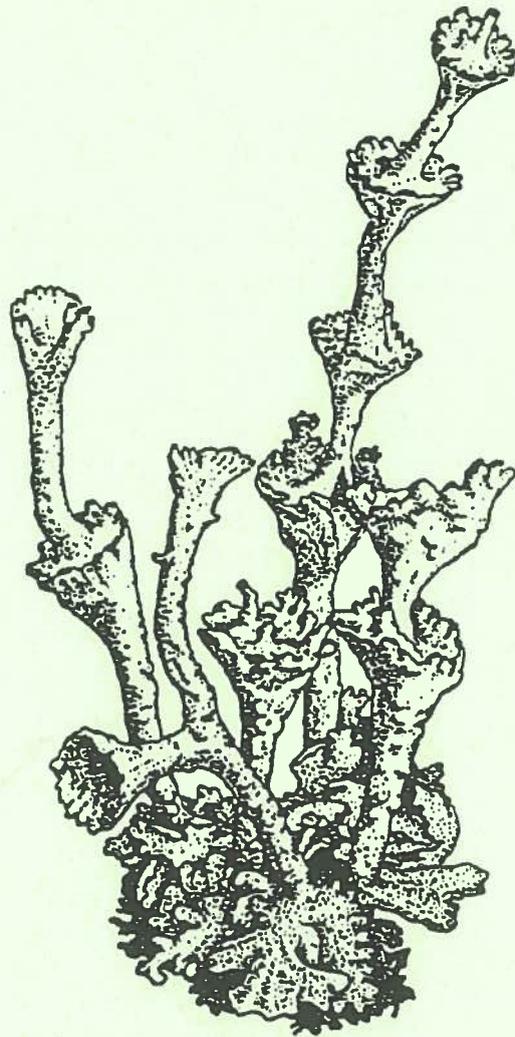


Bulletin d'informations
de
l'Association Française de Lichénologie



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 1998

SOMMAIRE

ARTICLES

LIKENOJ DE OKCIDENTA EUROPO : le genre STEREOCAULON Hoffm. d'après G. Clauzade & C. Roux. Traduction de Paulette RAVEL. 1 à 11

Deux nouvelles stations françaises d'un lichen peu connu : Leptogium coralloideum (Meyen & Flotow) Vainio par MASSON D. 13 à 15

Effets de l'exclusion sélective du rayonnement (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 la thèse de BACHEREAU F. 17 à 25

Mesures de pH et de conductivité des écorces : étude comparative des méthodes d'analyse avec ou sans broyage par Juliette ASTA et Isabelle LEGRAND 27 à 33

Cartographie des lichens corticoles urbains et évaluation de l'air par les collègues et lycées du Nord-Pas de Calais par GAVERIAUX J.P. 35 à 50

Etudes de la qualité de l'air par les lichens dans les quatre départements de Bourgogne par DAILLANT O. 51 à 55

ACTIVITÉS DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE DE LICHÉNOLOGIE

Compte rendu de l'assemblée générale 1998 par DAILLANT O. 57 à 60

Propositions de projets concernant l'A.F.L. – Assemblée générale du 12 septembre 1998 par REMY C. 61 à 62

Stage de bryologie et de lichénologie du 24 au 31 août 1998 à Meymac (Corrèze) par BEGAY R. 63

INFORMATIONS: Recherche de spécimens de Graphidaceae par DENNETIERE B. 64

ASSOCIATION FRANÇAISE DE LICHÉNOLOGIE

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

DEUX NOUVELLES STATIONS FRANÇAISES D'UN LICHEN PEU CONNU : *LEPTOGIUM CORALLOIDEUM* (Meyen & Flotow) Vainio

Didier MASSON
386, rue des Flamboyants
F-40600 Biscarosse

Largement répandu dans les régions tropicales et tempérées chaudes (GALLOWAY & JØRGENSEN, 1995), ce lichen foliacé n'a été signalé pour la première fois en Europe que récemment, dans les Iles britanniques (KROG, 1988). Il ne figure pas dans la flore des Lichens d'Europe occidentale de CLAUZADE & ROUX (1985), mais il est en revanche mentionné dans le 3ème supplément (CLAUZADE & ROUX, 1989). La flore des lichens des Iles britanniques de PURVIS *et al.* (1992) ne le cite pas ; le Livre Rouge des Lichens de Grande Bretagne le classe, quant à lui, dans la catégorie « Insuffisamment documenté » (CHURCH *et al.*, 1996).

Morphologiquement très proche de *Leptogium brebissonnii*, avec lequel il cohabite parfois, il s'en distingue à l'état stérile par son thalle de couleur davantage bleutée et par ses isidies cylindriques coralloïdes, concolores au thalle et fréquemment réparties sur les plis de sa face supérieure (JØRGENSEN 1994, GALLOWAY & JØRGENSEN, 1995).

D'après JØRGENSEN (1994), qui a fait le point sur sa répartition européenne, il s'agit d'une espèce méditerranéo-atlantique. Pour la France, trois récoltes anciennes sont signalées dans le Gard, l'Hérault et le Var (cf. figure).

Nous avons eu, en 1997, la bonne fortune de découvrir deux localités varoises abritant cette espèce, situées de part et d'autre du massif de la Colle du Rouet (Estérel occidental).

Localité 1 : il s'agit d'un petit vallon orienté nord-sud et séparant deux collines de la dépression permienne de la basse vallée de l'Argens (commune de Roquebrune-sur-Argens, alt. 90 m, coordonnées en décigrades : E 4,77-48,34). Plusieurs thalles stériles de *Leptogium coralloideum* ont été trouvés à la base de deux vieilles cépées de *Quercus ilex*, le plus souvent en exposition nord, dans une subéraie claire à *Erica arborea*, *Arbutus unedo*, *Phillyrea* spp., *Viburnum tinus*, etc.. Le pH du rhytidome, à proximité de l'un de ces thalles, avait une valeur de 6,7. Bryophytes et macrolichens associés appartiennent aux espèces suivantes :

<i>Frullania dilatata</i>	<i>Pannaria mediterranea</i>
<i>Hypnum cupressiforme</i>	<i>Normandina pulchella</i>
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	<i>Parmelia caperata</i>
<i>Zygodon baumgartneri</i>	<i>Parmelia perlata</i>
<i>Collema subflaccidum</i>	<i>Phaeophyscia chloantha</i>
<i>Collema subnigrescens</i>	

Localité 2 : Haute vallée de l'Endre, entre la forêt communale de St-Paul-en-Forêt et la forêt domaniale de la Colle du Rouet (commune de St-Paul-en-Forêt, alt. 180 m, coordonnées

en décigrades : E 4,79-48,40). La végétation est constituée essentiellement d'une chênaie pubescente à *Pteridium aquilinum*, *Cistus salvifolius*, *Genista hispanica*, etc.. *Leptogium coralloideum* rencontré, à l'état stérile, à la base de trois troncs de *Quercus pubescens*, en orientation nord ou nord-ouest. Le rhytidome de l'un deux, à proximité immédiate d'un thalle bien développé, avait un pH de 6,6. Les thalles de *Leptogium* sont accompagnés des bryophytes et macrolichens suivants :

