lichens : models to study the adaptation to extreme high mountain environment. *First Conference on the Physiology and biochemistry of high mountain plants*, Villar d'Arène, Hautes-Alpes, 2-3 Juillet 1992. Poster.

- (G) ASTA, J. et LEGRAND, I. 1998 - Mesures de pH et de conductivité des écorces: étude comparative des méthodes d'analyse avec ou sans broyage. *Bull. Ass. Fr. Lich.* 23, 2, 27-33.
- (C) ASTA, J. and LETROUIT-GALINOU, M.A. 1995 - Observations on the early growth of *Rhizocarpon geographicum* thalli. *Herzogia*, 11, 239-252.
- (C) ASTA, J., LETROUIT-GALINOU, M.A. et WAGNER, J., 1990 - Colonisation de quartzites en milieu alpin par *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC. (lichen crustacé saxicole). *Colloque d'Ecologie et de Biogéographie alpines*, La Thuile, Italie, 1-6 Septembre 1990. Poster.
- (C) ASTA, J., LETROUIT-GALINOU, M.A. et WAGNER, J., 1993 - Colonisation de quartzites en milieu alpin par *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC. (lichen crustacé saxicole). *Revue Valdôtaine Hist. Nat.*, 327-329.
- (C) ASTA, J., ORRY, F., TOUTAIN, F., SOUCHIER, B. and VILLEMEN, G., - Micromorphological and ultrastructural investigations on the lichen-soil interface. *Soil Biol. Bioch.*, in press.
- (Po) ASTA, J. et ROLLEY, F. 1999 - La qualité de l'air de l'agglomération grenobloise: cartographie à l'aide des lichens. *IVèmes Journées recherche des Sciences de la Vie et de la Santé*. Grenoble, 22-24 Avril 1999, 18-19 et poster.
- (Po) ASTA, J. et ROLLEY, F. 1999 - Bioindication lichénique et qualité de l'air de l'agglomération grenobloise. *Bull. Ass. Fr. Lich. Mémoires n°3*, 6 p, 4 pl, (sous presse).
- (C) ASTA, J. et SOUCHIER, B. 1999 - Lichens et pédogénèse : dynamique de la végétation et études micromorphologiques de l'interface lichen-sol. *Bull. Ass. Fr. Lich. Mémoires n°3*, 11 p., (sous presse).
- (Ph) BACHEREAU, F. 1997 - *Effets de l'exclusion sélective du rayonnement solaire (visible et UV) de haute altitude sur la biochimie et la physiologie de divers modèles végétaux : Pisum sativum L. (pois cultivé), Sedum album L. (orpin blanc), Cetraria islandica (L.) Ach. (lichen terricole)*. Résumé de thèse. *Bull. Ass. Fr. Lich.* 23, 2, 17-25.
- (Ph) BACHEREAU, F. et ASTA, J. 1996 - Effet des rayonnements visible et ultra-violet (UV-B et UV-A) en haute altitude sur la physiologie et la biochimie de *Cetraria islandica* (L.) Ach. (lichen terricole). *Congrès International Végétations et sols de montagnes, Diversité, Fonctionnement et Evolution*", Grenoble, 8-12 Juillet 1996. Poster.
- (Ph) BACHEREAU, F. and ASTA, J. 1997 - Effects of solar ultraviolet radiation at high altitude on the physiology and the biochemistry of a terricolous lichen (*Cetraria islandica* (L.) Ach.). *Symbiosis*, 23, 197-217.
- (Ph) BACHEREAU, F. and ASTA, J. 1998 - Effects of solar ultraviolet radiation at high altitude on the phenolic compounds contents of a terricolous lichen (*Cetraria islandica* (L.) Ach.). *Ecologie*, 29, 1, 267-270.
- (Ph) BACHEREAU, F. et ASTA, J. 1999 - Les lichens, modèles d'étude des effets du rayonnement solaire (visible et UV) : aspects méthodologiques. *Bull. Ass. Fr. Lich. Mémoires n°3*, 8 p, (sous presse).
- (Ph) BACHEREAU, F. et ASTA, J. 1999 - Modes d'échanges ioniques à l'interface lichens-eaux de pluie. Protocole expérimental et premières expériences. *Mémoires n°3, Bull. Ass. Fr. Lich. Mémoires n°3*, 13 p, (sous presse).
- (Ph) BACHEREAU, F., MARIGO, G. and ASTA, J. 1996 - " Effects of solar radiation (Visible, UV-B) on the Crassulacean Acid Metabolism and the polyphenol biosynthesis in

*Sedum album*.". *Second Conference on the physiology and biochemistry of high mountain plants*, Villar d'Arene-Col du Lautaret (France), 4-6 Juillet 1996. Poster.

- (Ph) BACHEREAU, F., MARIGO, G. and ASTA, J. 1998 - Effect of solar ultraviolet radiation (UV and visible bands) at high altitude on the interaction between CAM cycle and phenolic compound biosynthesis in *Sedum album* L. *Physiologia Plantarum*, 104, 203-210.
- (Po) BELANDRIA, G., ASTA, J., and GARREC, J.P., 1991 - Diminutions of fluorine contents in lichens due to a regression of pollution in an alpine valley (Maurienne, Savoie, France) from 1975 to 1985. *Rev. Ecol. Alpine*, I, 45-58.
- (C) BERTINELLI, F., PETITCOLAS, V., ASTA, J., SOUCHIER, B. et RICHARD, R. 1993 - Relations dynamiques entre la végétation et le sol sur éboulis froid dans les Alpes Françaises méridionales. *Rev. Ecol. Alp.*, II, 93-104.
- (Po) CHAFAI, D. 1996 - La flore lichénique épiphyte et sa répartition en fonction de l'exposition et du gradient altitudinal de la région de Seraïdi (Est-Algérien). *Congrès International "Végétations et sols de montagnes, Diversité, Fonctionnement et Evolution"*, 8-12 Juillet 1996, Grenoble, Poster.
- (C) DELCROS, P., ASTA, J. et BRUN, J.J. 1999 - Utilisation d'un système d'information géographique pour l'étude de la dynamique spatiale des lichens. *Bull. Ass. Fr. Lich. Mémoires n°3*, 15 p, (sous presse).
- (Po) GOMBERT, S. et ASTA, J. 1995 - Etude d'impact autour de l'usine d'incinération des ordures ménagères de Grenoble à l'aide des lichens. *Actes du Colloque International "Les Bioindicateurs végétaux de la qualité de l'air"*, ADEME, Paris, 15 Novembre 1995, Paris, 43-49.
- (Po) GOMBERT, S. et ASTA, J. 1997 - Etude du suivi de la pollution chlorée émise par une usine d'incinération d'ordures ménagères par l'utilisation de bioindicateurs végétaux : lichens et sphaignes. *Ecologie*, 28, 4, 17-24.
- (Po) GOMBERT, S. et ASTA, J. 1997 - Les végétaux "sentinelles" de la qualité de l'air. 5<sup>ème</sup> Rencontre du GRAPE "Pollutions majeures en Rhône-Alpes et régions voisines : leçons pour l'évaluation des risques". Meylan, 10 Juin 1997. Poster et publication (8 p), (sous presse).
- (Po) GOMBERT, S. and ASTA, J. 1998 - The effect of refuse incinerator fumes on the lead and cadmium content of experimentally exposed corticolous lichens. *Water, Air and Soil Pollution*, 104, 29-40.
- (Po) KHALIL, K. et ASTA, J. 1996 - Les lichens, bioindicateurs de pollution atmosphérique dans la région lyonnaise. *Congrès International "Végétations et sols de montagnes, Diversité, Fonctionnement et Evolution"*, Grenoble, 8-12 Juillet 1996. Poster.
- (Po) KHALIL, K. et ASTA, J. 1996 - Etude diachronique de la pollution atmosphérique à l'aide des lichens : exemple de la région lyonnaise. *1er Congrès Européen E.F.C.A. "La pollution de l'air dans la ville"*, Strasbourg, 7 Novembre 1996. Poster.
- (Po) KHALIL, K. et ASTA, J. 1998 - Les lichens, bioindicateurs de pollution atmosphérique dans la région lyonnaise. *Ecologie*, 29, 3, 467-472.
- (Po) LEGRAND, I., 1991 - Lichens épiphytes et caractéristiques physico-chimiques des écorces: relations avec le dépérissement des forêts dans les Alpes du Nord. Résumé de thèse. *Bull. Ass. Fr. Lichénol.*, 16,2, 37-47.
- (Po) LEGRAND, I., 1992 - Influence de l'ozone sur l'aspect morphologique de quelques espèces lichéniques : expériences en laboratoire. *Bull. Ass. Fr. Lichénol.*, 17, 1, 29-32.