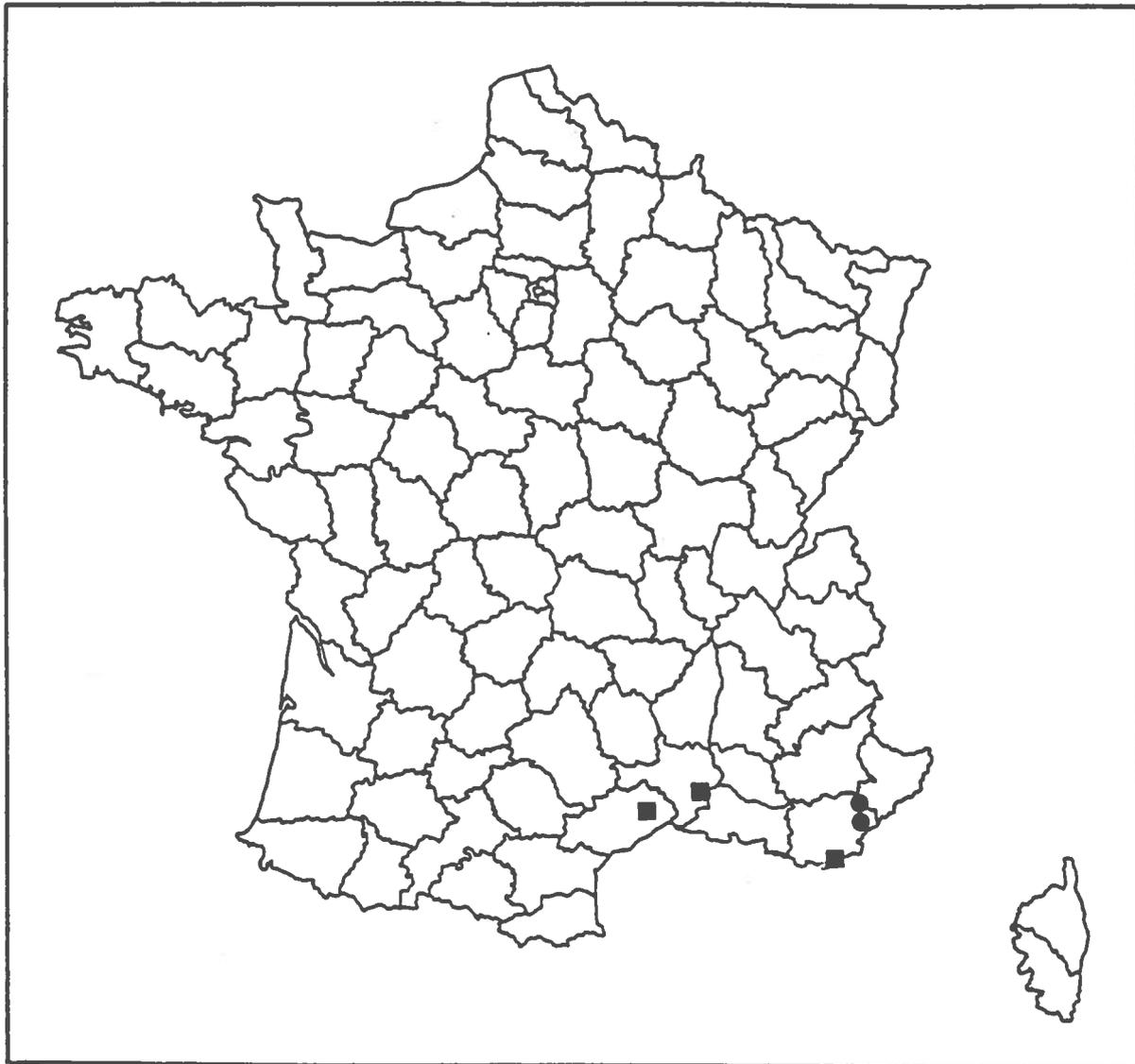
<i>Frullania dilatata</i>	<i>Degelia atlantica</i>
<i>Leucodon sciuroides</i>	<i>Koerberia biformis</i>
<i>Tortula laevipila</i>	<i>Lobaria amplissima</i>
<i>Tortula papillosa</i>	<i>Physconia perisidiosa</i>
<i>Collema furfuraceum</i>	

Dans cette même localité, existe *Leptogium brebissonni* (sur *Quercus pubescens*), de même qu'une autre intéressante espèce à distribution méditerranéo-atlantique : *Nephroma tangeriense* (épiphléode et épilithique).

La localisation des thalles de *Leptogium coralloideum* à la base, plus ou moins moussue, de troncs d'arbres à écorce rugueuse, est en accord avec ce qui est connu de l'écologie de l'espèce en Europe méditerranéenne (JØRGENSEN, 1994).

BIBLIOGRAPHIE

- CHURCH, J.M., COPPINS, B.J., GILBERT, O.L., JAMES, P.W. & STEWART, N.F., 1996. *Red Data Books of Britain and Ireland : Lichens. Volume 1 : Britain*. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, 84p.
- CLAUZADE, G. & ROUX, C., 1985. Likenoi de Okcidenta Eùropo. Ilustrita determinlibro. *Bull. Soc. bot. du Centre-Ouest*, NS, numéro spécial 7, 893p.
- CLAUZADE, G. & ROUX, C., 1989. Likenoi de Okcidenta Eùropo. Suplemento 3a. *Bull. Soc. linn. Provence* 40:73-110.
- GALLOWAY, D.J. & JØRGENSEN, P.M., 1995. The lichen genus *Leptogium* (*Collemataceae*) in Southern Chile, South America. *Contr. Hon. G. Follman* : 227-247.
- JØRGENSEN, P.M., 1974. Further notes on European taxa of the lichen genus *Leptogium*, with emphasis on the small species. *Lichenologist* 26(1):1-29.
- KROG, H., 1988. *Leptogium coralloideum* new to Europe. *Graphis Scripta* 2:40.
- PURVIS, O.W., COPPINS, B.J., HAWKSWORTH, D.L., JAMES, P.W. & MOORE, D.M., 1992. *The lichen Flora of Great Britain and Ireland*. Natural History Museum Publications and The British Lichen Society, London, 710p.



Etat des connaissances sur la distribution française de *Leptogium coralloideum*
(maillages de 0,4 x 0,2 gr.)

D'après JØRGENSEN (1994) (carrés noirs) et la présente note (ronds noirs)

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

**Frédéric BACHEREAU
Centre de Biologie Alpine Université Joseph Fourier Grenoble I
F-38041 Grenoble Cedex**

INTRODUCTION

Parmi les nombreuses perturbations anthropiques, la pollution de l'air représente actuellement une préoccupation majeure. Cette pollution a des effets qui s'étendent de la troposphère jusqu'à la stratosphère qui est localisée entre 10 et 50 km d'altitude. C'est l'augmentation de l'irradiation UV-B liée à la réduction de la couche d'ozone stratosphérique qui a suscité ce travail de thèse dont les résultats essentiels sont présentés ici.