- (Po) LEGRAND, I., 1992 - Physiologie des lichens et pollution diffuse: synthèse bibliographique. *Bull. Ass. Fr. Lichénol.*, 17, 1, 33-38.
- (Po) LEGRAND, I., 1992 - Le dépérissement des forêts : connaissances actuelles sur ses origines et état sanitaire des peuplements. *Bull. Ass. Fr. Lichénol.*, 17,2, 13-21.
- (Po) LEGRAND, I. et ASTA, J. 1993 - Le dépérissement observé en Isère sur sapin et épicéa : relations avec les caractéristiques physico-chimiques des écorces. *Ann. Sc. For.*, 50, 235-247.
- (Po) LEGRAND, I. et ASTA, J. 1993 - Lichens épiphytes et caractéristiques physico-chimiques des écorces: relations avec le dépérissement des forêts dans les Alpes du Nord. *Actes du 116ème Congrès National des Sociétés Savantes*, Chambéry, 29 avril - 4 mai 1991. 129-146.
- (Po) LEGRAND, I. et ASTA, J. 1995 - Epiphytic flora and bark characteristics (pH, conductivity) in relation to forest decline in the Northern Alps. In : *Forest decline and air pollution effects in the french mountains*, de Landmann and Bonneau, eds., Springer Verlag 394-403.
- (Po) LEGRAND, I., ASTA, J. and GOUDARD, Y. 1996 - Concerning the bark of Silver-fir and Norway-Spruce : variations in acidity and conductivity over the trunk length. *Trees*, 11, 54-58.
- (Po) LESTOURNELLE, R. et REMY, C. 1989 - *Lichens et pollution*. CRDPP de Grenoble, 31p et diapositives.
- (C) LETROUIT-GALINOU, M.A. and ASTA, J. 1994 - Thallus morphogenesis in some lichens. *Crypto. Bot.*, 4, 274 - 282.
- (C) LETROUIT-GALINOU, M.A., ASTA, J. et AVNAIM, M. 1999- Morphogenèse du thalle de quelques lichens. Rôle de la marge et de l'hypothalle. *Bull. Ass. Fr. Lich. Mémoires n°3*, 15 p, (sous presse).
- (C) LETROUIT-GALINOU, M.A. and ASTA, J. 1995 - Observations on the early growth of *Rhizocarpon geographicum* thalli. *Herzogia*, 11, 239-252.
- (C) LETROUIT, M.A., ASTA, J. and WAGNER, J., 1990 - Morphogenesis of thalli. *Fourth International Mycological Congress IMC4, Regensburg, Germany*, 28 th August - 3 rd September 1990. Poster.
- (B) (V) REMY, C. 1991 - Création d'une réserve biologique forestière dirigée : le Bois des Ayes (Hautes - Alpes). *Le Courrier de la Nature (revue de la SNPN)*, 128, 31.
- (B) REMY, C. 1992 - *Guide de détermination des principaux lichens de montagne*. (Réédition de la première publication de 1987). As. Arnica Montana, 26p.
- (G) REMY, C. 1992 - *La réserve biologique du Bois des Ayes (Hautes-Alpes)*. (Réédition de la première publication de 1987). As. Arnica Montana - Centre de Recherches Alpin sur les Vertébrés, 64 p.
- (Po) REMY, C. 1993 - Lichens et qualité de l'air. *Pneumographie (Revue Médicale)*, 27, Septembre 1993.
- (B) REMY, C. 1993 - A la découverte de quelques lichens des Mélézeins du Queyras. *Le Courrier du Queyras*. 67, printemps-été 1993, 9 -11.
- (G) REMY, C. 1994 - Teinture de la laine par les lichens dans les Hautes-Alpes. *Bull. As. Fr. Lich.* 18, 2, 35.
- (B)(V) REMY, C. 1994 - *Roche et végétation d'altitude : le site remarquable du massif du Chenaillet*. As. Arnica Montana. 25 p.



- (G)(B)(V) REMY, C. 1995 - Un site naturel remarquable : le massif du Chenaillet. *Le Courrier de la Nature (revue de la SNPN)*, 151, 24-38.
- (G)(B)(V) REMY, C. 1996 - Un site d'altitude remarquable mais menacé : le massif du Chenaillet. *La Montagne et Alpinisme*, 3, 68-69.
- (G) REMY, C. 1996 - Lichens et oiseaux. *Faune et Nature (revue de l'A.R.P.O.N.)*, 38, 24.
- (B)(V) REMY, C. 1998- *Les milieux naturels du Briançonnais*. (Réédition de la première publication de 1989). As. Arnica Montana. 25 p.
- (Po) REMY, C. 1998 - *Les lichens : des bioindicateurs de la qualité de l'air*. Texte de la communication faite à la DIREN - PACA, pour le Plan Régional de la Qualité de l'air (commission effet sur l'Environnement et le Patrimoine bâti) et au CEMBREU, Juin 1998.
- (G) REMY, C. 1998 - *Les lichens : des végétaux énigmatiques aux multiples utilisations à travers l'histoire*. Résumé de la conférence présentée à Briançon en 1997. Arnica montana-AFL.
- (Po) REMY, C. 1998 - Lichens et qualité de l'air. *Bulletin de l'URVN*. 15, 21.
- (Po) REMY, C. 1998 - Les lichens : des bioindicateurs de la qualité de l'air. *Le petit coq des Alpes (revue de la SAPN)*, 74, 4.
- (V)(Po) REMY, C. 1999 - Etude de l'ozone troposphérique dans le Briançonnais à l'aide de plants de tabac. *Le petit coq des Alpes (revue de la SAPN)*, 80, 5.
- (Po) REMY, C. 1999 - *Détection de l'ozone par le tabac dans le Briançonnais*. La Virade de l'Espoir. La Lutte contre la mucoviscidose. Briançon, Septembre 1999. Poster.
- (Po) REMY, C. 1999 - *Quand le tabac surveille l'ozone de Briançon*. Briançon, Décembre 1999. Poster réalisé avec des scolaires. Option Sciences Expérimentales.
- (G)(B) REMY, C. et ASTA, J. 1991 - *Document de travail de la session de l'Association Française de Lichénologie dans le Briançonnais du 14 au 28 Août 1991*. A.F.L. - Arnica Montana, 95 p.
- (B)(V) REMY, C. 1991 - Création d'une réserve biologique forestière dirigée : le Bois des Ayes (Hautes - Alpes). *Le Courrier de la Nature (revue de la SNPN)*, 128, 31.
- (P) ROLLEY, F. et ASTA, J. 1998 - Les lichens et la qualité de l'air. Cartographie de la ville de Grenoble. *Séminaire sur l'Information géographique*. Montpellier, 15-16 Décembre 1998. Poster.

## 2. Mémoires de DEA

- (Ph) BACHEREAU, F. 1993 - *Rôle des lichens dans les cycles biogéochimiques. Première étude expérimentale sur les transferts ioniques*. DEA ECAMM UJF Grenoble I. 62 p, 17 annexes.
- (V) BAYARD Philippe, 1991 - *Une nouvelle technique d'enrobage : recherches de mise au point et effet sur des semences destinées à la végétation*. D.E.A. d'Agrochimie, 17 p, 12 pl.
- (B)(Gs)(Po) COLLIN, G. 1999 - *La diversité lichénique en montagne: vers un outil de gestion spatiale*. 83p, 14 annexes. DEA Gestion des Espaces Montagnards, UJF Grenoble I.
- (Po) GOMBERT, S. 1995 - *Utilisation des lichens dans la détection des pollutions atmosphériques émises par l'usine d'incinération de la ville de Grenoble et mise en place d'une stratégie de surveillance*. DEA ECAMM UJF Grenoble I. 32 p, 10 annexes.