La molécule d'ozone, constituée de 3 atomes d'oxygène (O₃), absorbe les radiations comprises entre 200 et 320 nm, et se forme principalement dans la haute stratosphère. La diminution de la concentration en ozone stratosphérique entraîne une augmentation de l'irradiation UV-B terrestre, augmentation estimée à 0,5 à 1 % par an, selon les stations, dans l'hémisphère sud. Dans l'hémisphère nord, les particules de gaz polluants masquent cette croissance, jouant ainsi le rôle d'écran protecteur. Il a été démontré que les chlorofluorocarbures ou CFC libérés par l'activité humaine et qui s'accumulent dans la stratosphère, sont principalement responsables de la réduction de la couche d'ozone.

Les UV-B sont connus pour avoir un certain nombre d'effets nuisibles sur la santé humaine. Les UV-B altèrent l'ADN, provoquent des tumeurs malignes de la peau ainsi que des cataractes. Les réactions aiguës aux UV-B incluent l'érythème (coups de soleil), les dermatoses solaires (éruptions épidermiques induites par les UV), la conjonctivite et la kératite (inflammation de la conjonctive et de la cornée de l'oeil). L'apparition simultanée de la conjonctivite et de la kératite, appelée la cécité des neiges, ne s'observe qu'en haute montagne en terrain neigeux. Le bronzage immédiat et le vieillissement prématurée de la peau sont principalement induits par les UV-A.

L'action des radiations UV-B sur les végétaux est liée à plusieurs mécanismes, dont l'absorption de ces radiations par les acides nucléiques, les protéines, les lipides membranaires et d'autres macromolécules, la formation de radicaux libres ainsi que

l'influence de plusieurs photorécepteurs UV-B qui contrôlent l'expression de certains gènes. L'effet des radiations UV-B se traduit essentiellement par la diminution de l'activité photosynthétique et de la croissance, des modifications de la morphologie et de la phénologie, la stimulation des pigments photoprotecteurs, et l'altération de la composition chimique du végétal.

Jusqu'à présent, les expérimentations menées en environnement artificiel, sous serres et en laboratoires, ont surestimé l'effet des UV-B sur les végétaux car elles ont été réalisées sous de faibles niveaux de lumière visible et d'UV-A, radiations indispensables aux phénomènes dit de photoréactivation, c'est à dire à l'activation des mécanismes de réparation des dégâts causés par les UV-B. Ces résultats approximatifs obtenus en environnements très simplifiés et donc irréalistes doivent être confirmés et affinés in situ, c'est à dire en conditions écologiques réalistes.

Nous avons l'opportunité de bénéficier de la Station Alpine du Lautaret pour conduire cette expérimentation en altitude. C'est pourquoi nous avons choisi d'expérimenter au Jardin Alpin du Col du Lautaret (Dir. CADEL, UJF), à 2058 m d'altitude, en utilisant des filtres solaires sélectifs, afin de profiter de la lumière solaire, source naturellement importante d'UV-B et de réaliser les premiers tests expérimentaux au chalet-laboratoire (Dir. BLIGNY, CNRS, CENG).

MATERIELET METHODES

1/ Les modèles végétaux

Trois modèles végétaux ont été retenus qui présentaient des caractéristiques intéressantes et ont permis d'engager une collaboration interdisciplinaire fructueuse avec divers laboratoires:

Nous avons étudié les réponses physiologiques et biochimiques d'un lichen terricole, *Cetraria islandica* (L.) Ach. qui présente une pigmentation prononcée avec l'altitude (travaux BACHEREAU et ASTA). Le thalle de ce lichen a une structure interne stratifiée qui n'est pas sans rappeler celle du mésophylle des végétaux supérieurs. Le groupe des lichens présente des particularités biologiques qui en font un modèle expérimental intéressant. Ces végétaux inférieurs, capables de reviviscence, ne possèdent ni cuticule ni épiderme et ont une croissance très faible. On pense que les composés phénoliques qui s'accumulent sous forme de cristaux extracellulaires dans le cortex de nombreuses espèces, protègent la couche algale sous-jacente contre les radiations UV.

Classiquement, chez les végétaux supérieurs, ce sont des composés phénoliques solubles, de type flavonoïde, qui s'accumulent dans les vacuoles des cellules épidermiques, protégeant ainsi le parenchyme palissadique sous-jacent contre les radiations UV. A côté des lichens, deux autres modèles végétaux ont été utilisés : le Pois cultivé (*Pisum sativum* L.), afin de tester l'efficacité du système expérimental, sur un paramètre biologique simple et intégrateur, la croissance végétative (travaux conduits avec M. TISSUT, UJF Grenoble I), et l'Orpin blanc (*Sedum album* L.) car l'accumulation vacuolaire nocturne de malate, qui caractérise le métabolisme CAM (Crassulacean Acid Metabolism), a été observé chez plusieurs espèces alpines de *Sedum*, cultivés en serre à basse altitude, alors que des individus présents en altitude étaient dépourvus de métabolisme CAM et étaient en outre fortement pigmentés en rouge (travaux réalisés en collaboration avec G. MARIGO).

2/ La méthode expérimentale (Fig. 1)

L'analyse microclimatique de l'Ubac montre que les conditions lumineuses y sont très proches de celles d'un Ubac naturel, l'irradiation moyenne journalière étant d'environ 12 % par rapport à celle de l'Adret. Les analyses microclimatiques ont montré que la température moyenne était très similaire sous l'ensemble des filtres. L'effet de serre sous les filtres a été estimé à 0,5°C. L'Ubac présentait un microclimat moyen plus frais de 0,5°C.

C'est en collaboration avec le Laboratoire de physique IRSA (CHIRON DE LA CASINIÈRE, UJF) que nous avons calculé l'irradiation solaire atteignant chaque lot végétal, placé sous les filtres, dans trois bandes spectrales (UV-B, UV-A et PAR = radiations actives pour la photosynthèse). En effet, sous les filtres, les échantillons sont exposés au rayonnement diffus qui pénètre par le Nord (côté le plus ouvert), mais aussi au rayonnement direct qui pénètre en début de matinée et en fin d'après-midi.

Pour chaque filtre, on a ainsi obtenu l'irradiation cumulée journalière sous le filtre, en % de l'irradiation extérieure, et ceci pour la bande UV-B, UV-A et PAR. Concernant le filtre UV-B, les lots végétaux étaient situés dans une zone soumise à environ 10 à 30 % de l'irradiation UV-B extérieure. L'irradiation ambiante, dans les bandes UV-A et PAR était très peu affectée par la présence du filtre, les échantillons étant soumis à environ 75 à 85 % de l'irradiation UV-A extérieure et 90 à 95 % de la PAR extérieure.