- (B) QUELLIER, H. 1995 - *Les cembraies du Vallon du Bois des Ayes (Briançonnais) et de l'Arc Alpin*. DEA ECAMM UJF Grenoble I-Université Saint Jérôme (sous la direction de G.Cadel et C.Remy).

### 3. Thèses soutenues ou en cours

- (Ph)(V) BACHEREAU, F. 1997 - *Effets de l'exclusion sélective du rayonnement solaire (visible et UV) de haute altitude sur la biochimie et la physiologie de divers modèles végétaux : Pisum sativum L. (pois cultivé), Sedum album L. (orpin blanc), Cetraria islandica (L.) Ach. (lichen terricole)*. Thèse de l'Université de Grenoble, 175 p. soutenue le 5 Décembre 1997 avec la mention Très Honorable et les félicitations du Jury. Jury composé de L.KAPPEN (Univ. de Kiel, Allemagne), M.A.LETROUIT-GALINO (CNRS Paris), J.P.GARREC (INRA Nancy), R.BLIGNY (CNRS Grenoble), G.MARIGO (UJF Grenoble I) et J.ASTA (UJF Grenoble I).
- (Ph)(Po)(V) GOMBERT, S. 1999 - *Utilisation de la bioindication lichénique dans l'estimation de la qualité de l'air de l'agglomération grenobloise: étude à différents niveaux d'organisation biologique*. Thèse UJF Grenoble I. 287p, soutenue le 29 Octobre 1999 avec la mention Très Honorable et les félicitations du Jury. Jury composé de M.R.D.SEAWARD (Univ. de Bradford, Angleterre), M.A. LETROUIT-GALINO (CNRS Paris), R. LALLEMANT (Univ. Nantes), D.ZENATTI (Communauté de Communes de Grenoble, ASCOPARG), G.MARIGO (UJF Grenoble I) et J.ASTA (UJF Grenoble I).
- (Ph)(Po)(V) KHALIL, K. - *Utilisation de bioindicateurs végétaux (lichens et tabac) dans la détection de la pollution atmosphérique de la région lyonnaise*. 284p, Thèse UJF Grenoble I (en cours).
- (Po) LEGRAND Isabelle, 1991 - *Végétation lichénique corticole et caractéristiques physico-chimiques des écorces : relation avec la symptomatologie du dépérissement des forêts des Alpes du Nord*. U.J.F. Grenoble I, 202 p., 8 annexes. Soutenue le 13 Mars 1991 avec la mention Très Honorable et les félicitations du Jury. Jury composé de K.AMMANN (Univ. de Bern, Suisse), M.A. LETROUIT-GALINO (CNRS Paris), J.P.GARREC (INRA Nancy), LEMARIE (UJF Grenoble I), B.SOUCHER (UJF Grenoble I), J.PISOT (ONF, Grenoble) et J.ASTA (UJF Grenoble I). Thèse qui a reçu le Premier Prix du Jeune Chercheur de la Ville de Grenoble (Thème Environnement) 1991.
- (Po) PAUL, E. - *La pollution routière et son impact sur les écosystèmes en milieu montagnard. Cas de la vallée de la Maurienne et de la vallée de Chamonix*. Thèse UJF Grenoble I, en cours (co-direction avec l'Institut de Géographie Alpine).

### 4 - Mémoires de stages

- (Po) ALBERT, L.A. 1997 - *Etude de l'influence de la pollution azotée sur la végétation lichénique épiphyte de la vallée de la moyenne Maurienne*. 16 p, 3 annexes. MBPE, UJF Grenoble I.
- (Po) ALLALAH, C. et PAUZE, C. 1993 - *Les lichens bioindicateurs de pollution atmosphérique dans l'agglomération grenobloise (région nord)*. 21 p, 10 annexes. MBOP, UJF Grenoble I.
- (Ph) BALLANFAT, N. 1996 - *Contrôle du métabolisme crassulacéen par les UV via la biosynthèse de composés phénoliques*. 11 pages et annexes. Maîtrise MBCP, UJF Grenoble I.

- (Po) BEAREZ, E. 1999 - *Cartographie de la qualité de l'air par les lichens sur la ville de Saint-Etienne*. 81p, IUT de Saint-Etienne, Département de Génie Biologique, Option Génie de l'Environnement.
- (PO) BENATT, B. 1990 - *Estimation de la pollution acide à l'aide des lichens sur le campus de l'Université de Grenoble*. Lienc UJF Grenoble I. 33p, 31 fig.
- (Po) BERTONCELLO, A.S. 1999 - *Etude de la pollution atmosphérique sur des sites de décharges d'ordures ménagères à l'aide de bioindicateurs: les lichens*. 34p, 10 annexes. MBPE, UJF Grenoble I.
- (Po) BUDIN, Y.. 1999 - *Les lichens bioindicateurs de la qualité de l'air dans l'agglomération grenobloise*. 23p. MBPE, UJF Grenoble I.
- (Ph) CAUZID, C. 1996 - *Mise au point d'un protocole standard pour isoler les composés phénoliques présentant une absorption dans les UV chez *Cetraria islandica* (L.) Ach.* 21 pages, 11 annexes. MBOP, UJF Grenoble I.
- (Po) CRENN, R. 1999 - *Suivi spatio-temporel de l'influence du trafic automobile sur un lichen*. 18p. MBPE, UJF Grenoble I.
- (Po) DURIEUX, C. 1995 - *Lichens et détection de la pollution par le plomb dans l'agglomération grenobloise*. 26 p, 12 annexes, MBOP, UJF Grenoble I.
- (Ph) FAURE, F. 1997 - *Etude de la sensibilité des lichens *Cetraria islandica* (L.) Ach. et *Cladonia arbuscula* (L.) Ach. aux radiations UV-B*. 32 p, 5 annexes, MBPE, UJF Grenoble I.
- (Po) FRACHON, C. 1997 - *Essai de mise en évidence de corrélation entre la distribution de la végétation lichénique épiphyte et les taux d'ozone et NO<sub>2</sub> à l'issue de la campagne de mesures estivales 1996 menée dans le sud de l'agglomération grenobloise par l'ASCOPARG*. 34 p, 23 annexes, MBPE, UJF Grenoble I.
- (B)(G)(V) GALET, C et PORTAL F., 1995 - *Mise en valeur du patrimoine biologique du campus universitaire de Saint Martin d'Hères: étude cartographique de la végétation, proposition d'un sentier écologique*. MBOP, 17 p, UJF Grenoble I.
- (Po) GANGLOFF, B. 1998 - *Etude de la pollution de l'air par l'ozone troposphérique dans le Briançonnais à l'aide de bioindicateurs*. Stage I.S.A. Lille. Arnica Montana - I.S.A.
- (Ph) GIBBONS, B., 1995 - *Etude des relations entre la pigmentation d'un lichen et divers facteurs écologiques*. Erasmus, 41 p, UJF Grenoble I.
- (Po) GRACIA, M. (en cours) - *Bioindication de la qualité de l'air dans le Briançonnais: étude de l'ozone troposphérique à l'aide de plants de tabac, campagne 1999. Cartographie de lichens nitrophiles sur écorces de résineux de part et d'autre de la route nationale Briançon-Montgenèvre*. Stage de Lienc Université Paul Sabatier de Toulouse. Arnica Montana- Université Paul Sabatier Toulouse.
- (B) GOMEZ, S. (en cours) - *Biodiversité d Vallon du Granon (Commune de Val des Prés, 05): botanique, ornithologie, proposition de gestion*. Stage BTS gestion et protection de la nature LEGTA Les Barres (45). Arnica Montana - LEGTA Les Barres.
- (Po) HADDOUCHE, M. 1997 - *Etude de la végétation lichénique épiphyte de la vallée du Grésivaudan (du Touvet à Montmélian) en relation avec la pollution azotée*. 19 p, 4 annexes, MBPE, UJF Grenoble I.
- (Po) JONES, A. 1999 - *Utilisation des lichens dans la détection de la pollution atmosphérique émise par un site de décharges d'ordures ménagères*. 28p, 4 annexes. MBPE, UJF Grenoble I.
- (Ph) JUGE, C. 1992 - *Quelques observations sur la physiologie et la biochimie des lichens de haute altitude*, 2 tomes, 50 p. Maîtrise MBOP, Université de Tours.

- (Po) MASSE, E. 1996 - *Etude de la pollution chlorée émise par l'usine d'incinération de la ville de Grenoble par analyse du chlore dans des transplants de lichens*. 20 p, 9 annexes. MBOP, UJF Grenoble I.
- (Po) MEUNIER, V. 1996 - *Etude de la végétation lichénique épiphyte de la plaine du Bourg d'Oisans (partie sud): influence de la pollution azotée*. 20 p, 5 annexes. MBPE, UJF Grenoble I.
- (Po) MOREL, S. et VILLARD, H. 1993 - *Pollution automobile et forêt dans la vallée de Chamonix*, 166 p. Maîtrise de Géographie, Institut de Géographie Alpine, UJF Grenoble I.
- (Ph) PACCARD, A. 1996 - *Influence du rayonnement solaire (UV et visible) sur la photosynthèse des chlorophylles, des caroténoïdes et des composés phénoliques dont les flavonoïdes de Pisum sativum L.* MB, UJF Grenoble I.
- (Po) PELET, C. 1996 - *Etude de la flore lichénique épiphyte de la plaine du Bourg d'oisans : végétation lichénique nitrophile et impact de la pollution azotée*. 26 p, 8 annexes. MBOP, UJF Grenoble I.
- (Ph) PERONI, J. 1997 - *Variabilité biochimique et physiologique chez une espèce de lichen terricole Cetraria islandica (L.) Ach.* 31 p, 10 annexes, MBPE, UJF Grenoble I.
- (Po) PIERRE, L. 1994 - *Les lichens bioindicateurs de la qualité de l'air dans le sud de l'agglomération grenobloise*. 20 p, 10 annexes. MBOP, UJF Grenoble I.
- (Po) PIGNARD, S. 1997 - *Etude de la végétation lichénique épiphyte de la vallée du Grésivaudan (du Touvet à Montmélian) en relation avec la pollution automobile*. 17 p, 3 annexes, MBPE, UJF Grenoble I.
- (Ph) PINSON, P.Y. 1995 - *Etude du taux d'humidité des lichens de montagne en fonction des conditions climatiques*. 15 p, 5 annexes, MBOP, UJF Grenoble I.
- (Po) POGNAT, C. 1999 - *Utilisation des lichens comme bioindicateurs dans la détection de la pollution atmosphérique de l'agglomération roannaise*. 43p, 11 annexes. MBPE, UJF Grenoble I.
- (Ph) POMMARET, N. 1999 - *Essais préliminaires sur l'expérimentation des lichens*. 25p, 31 annexes. MBPE, UJF Grenoble I.
- (Po) REVOL, S. 1999 - *Influence du trafic automobile sur la quantité d'azote total des lichens*. 23p. MBPE, UJF Grenoble I.
- (Ph) SCHLAX, S. 1997 - *Etude de la variabilité physiologique et biochimique de deux lichens terricoles d'altitude (Cladonia mitis Sandts. et Cladonia arbuscula (Wallr.) Rabenh.)*. 27 p, MBPE, UJF Grenoble I.
- (Po) TREBUCHON, C. 1998 - *Essai de détection de la pollution atmosphérique azotée dans la vallée de la Maurienne à partir d'un bioindicateur : le lichen*. 115 p, 8 annexes. Maîtrise de Géographie. UJF Grenoble I.
- (Po) ZANCANARO, A. 1998 - *Etude diachronique (1990-1998) de la pollution atmosphérique à l'aide des lichens. Exemple du campus universitaire de Grenoble*. 17p, 9 annexes. MBPE, UJF Grenoble I.

## 5. Rapports de programmes scientifiques

- (Po) ASTA, J., GOMBERT, S., BENOIT-GUYOD, J.L., SEIGLE-MURANDI, F., STEIMAN, R., LAFFOND, M., JACOB, V., FERRARI, C., TREGOURES, A., STOKLOV, M., COLLOT, D., ZMIROU, D., BOUDET, C., et TAUVERON, A. 1996 - *Evaluation des*

*nuisances et impacts liés à l'incinération d'ordures ménagères et assimilés. Rapport GRIDEC-ADEME. 141 p, 15 annexes. .*

- (B) BACHEREAU, F. et ASTA J. 1994 - *Etude de la flore et de la végétation lichéniques du Haut Vallon du Lauvitel. Rapport Parc National des Ecrins - UJF Grenoble I, 23 p.*
- (B) BERTINELLI F. et PETITCOLAS V., 1992 - *Etude du site de Combe Obscure (Drôme). Proposition de mesures de protection (arrêté de biotope). Rapport Conseil Général de la Drôme - UJF Grenoble I, 93 p.*
- (B) (Po) BRUN, J.J., ROVERA, G, et ASTA, J. 1998 - “ *Changements environnementaux et bioévaluation des écosystèmes et des paysages de montagne. Rôle et intérêt d'indicateurs biologiques et écologiques pour connaître et gérer la biodiversité* ”. Rapport du XIème Plan Etat Région, Cemagref-UJF-LAMA. 30 p et annexes.
- (Po)(V) GOMBERT, S.1998 - *Etude de la distribution de l'ozone dans l'agglomération grenobloise à l'aide du tabac (Nicotiana tabacum variété Bel W3) utilisé comme bioindicateur végétal durant l'été 1997. Rapport Communauté de Communes de l'agglomération grenobloise - UJF Grenoble I. 42 p, 6 annexes.*
- (Po) KHALIL, K. 1997 - *Utilisation des lichens comme bioindicateurs dans la détection de la pollution atmosphérique dans la région lyonnaise en 1996. Rapport DDASS du Rhône Lyon - UJF Grenoble I. 53 p, 12 annexes.*
- (Po)(V) KHALIL, K. 1998 - *Détection du plomb atmosphérique à Lyon et Villeurbanne à l'aide de lichens et chiffonnettes en 1997. Rapport DDASS du Rhône Lyon-UJF Grenoble I. 47 p, 3 annexes.*
- (Po) LEGRAND, I. et ASTA, J., 1991 - *Lichens épiphytes et caractéristiques physico-chimiques des écorces dans les forêts dépérissantes. Journées de Travail DEFORPA, 8-10 Octobre 1991, Pulnoy 2p.*
- (Po) LEGRAND, I. et ASTA, J., 1992 - *Flore épiphyte et écorces en relation avec le dépérissement des forêts.. Pollution atmosphérique et dépérissement des forêts dans les montagnes françaises. Programme DEFORPA 1992, 317-319.*
- (B) REMY, C. 1994 - *Etude lichénologique réalisée dans le Parc National des Ecrins. Rapport d'étape n°1. Arnica Montana-AFL.*
- (B) REMY, C. 1996 - *Le massif du Chenaillet : intérêt géologique, intérêt botanique, proposition de protection. Arnica Montana.*
- (Po)(V) REMY, C. 1999 - *Etude de l'ozone troposphérique dans le Briançonnais au moyen de bioindicateurs végétaux. Campagne 1998. Etude Arnica Montana-Laboratoire des Pollutions Atmosphériques de l'INRA.*
- (B) REMY, C. et BOULET, 1996 - *Etude environnementale “ Le Brus-Les Alberas (commune de Val des Prés, 05) ”. Arnica Montana.*

## II. PARTICIPATION A DES CONGRES ET DES COLLOQUES

### 1990

- (Co) *Colloque d'Ecologie et de Biogéographie alpines*, La Thuile (Italie), 2-5 Septembre 1990, avec communication et poster.
- (Co) *Fourth International Mycological Congress IMC4*, Regensburg (Germany), 28 th August - 3 rd Sept. 1990, avec poster.
- (Co) *Congrès de l'A.F.E.S.*, , Orléans, 19-21 Novembre 1990, avec communication.

### 1991

- (Po) *116ème Congrès des Sociétés Savantes*, , Chambéry, 29 Avril 1991, avec communication et publication.
- (Ph) Journée d'Etude de la Société Botanique de France. "*Les accumulations minérales chez les végétaux*", Paris, 24 Mai 1991, avec communication et publication.
- (B) Organisation de Session de l'AFL dans le Briançonnais du 14 au 28 Août 1991.
- (Po) *Journées de travail DEFORPA*, 8-10 Octobre 1991, Pulnoy (54), avec communication et publication.
- (Po) Séminaire AFL sur "*Problèmes actuels posés à la bioindication lichénique* ", 5 et 6 Octobre 1991, Lille, avec communication, poster et publication.