L'estimation du taux de filtration induit par le filtre UV-B, c'est à dire le pourcentage d'irradiation sous ce filtre par rapport à celui du filtre témoin, est de l'ordre de 3 à 5, facteur variable selon l'emplacement des échantillons. Les taux de filtration obtenus pour le filtre UV-B et A, pour chaque bande UV-B et UV-A, sont également de l'ordre de 3 à 5. Cependant, ces premiers calculs n'ont pas tenu compte de la présence des brise-vent, et ont donc surestimé à la fois le degré d'exposition des échantillons sous les filtres et son hétérogénéité.

RESULTATS ET DISCUSSION

1/ La croissance de *Pisum sativum*

Les jeunes plantules de pois âgées de 4 jours ont été transplantées et soumises à 10, 20 et 30 jours de traitement. Après la récolte, la masse fraîche de la tige, des pétioles et des organes foliacés de chaque plantule prélevée, a été déterminée. Par la suite, la croissance a été exprimée par unité de matière sèche (MS).

Après 30 jours de traitement à 2100 m d'altitude, l'exclusion des UV-B a induit une augmentation de 26 % de la biomasse épigée totale, par rapport au lot Filtre témoin, alors que l'exclusion de la bande UV-B et A a induit une augmentation de 45 %, qui est également significative, mais qui n'est pas différente de l'effet UV-B, ce qui indique que même si l'effet UV-A semble manifeste, il n'est pas significatif.

L'exclusion des UV-B ayant entraîné une augmentation de croissance, on en déduit que la présence de ces radiations inhibe la croissance.

La sensibilité de la fonction et des composants photosynthétiques du pois aux UV-B était déjà connue, mais c'est la première fois qu'elle est démontrée in situ par l'utilisation de filtres UV sélectifs, c'est à dire en conditions écologiques réalistes.

Cette étude de la croissance végétative épigée de plantules de Pois a permis, outre l'obtention de résultats originaux, de tester avec succès la fiabilité du dispositif expérimental, mettant ainsi en évidence la faisabilité et l'intérêt d'une telle expérimentation sur le terrain.

2/ Les biosynthèses phénoliques et le métabolisme CAM chez *Sedum album*

Il est important de rappeler que cette plante de la famille des Crassulacées, présente un métabolisme photosynthétique intermédiaire de type C₃-CAM appelé CAM "cycling". Elle présente des variations journalières de teneur en malate qui sont caractéristiques du métabolisme CAM, mais elle maintient ouverts ses stomates durant la journée, fonctionnant ainsi en mode C₃. Par contre, les stomates sont fermés durant la nuit. Si le mode CAM est une stratégie d'adaptation à la sécheresse, la signification éco-physiologique du mode CAM "cycling" reste obscure et semble réduite à un mécanisme de recyclage nocturne du CO₂ respiratoire.

Les lots de *Sedum album* qui ont été transplantés au Lautaret provenaient d'une population acclimatée durant 10 mois à basse altitude. Le lot témoin de basse altitude ainsi que les lots transplantés ont été échantillonnés après 70 jours de traitement. L'importance du métabolisme CAM a été déterminée en comparant la teneur de malate mesurée au crépuscule et celle mesurée à l'aube. La teneur en composés phénoliques totaux (CPT) et en cyanidine-3-glucose, un pigment anthocyane, ont été déterminés sur les échantillons prélevés à l'aube. Différentes techniques spectrophotométriques ont été utilisées pour les analyses quantitatives.

La transplantation altitudinale, ainsi que l'exclusion sélective des radiations du Visible et de l'UV-B ont permis de mettre en évidence un "antagonisme" apparent entre le métabolisme CAM et le métabolisme phénolique, "antagonisme" qui pourrait expliquer la disparition du métabolisme CAM observée chez des plants de *Sedum* exposés en altitude.

Cette corrélation inverse entre le métabolisme CAM et le métabolisme phénolique, a déjà été observée chez *Kalanchoe blossfeldiana*, une autre plante de la famille des Crassulacées, sous l'action de la photopériode. Par contre, l'antagonisme apparent observé chez *Sedum album*, sous contrôle des radiations du Visible et de l'UV-B, est un phénomène qui semble inconnu jusqu'à présent. On peut émettre deux hypothèses pour expliquer cet antagonisme apparent lié à la lumière:

- la forte irradiation solaire d'altitude inhibe directement certaines enzymes du métabolisme CAM telles la PEP carboxylase et la NADP-MDH, entraînant alors une synthèse plus faible d'acide malique pendant la période d'obscurité;

- il existe une compétition (antagonisme réel) entre le métabolisme CAM et le métabolisme phénolique pour un même précurseur provenant de la glycolyse: le PEP (phosphoénolpyruvate). Dans la biosynthèse de l'acide malique, le PEP est le substrat sur lequel vient se fixer le CO₂ par l'intermédiaire de la PEP carboxylase. Le PEP étant un composé transitoire qui se trouve en très faible quantité dans la cellule, il serait "détourné" vers le métabolisme phénolique lorsque ce dernier est stimulé sous l'action des fortes irradiations solaires présentes en altitude. Le PEP doit en effet être intégré à deux niveaux dans la voie du shikimate.

3/ Les réponses physiologiques et biochimiques de *Cetraria islandica*

L'interprétation rigoureuse des réponses biologiques de ce lichen a nécessité de vérifier plusieurs hypothèses dont l'étude a fourni, par ailleurs, des résultats originaux. Après avoir identifié la nature de quelques substances lichéniques utilisées comme marqueurs, nous avons étudié l'influence des conditions de stockage des thalles, à température ambiante et au congélateur, puis la variabilité biologique, c'est à dire l'état initial des différents lots avant le début du traitement. Enfin, outre l'analyse des effets à moyen terme des filtres solaires sur ce lichen, nous avons étudié les mécanismes d'adaptations éventuels durant le cycle circadien.

Les transplants de *Cetraria islandica* ont été analysés après 20 jours et 101 jours de traitement. Les capacités photosynthétiques et respiratoires ont été analysés au moyen d'une électrode à oxygène de Clark. Puis les thalles ont subi une extraction acétonique, les composés phénoliques extraits étant séparés, quantifiés et identifiés pour deux d'entre eux par HPLC. Enfin, le contenu en chlorophylles et caroténoïdes des thalles a été extrait par le DMSO puis quantifié par spectrophotométrie. Des analyses par RMN (Résonance Magnétique Nucléaire) du ^{13}C et du ^{31}P ont été réalisés avec BLIGNY afin d'estimer le métabolisme général des transplants en fin de traitement.

3.1/ Identification des composés phénoliques (CP)

La nature phénolique des 10 substances lichéniques séparés par HPLC a été confirmée par le test du Polyclar, un absorbant qui fixe sélectivement les composés phénoliques. Le chromatogramme HPLC de l'extrait acétonique mis en contact avec le Polyclar montre que ce dernier a fixé l'ensemble des 10 composés identifiés chez ce lichen, démontrant ainsi leur nature phénolique. On peut rappeler que 7 composés phénoliques avaient déjà été répertoriés chez cette espèce.