### 1992

- (Po) *3èmes Rencontres Internationales sur l'Environnement du Conseil Régional*, Charbonnières-les-Bains (69), sur invitation, 6 et 7 Février 1992, avec communication et publication.
- (G) *10th International Exhibition of Mountain Regions Planning and Development*, Grenoble, 8-11 Avril 1992.
- (Po) *Pollution de l'air et charges critiques*, Nancy, 14 Mai 1992.
- (Po) Soirée "*Environnement et Santé* " présidée par Haroun Tazieff. Fédération Européenne de Climatologie, Briançon, Juin 1992, avec communication.
- (Ph) *First Conference on the Physiology and Biochemistry of high mountain plants* , Villar d'Arène (05), 2-3 Juillet 1992, avec poster.
- (Po) *Premier Congrès International du GRAPE*, Chambéry, Technolac, (Savoie), 29 Octobre 1992, avec poster.
- (Po) Journée " British Council ". Séminaire "*Les témoins silencieux de l'air de Paris* ", Paris, 20 Novembre 1992, avec communication, poster et publication.

### 1993

- (Po) Congrès "*Médecine Montagne et Santé* ", "*Ozone et pollution*". Briançon, Février 1993, avec communication.
- (B) *First International Workshop on Ascomycete Systematics*, Paris, 11-14 May 1993.
- (Po) *Journée Environnement et Santé* (Club CRIN), Paris, 15 Mai 1993.
- (Po) *Deuxième Congrès International du GRAPE*, Lausanne (Suisse), 19 Novembre 1993.

### 1994

- (Po) Colloque "*L'environnement et la santé des végétaux sur le littoral* ", Dunkerque, 6 Avril 1994, sur invitation.

(C) (Ph) (Po) Organisation du Colloque "*Lichens et colonisation en milieux naturels et perturbés*", Grenoble, 19 et 20 Mai 1994, avec communications et posters.

(Po) Journée APPA "*Les normes de la qualité de l'air*", Chambéry, 26 Mai 1994.

(Po) *Troisième Congrès International du GRAPE*, Turin (Italie), 23 Septembre 1994.

(G) *Journée du Centre d'Etudes et de Recherches sur les Montagnes Sèches et Méditerranéennes*, 2 Décembre 1994, Le Pradel, Ardèche, avec communication.

(Po) *Journée GRIDEC-ADEME*, Grenoble, 9 Décembre 1994, avec conférence et communication.

(C) (Po) Journée de l'AFES, "*Interactions êtres vivants - surfaces solides des sols.*". Paris, 15 Décembre 1994.

### 1995

(G) Exposition "*Amphibia-Licheni*", Turin, Juillet 1995.

(Po) Congrès International "*L'Ecotoxicologie du Compartiment aérien*", Rouen, 13-15 Septembre 1995, avec poster et publication.

(Po) Colloque International "*Marqueurs Biologiques*", Chinon, 21-22 Septembre 1995.

(Po) Journée Scientifique Réseau Santé Déchets, "*Approche de l'évaluation des risques dans le traitement des déchets*", Lyon, 3 Octobre 1995.

(Po) Colloque Pollutec Asprodet, "*Déchets et Santé*", Paris, 4 Octobre 1995, sur invitation, avec communication.

(Po) *Journée GRIDEC - ADEME*, Grenoble, 10 Octobre 1995, communication de S.GOMBERT.

(B) Journée organisée par le Parc des Ecrins, Bourg d'Oisans, 26 Octobre 1995, avec communications.

(G) (Gs) Colloque Société Française d'Ecologie, "*Evaluer les écosystèmes*", Dijon, 27 Octobre 1995.

(Po) Colloque International "*Les Bioindicateurs végétaux de la qualité de l'air*", ADEME, Paris, 15 Novembre 1995, sur invitation, communication et publication en collaboration.

### 1996

(Po) *Journée Scientifique organisée par l'Association Française de Lichénologie "Bioindication végétale"*, Fontainebleau, 1er Mars 1996.

(Po) Congrès Société Française de Santé Publique "*Pollution atmosphérique d'origine automobile et santé publique*", Paris, 21 Mars 1996..

(Po) Colloque ADEME "*Recherche-Santé-Déchets : quelles priorités ?*" Paris, 2 Avril 1996.

(Ph) *Journées Recherche Sciences de la Vie et de la Santé*, Grenoble, 2-4 Mai 1996, communication.

(Ph) *Second Conference on the physiology and biochemistry of high mountain plants*, Villar d'Arene-Col du Lautaret (France), 4-6 Juillet 1996, avec communication et poster.

(Po) Participation à l'organisation et au déroulement du Congrès International "*Végétations et sols de montagnes, Diversité, Fonctionnement et Evolution*", , Grenoble, 8-12 Juillet 1996, avec communications et posters. Participation à la publication des Actes.

(G) *Congrès International de l'A.P.B.G.*, Grenoble, 15 Juillet 1996, avec conférence sur invitation.

- (Ph) *The Third Symposium of I.A.L.*, Salzburg (Austria), 1-7 September 1996, avec communication.
- (Po) Forum national organisé par le Réseau National de Santé Publique "*Air et Santé*", Montpellier, 24 et 25 Septembre.
- (Po) Colloque *Pollutec "Transport et qualité de l'air. Quels carburants pour nos véhicules ?"* 24 Octobre 1996, Lyon.
- (Po) 1<sup>er</sup> Congrès Européen E.F.C.A. "*La pollution de l'air dans la ville*", 7 Novembre 1996, Strasbourg, poster.
- (Po) Journée ADEME Programme "*Mousses et pollutions métalliques*", 8 Novembre 1996, Paris.
- (Po) Colloque ADEME "*Pollution de l'air et charges critiques pour les sols, l'eau et la végétation*", 19 Novembre 1996, Paris.
- (Po) Journée *Bioindication végétale*, Ministère de l'Environnement, Paris, 3 Décembre 1996.

### 1997

- (Po) Colloque "*La pollution automobile dans les villes*", Dijon, 25 Avril 1997.
- (Po) *LE VILLAGE DE L'AIR*, Journées de l'Environnement, Grenoble, 5, 6 et 7 Juin 1997. Avec stand et poster.
- (Po) 5<sup>ème</sup> Rencontre du GRAPE "*Pollutions majeures en Rhône-Alpes et régions voisines : leçons pour l'évaluation des risques*". Meylan, 10 Juin 1997. Poster.
- (Po) Journée organisée par l'AFIE "*Les bioindicateurs de la qualité de l'air*", Rouen, 6 Novembre 1997..
- (Po) Congrès ADEME "*Pollution de l'air à l'échelle urbaine et locale*", Paris, 10 et 11 Décembre 1997.

### 1998

- (Po) Colloque "*Biomarqueurs de stress oxydant chez les végétaux et les champignons (lichénisés ou non)*", Lille, 9 Février 1998.
- (Ph) (Po) *Congrès International des Sciences des Sols Montpellier 98*. Participation au livret-guide et à l'excursion "*De la vallée de la Romanche à la Vallée de la Maurienne*", 29 Août 1998.
- (G) (Po) Séminaire sur "*l'Information géographique*". Cemagref, Montpellier, 15-16 Décembre 1998. Poster.
- (Po) Séminaire ADEME "*Ecotoxicologie des sols et des déchets*", Paris, 4 décembre 1998.

### 1999

- (Po) *IVèmes Journées Recherche des Sciences de la Vie et de la Santé*. Grenoble, 22-24 Avril 1999, résumé 18-19) et poster.
- (G) *Journée scientifique "Télédétection à très haute résolution et analyse d'images"*. Cemagref, Montpellier, 14 Décembre 1999.
- (Po) *Journée Inter-Comités Rhône-Alpes "La surveillance de la qualité de l'air"*. Lyon, 24 Novembre 1999.
- (Po) Colloque PNETOX "*Préserver et améliorer la Qualité des milieux*". Paris, 8-9 Décembre 1999.



**LES IMPACTS COMMUNAUTAIRES, PHYSIOLOGIQUES ET CELLULAIRES  
DES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES SUR LA SYMBIOSE LICHÉNIQUE,  
MISE EN ÉVIDENCE DE MÉCANISMES DE TOLÉRANCE CHEZ  
*DIPLOSCHISTES MUSCORUM* (SCOP.) R. SANT.**

**RÉSUMÉ DE LA THÈSE DE DAMIEN CUNY**

Laboratoire de Botanique  
Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques  
B.P. 83 – 59006 Lille cedex  
e-mail : Damien.Cuny@wanadoo.fr

CE TRAVAIL DE THÈSE S'INSCRIT DANS LE PROGRAMME DE RECHERCHES CONCERTÉES (CONTRAT DE PLAN ETAT-RÉGION NORD – PAS DE CALAIS, 1994-1999) DONT L'OBJECTIF EST D'ÉTUDE UN SECTEUR POLLUÉ PAR LES MÉTAUX D'ORIGINE INDUSTRIELLE (ZONE DU BASSIN MINIER ALLANT DE LENS À AUBY ET DE COURCELLES-LES-LENS À LIBERCOURT).

AU SEIN DE CE PROGRAMME, LE LABORATOIRE DE BOTANIQUE TRAVAILLE NOTAMMENT SUR LES RELATIONS ENTRE LES MÉTAUX ET LES DIFFÉRENTS NIVEAUX D'ORGANISATION DE LA SYMBIOSE FONGIQUE (ENDOMYCORHIZES À ARBUSCULES ET LICHENS) ET LES BRYOPHYTES (SOUS LA DIRECTION DE MME LE PROFESSEUR VAN HALUWYN). LA SOUTENANCE DE CETTE THÈSE A EU LIEU LE 8 JANVIER 1999 À LILLE.

LA PREMIÈRE PARTIE DE LA THÈSE TRAITE DE L'IMPACT DU CADMIUM, DU PLOMB ET DU ZINC SUR LES COMMUNAUTÉS BRYO-LICHÉNIQUES TERRICOLES DE CINQ SITES PRÉSENTANT DES CONTAMINATIONS CROISSANTES (SITE TÉMOIN, TERRILS MINIERS, PELOUSES MÉTALLIFÈRES).

L'étude des différentes concentrations en éléments traces des sols a montré qu'elles sont très hétérogènes. En effet, sur un même site, nous avons obtenu des coefficients de variation pouvant atteindre 100%. De même, les autres variables édaphiques sont également très hétérogènes. Nous avons mis en évidence que les éléments traces modifient significativement la composition spécifique des communautés. Nous avons également mis en évidence que les facteurs édaphiques ne sont pas à négliger et, parmi ces facteurs, le pH et la teneur en Matière Organique sont les plus importants. Dans un deuxième temps, il nous a semblé très intéressant de développer la mise au point d'une échelle de bioindication de la contamination des sols, basée sur les structures des communautés bryo-lichéniques. En effet, l'hétérogénéité des sols rend difficile leur caractérisation en se basant uniquement sur les données physico-chimiques. Les relevés bryo-lichéniques ont été réalisés selon la technique phytosociologique sigmatiste de Braun-Blanquet et Tüxen. Le sol sous-jacent aux relevés a été prélevé et analysé (pH, CEC, azote organique, carbone organique, matière organique, rapport C/N, Calcium, capacité d'échange cationique, teneurs totales en Cd, Pb et Zn). Divers traitements statistiques ont été utilisés pour traiter les relevés floristiques, les variables édaphiques et les corrélations entre variables qualitatives et quantitatives (AFC, AFCM, ACP). Nous avons mis en évidence six groupes écologiques d'espèces qui, en intégrant l'ensemble des caractéristiques des sols permettent une première approche globale de leur caractérisation (tab. 1). Il nous paraît fondamental de considérer des groupes plutôt que des espèces prises individuellement car la plupart d'entre elles ne sont pas rares mais ce sont leurs associations qui sont originales. Nous obtenons ainsi deux groupes d'espèces métallophobes, un groupe de transition composé de trois sous-ensembles répartis en fonction de leur tolérance

aux éléments traces métalliques et un groupe d'espèces métallophiles. Parmi ces espèces métallophiles, *Steinia geophana* et *Stereocaulon nanodes* sont nouveaux pour la région Nord – Pas de Calais, *Sarcosagium campestre* var. *macrosporum* et *Veizdaea leprosa* sont nouveaux pour la France (Van Haluwyn *et al.*, 1995). Au sein du groupe V (espèces ubiquistes pouvant se rencontrer sur des sites très contaminés), le lichen le plus abondant est *Diploschistes muscorum*, qui est une espèce par ailleurs rare dans la région. En outre, d'après nos observations préliminaires, cette espèce a la capacité d'accumuler de fortes concentrations en éléments traces sans présenter de dommages visibles. Ces observations rejoignent celles de Lambinon *et al.* (1964). Ces propriétés font de cette espèce un organisme particulièrement intéressant pour étudier les différents mécanismes mis en jeu chez les lichens exposés aux éléments traces. C'est ce que nous avons étudié dans les chapitres suivants.

#### DIPLOSCHISTES MUSCORUM POSSÈDE UN CYCLE DE DÉVELOPPEMENT PARTICULIER.

Ses spores germent sur des thalles de *Cladonia* contenant de l'acide fumarprotocétrarique. Cet acide stimule la germination (Cuny *et al.*, 1997). On constate que les spores de cette espèce provenant de pelouses métallifères ont une capacité de germination inférieure à celle de *Diploschistes* provenant d'un site témoin (milieu dunaire). De plus, les structures germinatives (nombre, forme et longueur des hyphes) sont également différentes. Nous avons montré que les spores de ce lichen peuvent germer sur un milieu contenant jusqu'à 1000 mg/l de nitrate de zinc. Nous avons également mis en évidence, principalement pour les spores de *D. muscorum* du milieu dunaire, que la germination est moins importante sur un milieu contenant 500 mg/l, le zinc cause un stress au niveau des spores. Ce stress déclencherait un ou plusieurs mécanismes de compensation dans le but de rétablir l'homéostasie. Ainsi, entre 500 et 1000 mg/l, les mécanismes de compensation seraient de plus en plus actifs (en liaison avec la dose de zinc) ce qui se traduirait par une germination proche du témoin. Au delà de 1000 mg/l, ce phénomène serait progressivement « dépassé », incapable de contrer ce stress. *D. muscorum* de site calaminaire est continuellement exposé aux métaux. Il est possible que les spores, du fait d'un stress continu dès leur formation, ne puissent exprimer aussi efficacement ces mécanismes de compensation. Par contre l'incorporation d'acide fumarprotocétrarique dans le milieu permet d'obtenir la germination de spores sur un milieu contenant 5000 mg/l de nitrate de zinc.

Au sein du thalle, la fraction soluble des éléments traces n'occupe pas les mêmes sites : le cadmium est principalement intracellulaire, le cuivre et le zinc sont adsorbés sur des sites extracellulaires, enfin le plomb se répartit sur des sites intra- et extracellulaires. Ces résultats ont été démontrés à l'aide de la technique dite d'élution séquentielle que nous avons adaptée à partir des travaux de Branquinho *et al.* (1997 a, b).

#### LA TROISIÈME PARTIE PORTE SUR LE RÔLE DES ACIDES LICHÉNIQUES DANS LA TOLÉRANCE DE *D. MUSCORUM* AUX ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES.

Dans une étude antérieure, une complexation du zinc sous forme d'oxalate de zinc dihydrate avait été mise en évidence par EXAFS (Sarret *et al.*, 1998). En tout premier lieu, ces résultats montrent que l'environnement du zinc est principalement constitué de groupes carboxyles. Au sein de cet environnement, l'oxalate est la forme prédominante. Les résultats chromatographiques révèlent l'existence de l'acide fumarprotocétrarique, il convient de signaler que nous l'avons toujours mise en évidence que ce soit dans des échantillons provenant de sites sains ou de sites contaminés. Dans la littérature, sa présence n'est jamais mentionnée. On peut penser que cet acide est « une relique » du développement

parasitaire de ce lichen sur diverses espèces de *Cladonia*. Les chromatographies révèlent également l'existence d'une tache surnuméraire due à une substance organique chez tous les échantillons provenant des sites pollués en métaux. Elle possède des caractéristiques très proches des acides lichéniques. Les diverses réactions colorées tendent à rapprocher cette substance des acides lécanorique et diploschistésique. Les études spectroscopiques confirment ces résultats. L'attribution des pics en spectroscopie RMN et IR du spot surnuméraire nous a permis de mettre en évidence la nature polyphénolique des molécules. Nous avons observé des pics pouvant être attribués à la liaison ester entre des deux cycles aromatiques. L'absence d'argument spectroscopique sur la présence d'un groupe aldéhydique écarte *a priori* l'implication de l'acide fumarprotocétrarique. De plus, nous n'avons pas d'argument vis-à-vis de la liaison éther entre les deux cycles, caractéristique de cet acide..