La substance dominante du thalle de *Cetraria islandica*, l'acide fumarprotocétrarique, est facilement identifiée par chromatographie sur couche mince (CCM). La bande correspondante à cette molécule a été récupérée et éluée, puis chromatographiée par HPLC. Il s'avère que le pic dominant du chromatogramme HPLC, le n°7, correspond bien à cette bande, c'est à dire à l'acide fumarprotocétrarique. La bande récupérée sur la couche mince n'était pas pure et contenait également 2 autres molécules correspondants aux pics n°5 et n°6, ce qui illustre au passage les limites de séparation de la CCM à une dimension.

La substance la plus hydrophobe de l'extrait acétonique, le pic n° 10, présentait un index de rétention (RI) très proche d'un des composés déjà répertorié chez cette espèce: la chloroatranorine. La chromatographie par HPLC d'une solution commerciale, un mélange d'atranorine (RI=38) et de chloroatranorine (RI=42) a permis de confirmer que ce pic n° 10 correspond bien à la chloroatranorine.

3.2/ Influence du cycle circadien

L'influence du cycle circadien a été estimée durant une journée ensoleillée de fin Septembre. Le lot Adret, exposé depuis 3 mois au Lautaret, a été échantillonné à 6h00, 12h00 et 17h00 heure solaire. Il faut rappeler ici la présence de trois périodes d'arrosage, à 5h00, 13h00 et 21h00 heure solaire.

Il n'y a pas d'évolution significative durant la journée des capacités photosynthétiques et respiratoires ainsi que des teneurs en chlorophylle a et caroténoïdes. Par contre, la teneur en chlorophylle b est multipliée par 3 entre 6h00 et 12h00, puis diminue de 31 % entre 12h00 et 17h00, cette chute pouvant s'expliquer par une dégradation liée à l'exposition à de fortes irradiations solaires après l'arrosage de 13h00.

Egalement, la teneur en CPt augmente significativement de 23 % entre 6h00 et 12h00 et de 50 % entre 6h00 et 17h00. Sept des 10 CP analysés, y compris l'acide fumarprotocétrarique et la chloroatranorine, présentent une augmentation importante de leur teneur au cours de la journée, augmentation variant de 40 à 90 %. Ces observations renforcent l'hypothèse de la fonction photoprotectrice de ces substances lichéniques aromatiques, contre les radiations UV-B, et suggèrent l'existence d'un mécanisme de protection cyclique ("turn-over") lié au cycle circadien.

Ces résultats tendent à montrer que la protection de l'appareil photosynthétique se ferait plutôt par l'augmentation de la teneur en pigments photoprotecteurs que par une stratégie poïkilohydrique d'évitement.

Si l'on considère le fait que le cortex supérieur de certains lichens, du genre *Peltula*, filtre 90 % et plus de la lumière incidente sur le thalle, on peut se demander alors si la lumière ne devient pas un facteur limitant de la photosynthèse.

Les lichens étant physiologiquement actifs principalement en début de matinée, quand l'irradiation solaire est faible, une augmentation de la teneur en chlorophylle b pourrait permettre d'accroître l'absorption des radiations actives pour la photosynthèse, compensant ainsi l'effet obscurcissant de l'accumulation des polyphénols dans le cortex supérieur.

Des études supplémentaires sont nécessaires afin d'analyser l'influence éventuelle de l'irrigation et d'amorcer une explication.

3.3/ Effets de l'exclusion sélective du rayonnement solaire

Les effets de la filtration sélective du rayonnement solaire sur ce lichen terricole ont été analysés après 20 et 101 jours de traitement.

Après 3 mois de traitement au Lautaret, les différents traitements n'ont pas modifié significativement les capacités respiratoires et photosynthétiques brutes par unité de chlorophylles a+b, ce qui met en évidence la remarquable capacité d'adaptation de ces végétaux.

L'analyse des données brutes montre que 4 des 6 lots étaient en bonne santé, tandis que les lots Filtre UV-B et surtout Filtre témoin présentaient un affaiblissement de leur activité photosynthétique nette, qui est liée à une diminution de leur teneur en chlorophylles, diminution probablement liée à une contamination par un organisme pathogène. Il n'a donc pas été possible d'utiliser les données issues de ces deux lots. Les analyses de la RMN du ^{13}C et du ^{31}P ont confirmé la faiblesse du métabolisme général du lot Filtre témoin, ainsi que la bonne santé des autres lots. Les teneurs en saccharose, mannitol et autres composés analysés, qui permettent d'estimer l'importance du métabolisme énergétique, étaient inférieures de 50 % dans le lot Filtre témoin.

Concernant les teneurs en pigments, les résultats ont été exprimés en % de l'état initial afin de tenir compte de la variabilité qui a été mise en évidence. Les résultats les plus marquants concernent la teneur en CPt, après 3 mois de traitement.

L'arrosage a favorisé un maintien de la teneur en composés phénoliques, teneur qui chute de plus de 50 % dans le lot témoin non irrigué.

La filtration de la bande UV-B et A a entraîné une diminution de près de 60 % de la teneur en CPt.

On a observé une forte augmentation de la pigmentation (brunissement) du lot Adret, transplanté et exposé durant 3 mois au rayonnement direct, alors que le lot transplanté en Ubac ainsi que le lot témoin de basse altitude étaient restés verdâtres.

Cependant, à cause de la variabilité initiale des lots de *Cetraria islandica*, ainsi que de la contamination de deux lots, les résultats obtenus sur l'influence de la filtration sélective du rayonnement solaire devront faire l'objet d'études supplémentaires.

Toutes ces observations renforcent encore l'hypothèse du rôle photoprotecteur de ces composés lichéniques aromatiques.

CONCLUSION

On peut souligner encore l'efficacité du dispositif expérimental de terrain mis en oeuvre qui a permis de mettre en évidence, chez plusieurs modèles végétaux très différents, des réponses biologiques importantes face aux radiations solaires et notamment ultraviolettes.

Chez le pois, nous avons pu observer une augmentation importante de la croissance de différentes parties suite à l'exclusion des radiations UV-B, mais aussi UV-A.

Chez *Sedum album*, nous avons mis en évidence un antagonisme apparent (corrélation inverse) entre le métabolisme CAM et le métabolisme phénolique, phénomène qui apparaît être à la fois sous le contrôle des radiations des bandes UV-B et Visible.

Enfin, chez *Cetraria islandica*, le modèle lichénique qui a posé quelques problèmes pratiques, nous avons pu observer une forte diminution de la teneur en CP suite à la filtration des radiations UV-B et A, ainsi qu'une augmentation importante des teneurs en chlorophylle b et CP, au cours du cycle circadien. Toutes ces observations, en plus de l'important brunissement des thalles suite à la transplantation altitudinale, renforcent l'hypothèse du rôle photoprotecteur de ces CP contre les radiations UV-B.

Si le modèle lichénique présente certains avantages, notamment du fait de sa petite taille, de sa résistance à la congélation et de son adaptation à l'altitude, il reste encore à maîtriser sa variabilité biochimique ainsi que l'évaluation de son taux de croissance et de son âge physiologique.