L'étude des spectres RMN et IR semblent révéler que les acides lichéniques sont associés entre eux par des liaisons hydrogène. Les groupements carboxyliques paraissent engagés dans une liaison et former un sel. Cette observation tend à confirmer notre hypothèse de chélation du zinc par les acides lichéniques. Les acides phénoliques en général, sont reconnus comme des molécules présentant des propriétés antioxydantes. Les métaux sont des agents participant aux mécanismes de formation des espèces réactives de l'oxygène (ERO). Les éléments comme le Fer, le cuivre, le cadmium, et dans une moindre mesure, le zinc, peuvent participer à des mécanismes de génération d'espèces réactives de l'oxygène, par exemple des réactions de type Haber-Weiss. La chélation des éléments traces métalliques par les acides lichéniques en ferait des antioxydants secondaires au sens de Berset (1997). Les substitutions de H aromatiques par des OH pourraient mettre en évidence un second mécanisme antioxydant impliquant des radicaux hydroxyles. A partir de ces résultats, nous proposons le schéma réactionnel suivant (fig.1) :

- dans un premier temps, le zinc en solution perturberait les liaisons hydrogène entre les acides lichéniques ;
- cette perturbation faciliterait la chélation du zinc au niveau des groupements carboxyliques ;
- il peut y avoir une liaison entre plusieurs molécules d'acides lichéniques ;
- parallèlement, les éléments traces peuvent induire un stress oxydant conduisant à une substitution plus ou moins complète des protons aromatiques au sein d'un mécanisme antioxydant.

LA DERNIÈRE PARTIE ABORDE L'IMPACT CELLULAIRE DES ÉLÉMENTS TRACES NOTAMMENT PAR LEUR IMPLICATION DANS LE STRESS OXYDANT.

Ces éléments traces génèrent un stress oxydant chez *D. muscorum* car nous avons observé des différences significatives entre les thalles exposés et les thalles témoins.

Certains thalles présentent des dégâts membranaires que nous avons mis en évidence grâce aux concentrations de Malondialdéhyde (MDA) et de potassium extracellulaire. Cependant, par rapport aux concentrations en métaux dans les thalles, les résultats obtenus sont contradictoires avec les données de la littérature car nous aurions dû observer des réponses plus importantes de ces deux biomarqueurs. Les thalles les plus exposés ne présentent pas systématiquement les taux les plus élevés de MDA, par contre, chez les thalles faiblement exposés (sur terrils miniers), ces taux sont importants. Nous pouvons attribuer ce phénomène à la nature de l'exposition et/ou à une différence entre les populations.

Les analyses de régression révèlent que c'est principalement le zinc intracellulaire qui a tendance à provoquer la formation de MDA chez les lichens exposés *in situ*. Statistiquement, nous n'avons pu mettre en évidence qu'une tendance. Il est possible qu'une partie du zinc se fixe sur les organites intracellulaires et favorise la peroxydation des lipides membranaires.

Les résultats des dosages du potassium extracellulaire chez les lichens exposés sont à interpréter avec précaution. Au sein des thalles, les différents éléments peuvent se trouver concentrés sous forme particulaire (surtout pour les échantillons provenant de terrils miniers) ce qui augmente artificiellement le taux de potassium extracellulaire. Les expériences menées sur des lichens exposés *in vitro* au nitrate de zinc apportent la confirmation d'une toxicité du zinc : atteintes membranaires mais non imputables à une peroxydation lipidique. Il est intéressant de noter que les thalles provenant des sites les plus exposés ne montrent qu'une très faible atteinte membranaire lorsqu'ils sont soumis à une exposition au nitrate de zinc, suggérant la mise en place de mécanismes de tolérance.

Nous avons observé que les teneurs en glutathion (GSH) sont plus élevées chez les lichens exposés que chez les lichens témoins. Nous avons même observé que le taux de glutathion a tendance à augmenter avec la contamination. Parmi les variables dégagées par l'analyse de régression, nous retiendrons le plomb et le cadmium intracellulaires ainsi que le zinc extracellulaire. Il semblerait donc que les mécanismes de tolérance aux métaux chez ce lichen fassent appel à la synthèse de phytochélatines. Ces molécules auraient pour but de séquestrer les éléments traces pour en réguler la concentration et/ou limiter les effets délétères. A notre connaissance, il n'existe pas à ce jour de références sur la production de phytochélatines chez les lichens.

Les variations de l'activité totale des superoxydes dismutases (SOD) sont expliquées pour 73% par la teneur en cadmium intracellulaire. Cette activité est significative chez les lichens originaires des sites métallifères contrairement aux lichens des terrils. Au cours des expériences *in vitro*, nous n'avons pas observé de variations de la concentration en GSH ni de l'activité des SOD attribuables au zinc.

La figure 2 est la représentation de l'ensemble des mécanismes évoqués chez les thalles de *Diploschistes muscorum* exposés *in situ*. Les éléments traces issus des particules et arrivant par dépôts directs sur le thalle se répartissent au sein des différents compartiments. Ils réagissent avec les différents constituants du thalle comme les acides lichéniques et oxalique. Ils peuvent provoquer un stress oxydant qui s'exprime par des atteintes membranaires (intra- et extracellulaires) ou à la mobilisation d'enzymes comme les SOD. Nos résultats suggèrent l'existence de mécanismes de tolérance aux éléments traces chez les thalles de *D. muscorum* les plus exposés.

## BIBLIOGRAPHIE

BERSET C., 1997 – Les antioxydants phénoliques. In : *Conférence aux 3èmes Journées de Formation sur les polyphénols végétaux organisées par le Groupe Polyphénols*, 29-30 Janvier, Paris.

BRANQUINHO C., BROWN D.H., CATARINO F., 1997 a – The cellular location of Cu in lichens and its effects on membrane integrity and chlorophyll fluorescence. *Environmental and Experimental Botany* 38 : 165-179.

BRANQUINHO C., BROWN D.H., MAQUAS C., CATARINO F., 1997 b – Lead (Pb) uptake and its effects on membrane integrity and chlorophyll fluorescence in different lichen species. *Environmental and Experimental Botany* 37 : 95-105.

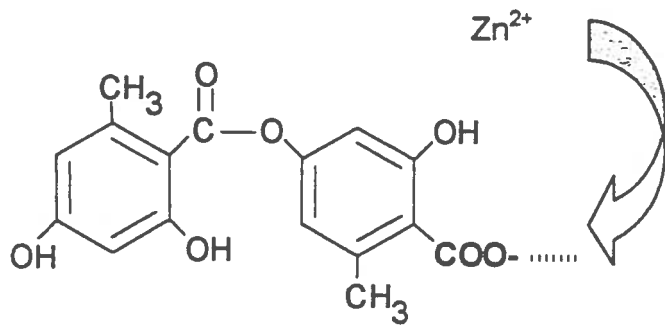
CUNY D., VAN HALUWYN C., CARON B., LANGUEREAU F., 1997 – Stimulation of ascospore germination by fumarprotocetraric acid in *Diploschistes muscorum* (Scop.) R. Sant. (Lichenized *Ascomycotina*) *Nova Hedwigia* 64(1-2) : 103-110.

LAMBINON J., MAQUINAY A., RAMAULT J.L., 1964 – La teneur en zinc de quelques lichens calaminaires belges. *Bulletin du Jardin Botanique d'Etat de Bruxelles* 34(11) : 273-282.

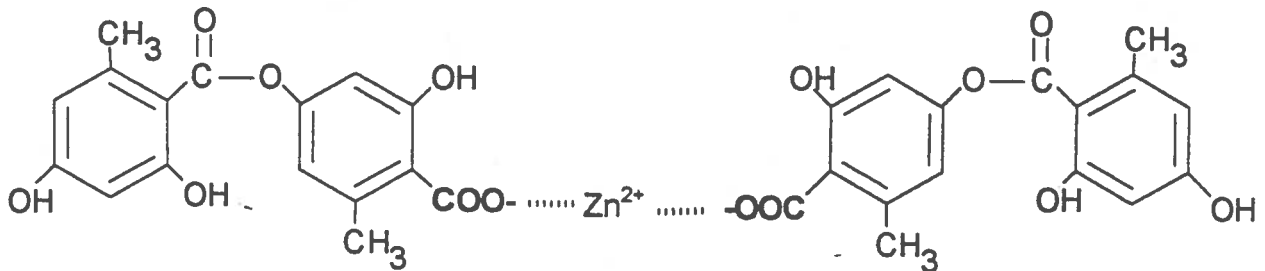
SARRET G., MANCEAU A., CUNY D., VAN HALUWYN C., DERUELLE S., HAZEMANN J.L., SOLDI Y., EYBERT-BERARD L., MENTHONNEX J.J., 1998 – Mechanism of lichen resistance to metallic pollution. *Environmental Science and Technology* 32(21) : 3325-3330.

VAN HALUWYN C., LANGUEREAU F., CUNY D., 1995 – Quelques lichens se développant sur *Armeria maritima* Willd. ssp. *halleri* (Wallr.) Rothm. *Documents mycologiques* 25(98-100) : 459-464.





- 1) Perturbation de liaisons hydrogènes intermoléculaires. Compétition ionique.
- 2) Installation de la chélation du zinc.

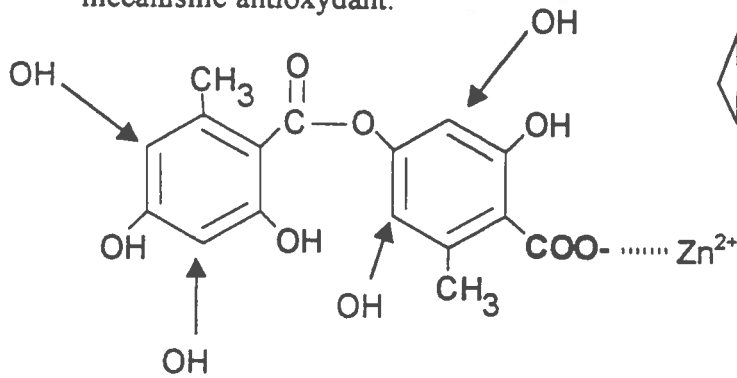


- 3) Mise en place d'un mécanisme générant des espèces réactives de l'oxygène, par un mécanisme du type réaction d'Haber Weiss :
  - grâce au zinc engagé à proximité des acides ;
  - grâce au zinc libre dans l'environnement proche des molécules

Ces mécanismes peuvent entre autre produire des radicaux hydroxyles :



- 4) Mécanisme de substitution des protons aromatiques par les OH : mécanisme antioxydant.



- 4') Rupture de certaines liaisons intramoléculaires



- 5) Suite à la substitution complète des H aromatiques, les mécanismes se poursuivent sur les  $\text{CH}_3$  (celui du cycle B, puis du cycle A)

- 5') Mécanismes de substitution sur les fragments.

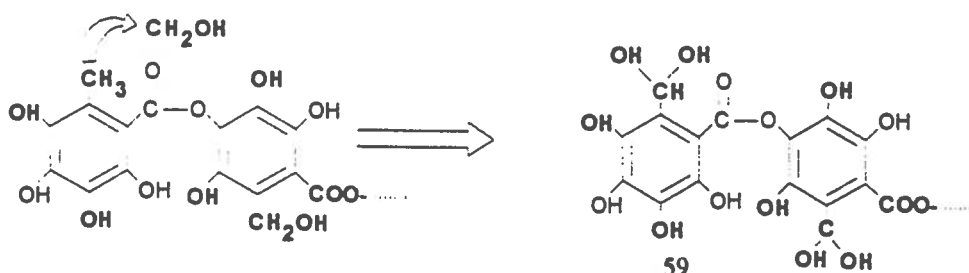


Fig. 1





# Trophées Décision Environnement

La remise des Trophées aura lieu en octobre 1999 à Lille dans le cadre du Forum de l'Environnement

## Les éco-acteurs du Nord-Pas-de-Calais 1999

Pour la première fois en Nord-Pas-de-Calais, Décision Environnement a réuni un jury d'experts pour distinguer six porteurs de projets environnement innovants et reproductibles.

### Les lauréats

#### Catégorie entreprise



Frédéric Barraud (Selva) a créé la seule plate-forme de valorisation des déchets bois de la région.

#### Catégorie collectivité



Daniel Delwarde et Daniel Woutisseth (Proville) transforment un bois communal dévasté en un parc écologique urbain

#### Catégorie association



Jean-Louis Wattez (Lestrem-Nature) est à l'origine du premier contrat de corridor biologique de la région

#### Mention spéciale



Bernard Lefèvre (Gritti) a obtenu des tarifs incitatifs pour que les entreprises de son secteur puissent traiter leurs déchets toxiques

#### Mention spéciale



Jean-Pierre Gaberiaux (Lycée Pablo-Picasso d'Avion) réalise une cartographie de la qualité de l'air du Nord-Pas-de-Calais à l'aide des lichens

### Il transforme ses lycéens en observateurs de la qualité de l'air



Jean-Pierre Gaberiaux, professeur de biologie au lycée Pablo-Picasso d'Avion (62) Mention spéciale



Prélèvements de lichens réalisés par des lycéens du Lycée Pablo-Picasso d'Avion. La cartographie de la qualité de l'air en Nord-Pas-de-Calais est réalisée à 25 %.

Au début, ce n'était qu'une très bonne idée pour prolonger les cours de biologie qu'il dispense au lycée Pablo-Picasso d'Avion (62). A partir de 1994, Jean-Pierre Gaberiaux décide en effet d'initier ses élèves de première scientifique à son hobby : les lichens. Ces végétaux incrustés dans l'écorce des arbres sont connus pour être des bioindicateurs de la qualité de l'air, très

réactifs aux polluants. « Constater leur présence, leur taux de recouvrement, leur abondance, les associations entre telle et telle espèce permet de révéler des niveaux de pollution dans les zones étudiées et d'établir une cartographie », explique Jean-Pierre Gaberiaux. A partir d'une méthode simplifiée, il emmène ses élèves les mercredis après-midi établir des relevés dans la partie sud du bassin minier, sur une superficie de 220 km<sup>2</sup>. Exposition, comptes rendus détaillés, premiers mail-lages cartographiés...

L'inspecteur d'Académie est séduit par ce projet. Il s'active pour trouver les crédits et faire éditer la brochure du professeur, qui contient, outre la méthode, des travaux pratiques réalisables par des lycéens. Tout s'enchaîne alors : Jean-Pierre Gaberiaux prend en charge des stages de formation pour les enseignants. Objectif : répandre son virus pour réaliser le grand œuvre, la cartographie de toute la région ! Et pour y arriver tous les média sont bons. Les brochures sont épuisées ? Internet arrive à pic pour héberger un site interactif dédié aux lichens, accueillant les différentes carto-

graphies de la qualité de l'air adressées par ses collègues. Difficile d'y mettre toutes les photos prises lors des sorties sur le terrain ? Un projet de CD-Rom est en cours, financé par IUFM de Villeneuve d'Ascq pour l'année prochaine. En trois ans, une vingtaine de lycées et soi-

xante collèges sur les 800 établissements publics régionaux ont cartographié 2 000 mailles, soit 25 % du territoire du Nord-Pas-de-Calais. « Un bon résultat, mais il reste encore beaucoup à faire », s'impatiente Jean-Pierre Gaberiaux qui voit déjà son projet faire des petits dans d'autres régions. ■

Bruno Costemalle

Parution dans la revue **DÉCISION ENVIRONNEMENT** de mai 1999  
Hors-série Nord – Pas de Calais

Remise officielle des distinctions lors de la soirée d'ouverture du festival **ECOFILM** du film de l'environnement