Les matériaux composant les différents filtres solaires utilisés ne sont pas nouveaux. Cependant, la méthode de filtration sur le terrain a été peu utilisée jusqu'à maintenant. C'est la première fois que plusieurs filtres solaires sont utilisés conjointement, pour former un système expérimental cohérent, qui permette de décomposer l'action des principales composantes biologiques du spectre solaire, UV-B, UV-A et PAR.

Ce dispositif in situ de filtration sélective, pourra être utilisé dans de nombreux domaines de l'écologie de terrain. En plus de l'étude de divers modèles végétaux, à court terme mais également à long terme, afin d'estimer les effets cumulatifs des radiations UV, on pourra décomposer, par l'expérimentation, l'impact du rayonnement solaire sur l'autoécologie de nombreuses espèces. En effet, les radiations solaires sont une source essentielle d'énergie pour les végétaux chlorophylliens, mais l'accès à cette énergie peut impliquer de s'exposer à des radiations nocives. Certaines plantes, dites sciaphiles ont "préféré" ne pas prendre ce risque et rester dans l'ombre. Par contre, les plantes dites héliophiles sont plus "téméraires" et "n'hésitent" pas à s'exposer au soleil de midi. Dans

les deux cas, de nombreux mécanismes d'adaptation permettent aux plantes de survivre aux effets directs mais aussi aux effets indirects de l'exposition, à savoir température et ressources hydriques.

Le schéma expérimental mis au point durant cette thèse, couplé à l'analyse des facteurs hydriques et thermiques, pourra certainement être mis à profit pour démêler les intrications parfois complexes des nombreux facteurs écologiques qui déterminent la répartition des végétaux. Seule une connaissance fondamentale approfondie de la sensibilité des végétaux aux radiations UV mais aussi à l'ensemble du spectre solaire, dans leur milieu naturel, pourrait permettre la mise en place d'une surveillance efficace des effets de l'évolution de la couche d'ozone.

MESURES DE PH ET DE CONDUCTIVITE DES ECORCES: ETUDE COMPARATIVE DES METHODES D'ANALYSE AVEC OU SANS BROYAGE

J. ASTA et I. LEGRAND

Centre de Biologie Alpine Université Joseph Fourier - GRENOBLE I
BP 53 X - 38041 GRENOBLE Cedex

INTRODUCTION

Dans le cadre du programme européen DEFORPA (dépérissement des forêts attribué à la pollution atmosphérique), nous avons étudié les effets de la pollution diffuse sur les lichens et les écorces. Ce programme nous a donné l'occasion de tester, sur un échantillonnage très important, les relations qui pouvaient exister entre l'état de dépérissement des arbres et les lichens, d'une part, les caractéristiques physico-chimiques des écorces, d'autre part (LEGRAND, 1986 et 1991, LEGRAND et ASTA, 1993 et 1995). Avant d'entreprendre cette étude, nous avons été conduites à mettre au point une méthode d'analyse répondant à nos objectifs de recherche et que nous exposons ici.

Travaillant dans les massifs montagneux des Alpes autour de Grenoble (Isère, France), nous avons choisi de mener cette étude sur le sapin (*Abies alba* Miller), essence qui était la plus touchée par le dépérissement dans cette région, de façon à obtenir des données de base permettant la conduite d'études ultérieures intégrant le facteur pollution. Parmi les caractéristiques physico-chimiques des écorces, nous avons décidé de mesurer le pH ainsi que la conductivité qui apparaissait être, d'après la bibliographie, le critère le plus fiable sur résineux et le plus représentatif d'une pollution globale (GRODZINSKA, 1982; HARTEL, 1982; SWIEBODA *et al.*, 1979) .

Au cours de recherches antérieures, l'une de nous avait réalisé des mesures de pH de surface de roches à l'aide d'une électrode de contact (ASTA, 1980). Dans un premier temps, nous avons cherché à adapter cette méthode à l'écorce de sapin. Mais la surface de l'écorce de cette essence est souvent irrégulière, ce qui est une gêne technique pour les mesures, et nous avons dû abandonner cette méthode.

De façon générale, la plupart des auteurs utilisent dans leurs travaux la méthode d'analyse préconisée par GRODZINSKA (1982), basée sur le broyage de l'écorce. Cependant, cette méthode n'est pas forcément adaptée à toutes les conditions environnementales. Elle pose la question fondamentale suivante: pourquoi utiliser des macérations de poudre d'écorce, alors que dans le cas d'études sur la pollution de l'air, seule l'interface écorce-atmosphère devrait être prise en considération ? Le broyage entraîne nécessairement une libération de composés ionisables qui ne se solubilisent pas en conditions naturelles, et qui sont susceptibles de modifier les résultats des mesures des caractéristiques physico-chimiques. La raison du broyage réside en fait dans la facilité apparente des conditions d'expérience car il supprime tous les problèmes de surface de contact rencontrés durant la macération, la surface d'échange au niveau d'un morceau entier d'écorce étant impossible à évaluer.

SKYE (1968) avait déjà soulevé ce problème méthodologique. Cet auteur était convaincu que le fait de broyer l'écorce donnait des valeurs de pH incorrectes et il avait proposé d'effectuer les analyses de pH sur les solutions de macération de morceaux d'écorce de diamètre supérieur à 1 cm.

C'est pourquoi nous avons testé différentes méthodes de préparation des écorces afin de mettre en évidence, d'une part le rôle du broyage sur les résultats des mesures d'acidité et de conductivité de l'écorce, d'autre part les différences existant entre la partie externe du rhytidome, en contact avec l'atmosphère, et la partie interne, en contact avec le cambium.

MATERIELS ET METHODES

A - PROTOCOLE DE TERRAIN

Choix de la placette d'étude

Cette pré-étude ayant un but de comparaison statistique, il fallait que les critères stationnels soient le plus homogène possible. La placette a été choisie à Valombré (Isère, France), en forêt domaniale de Grande Chartreuse (2° série, parcelle O) à 950 m d'altitude, sur une pente de 15 ° en moyenne, en exposition N-NO, dans une sapinière équienne (arbres de même âge) vieille d'une centaine d'années, dans laquelle aucune intervention sylvicole n'avait eu lieu durant les dix dernières années.

Choix des arbres

Afin d'avoir une idée de l'effectif nécessaire à étudier pour détecter une différence significative entre moyennes, nous avons appliqué un test de Student (SOKAL et ROHLF, 1969) basé sur l'étude de variabilité des données de pH obtenues sur sapin lors d'un travail antérieur (LEGRAND, 1986). Cette étude statistique nous a permis de fixer à 16 le nombre de sapins à sélectionner. Nous avons mesuré la circonférence à 1.50 m de hauteur des 28 sapins présents sur la placette (45 à 87 cm de diamètre), et n'avons retenu que les 16 tiges se situant dans la fourchette la plus restreinte, allant de 55 à 75 cm de diamètre (moyenne de 65.5 cm). Le tableau I présente quelques données caractéristiques mesurées sur les 16 arbres.

Tableau I: Diamètre des arbres en cm à 1,50 et 3,50m, hauteur totale (Ht) en m

N° d'arbre	diam à 1,50m (cm)	diam à 3,50m (cm)	Ht en m
1	55	47	31
2	55	48	35
3	58	51	30
4	58	52	36
5	65	58	38
6	65	58	36
7	65	55	38
8	68	59	36
9	69	60	36
10	70	61	36
11	71	60	34
12	71	64	37
13	74	65	34
14	72	60	35
15	74	64	32
16	74	63	37

Prélèvement des écorces

Sur chacun des 16 sapins retenus, nous avons effectué 4 prélèvements contigus choisis arbitrairement à l'Est à 1.50 m de hauteur, pour tester les méthodes d'analyse. La hauteur est toujours mesurée du côté amont de l'arbre par rapport à la pente et à partir du collet. Ces prélèvements ont été réalisés avec un emporte-pièce de 2 cm de diamètre, ce qui permet d'obtenir des cylindres d'écorce entiers (jusqu'au cambium) ayant une surface définie. Cette récolte d'échantillons a eu lieu en hiver (décembre), durant une période sèche.

B - ANALYSES EN LABORATOIRE

Les différentes méthodes d'analyse testées : protocoles de préparation des échantillons

Les échantillons sont d'abord brossés pour être débarrassés des lichens, mousses et poussières, puis ils sont séchés à l'étuve (24 h à 105°C), comme le préconise GRODZINSKA (1982). Les cylindres sont coupés au couteau pour séparer la partie externe (2 à 3 mm) de la partie interne. Ensuite chacune des quatre séries d'écorce est traitée différemment (le broyage s'effectue avec un broyeur à billes d'acier) :

- 1- broyage de la totalité de l'écorce (toute la partie externe au cambium)
- 2a - broyage de la moitié externe de l'écorce
- 2b - broyage de la moitié interne de l'écorce
- 3- écorce totale non broyée
- 4- écorce externe non broyée

Puis chaque échantillon est mis à macérer pendant 48 h dans de l'eau distillée dégazéifiée (flacons 20 ml à bouchon vissé) :

- 1 - 1g de poudre d'écorce dans 10 ml
- 2a et 2b - 0.3 g dans 3 ml
- 3 et 4 - cylindre d'écorce dans 5 ml

Les mesures de pH sont réalisées à l'aide d'un titrateur à microprocesseur Tacussel type TT processeur 2, à électrode de contact combinée Ingold. Les mesures de conductivité sont effectuées à l'aide d'un résistivimètre à lecture numérique type CD 60 et une électrode type TE 100; elles sont indiquées en micro-siemens (μS). Les échantillons broyés ont dû être centrifugés (4000 tours / mn pendant 3 mn) pour éviter l'encrassement de la cellule de mesure de l'électrode.

Rem. Dans la mesure où l'écorce interne est une partie qui n'est pas en contact direct avec l'atmosphère, nous avons choisi de ne pas multiplier les données et d'analyser cette partie interne uniquement sous forme broyée.

Les méthodes statistiques employées

Pour analyser les données obtenues (pH et conductivité), nous avons calculé les moyennes, variances, écart-types, intervalles de confiance de la moyenne et coefficients de variation. Les variances étant hétérogènes, la comparaison des données a été réalisée à l'aide du test de comparaison de moyennes de MANN et WHITNEY. Ce test de rangs convient même si les mesures ne suivent pas des Loïs de GAUSS (lois normales).

Rem. Pour une lecture plus facile, nous utiliserons par la suite le coefficient de variation $V(X100)$.

RESULTATS ET DISCUSSION

A - COMPARAISON DES MESURES DE pH

Le tableau II expose les résultats obtenus (moyenne et intervalle de confiance, écart-type, coefficient de variation, écart entre les valeurs extrêmes, nombre de données) à partir des données pH mesurées, pour chacune des méthodes testées.

Rem. Nous avons utilisé le calcul de moyenne des données pH pour sa commodité, bien que ce calcul soit mathématiquement incorrect.

Tableau II : pH de l'écorce pour chaque méthode étudiée
(paramètres statistiques, $\alpha = 0.05$)

Méthodes	moy.± int. cf.	écart-type	coef.variation	écart val. ext.	nb
ext.non broyée X1	3.76 ± 0.15	0.29	V1=7.75	1.00	16
ext.broyée X2	3.95 ± 0.15	0.28	V2=7.03	0.88	16
ent.non broyée X3	4.11 ± 0.06	0.11	V3=2.70	0.45	16
ent.broyée X4	4.04 ± 0.09	0.16	V4=4.07	0.54	16
int.broyée X5	4.33 ± 0.09	0.17	V5=3.83	0.53	16

Test de MANN et WHITNEY:

comparaison 1-5: $U_{\min}=12$, $U_{\text{seuil}}=75$, $U_{\min} \leq U_{\text{seuil}}$ alors méthode 1 \neq méthode 5

comparaison 2-5: $U_{\min}=30$, $U_{\text{seuil}}=75$, $U_{\min} \leq U_{\text{seuil}}$ alors méthode 2 \neq méthode 5

comparaison 1-2: $U_{\min}=78$, $U_{\text{seuil}}=75$, $U_{\min} \geq U_{\text{seuil}}$ alors méthode 1 = méthode 2

comparaison 3-4: $U_{\min}=93$, $U_{\text{seuil}}=75$, $U_{\min} \geq U_{\text{seuil}}$ alors méthode 3 = méthode 4

Comparaison partie interne - partie externe

Qu'il y ait broyage ou non, on constate que sur l'ensemble des données, la partie externe de l'écorce ($X1 = 3.76$; $X2 = 3.95$) est significativement plus acide que la partie interne ($X5 = 4.33$). L'écorce entière donne un pH intermédiaire ($X3 = 4.11$; $X4 = 4.04$), ce qui est tout à fait logique. D'autre part, la partie externe ($V1 = 7.75$; $V2 = 7.03$) donne une plus grande dispersion des mesures que la partie interne ($V5 = 3.83$).

Ces constatations peuvent être expliquées par le fait suivant. La partie externe de l'écorce étant en contact avec l'environnement extérieur depuis plus ou moins longtemps selon la date de desquamation du rhytidome, est certainement sujette à l'accumulation des particules atmosphériques acidifiantes, ce qui peut expliquer la diminution du pH d'une part ($X2 = 3.95$) et la grande variabilité des mesures d'autre part.

Comparaison broyage - non broyage

D'après les résultats du test de MANN et WHITNEY, le fait de broyer l'écorce n'entraîne pas de résultats significativement différents par rapport à la méthode sans broyage, que ce soit pour la partie externe ou pour l'écorce entière ($X1-X2$, $X3-X4$). D'autre part,

quand on compare les résultats obtenus pour l'écorce externe, avec broyage et sans broyage, les coefficients de variation sont similaires ($V_2 = 7.03$; $V_1 = 7.75$), ce qui indique que malgré les variations possibles de poids et de volume d'écorce non broyée, cela n'entraîne pas de modification sur la dispersion des mesures.

** Remarque : dans le cas de l'étude sur la partie externe, nous avons essayé d'utiliser de la paraffine pour isoler les faces internes et ne conserver que la surface extérieure de l'écorce, seule à nous intéresser. Mais la paraffine se craquelle pendant la macération dans l'eau et entraîne une variabilité anormale des mesures. Nous avons donc abandonné ce procédé.*

B - COMPARAISON DES MESURES DE CONDUCTIVITE (μS)

Le tableau III expose les résultats obtenus (moyenne etc..) sur les données de conductivité mesurées pour chacune des méthodes testées.

Tableau III : conductivité de l'écorce (en μS) pour chaque méthode étudiée (paramètres statistiques, $\alpha = 0,05$)

Méthodes	moy.± int. cf.	écart-type	coef.variation	écart val. ext.	nb
ext.non broyée X1	166 ± 48	90	V1=54	282	16
ext.broyée X2	305 ± 53	100	V2=32	310	16
ent.broyée X4	419 ± 44	83	V4=20	322	16
int.broyée X5	622 ± 90	126	V5=20	333	10

Test de MANN et WHITNEY:

comparaison 1-2: $U_{min}=35$, $U_{seuil}=75$, $U_{min} \leq U_{seuil}$ alors méthode 1 \neq méthode 2

comparaison 2-5: $U_{min}=3$, $U_{seuil}=42$, $U_{min} \leq U_{seuil}$ alors méthode 2 \neq méthode 5

comparaison 1-5: $U_{min}=0$, $U_{seuil}=42$, $U_{min} \leq U_{seuil}$ alors méthode 1 \neq méthode 5

Comparaison partie interne - partie externe

Qu'il y ait broyage ou non , on constate que la partie externe de l'écorce broyée ($X_2 = 305 \mu S$), ou non broyée ($X_1 = 166 \mu S$) a une conductivité inférieure à celle de la partie interne broyée ($X_5 = 622 \mu S$). Le test de comparaison des moyennes de MANN et WHITNEY montre que là aussi, les parties externe et interne de l'écorce sont très significativement différentes (X_1-X_5 , X_2-X_5). D'autre part, la partie externe donne une plus grande dispersion des mesures ($V_1 = 54$; $V_2 = 32$) que la partie interne ($V_5 = 20$).

Comparaison broyage - non broyage, pour la partie externe

Le fait de broyer l'écorce entraîne des mesures de conductivité significativement différentes, l'écorce non broyée ayant une conductivité plus faible que l'écorce broyée. Le fait de n'avoir ni un poids ni un volume déterminés d'écorce non broyée n'entraîne pas une dispersion nettement plus élevée des mesures que dans le cas de l'écorce broyée ($V_1 = 54$; $V_2 = 32$).

** Remarque : des analyses effectuées sur écorce entière non broyée ont fourni des résultats surprenants car très élevés ($X_3 = 1171$). Ces données aberrantes s'expliquent sans doute par*

le fait que pour cette série de mesures effectuées en premier lieu, nous avons utilisé une électrode qui s'est avérée défectueuse et qui a dû être remplacée pour la suite des mesures.

CONCLUSION

Cette étude avait pour but de comparer les résultats obtenus par différents protocoles (broyage ou non), et de comparer les différentes parties de l'écorce (externe et interne). Il ressort que ces deux parties d'écorce montrent des différences significatives d'acidité et de conductivité, bien que de faibles amplitudes ($X5 - X2 = 0.38 \text{ pH}$; $X5 - X2 = 317 \mu\text{S}$), la partie externe étant plus acide, et de conductivité plus faible que la partie interne de l'écorce.

La partie externe de l'écorce, contrairement à la partie interne, est soumise aux pluviollessivats le long du tronc, ce qui peut expliquer les valeurs plus faibles du pH et de la conductivité de la partie externe de l'écorce d'une part, et la plus grande variabilité des mesures d'autre part, par rapport à la partie interne. Comme nous l'avons vu, le broyage entraîne des mesures de conductivité supérieures par rapport au non broyage, dues probablement à la libération de composés ionisables, qui n'interviennent pas forcément sur le pH.

Des mesures complémentaires réalisées à partir d'échantillons mis à macérer selon des temps de macération variables nous ont également permis de constater qu'au bout de 24h, les mesures se stabilisent. Il est donc inutile de prolonger le temps de macération au-delà d'une journée. **Par conséquent, dans la suite des études, nous avons choisi d'utiliser la partie externe de l'écorce sans la broyer avec macération 24h au réfrigérateur dans 5ml d'eau distillée dégazéifiée avant d'effectuer les mesures.**

Cette méthode nous a permis d'obtenir des résultats tout à fait significatifs, non seulement sur les variations de l'acidité et de la conductivité des écorces de sapin et d'épicéa, le long du tronc en conditions normales, mais aussi en relation avec la pollution diffuse et le dépérissement des forêts (LEGRAND et ASTA, 1993 et 1995; LEGRAND *et al.*, 1996) et peut être préconisée pour des études sur résineux. Dans une étude parue en 1990, conduite sur feuillu, les auteurs conseillent d'utiliser pour le chêne, une méthode de mesure de pH de surface par contact (FARMER *et al.* 1990).

L'ensemble des travaux réalisés permettent de confirmer que les écorces s'avèrent donc bien être de bons indicateurs de modifications environnementales et particulièrement de pollution, mais qu'il est important d'adapter le protocole d'analyse aux objectifs poursuivis. De nombreux paramètres tels que l'essence d'arbre considérée, le type de sol (la teneur en cations de l'écorce étant liée à la richesse du sol), l'âge de l'arbre et donc l'épaisseur du rhytidome peuvent en effet influencer le choix du protocole ou les données recueillies.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTA, J. 1980 - *Flore et végétation lichéniques des Alpes nord-occidentales: écologie, biogéographie, écophysologie, biodétection de la pollution fluorée*. Thèse d'Etat, Université Grenoble I, 249 p.
- BARKMAN, J.J. 1958 - *Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes*. 202 p. Assen, Netherlands, Van Gorcum.
- FARMER, A.M., BATES, J.W. et BELL, J.N.B. 1990 - A comparison of methods for the measurement of bark pH. *Lichenologist*, 22 (2), 191-197.

- GRODZINSKA,, K. 1982 - Monitoring of air pollutants by mosses and tree bark. In *Monitoring of air pollutants by plants, methods and problems*, ed. L. Steubing & H.J. Jäger, The Hague. 162 p.
- HARTEL, O. 1982 - Pollutants accumulation by bark. In *Monitoring of air pollutants by plants, methods and problems*, ed. L. Steubing & H.J. Jäger, The Hague. 162 p, 137-147.
- LEGRAND, I. 1986 - *Contribution à l'étude des relations entre lichens et dépérissement des forêts*. DEA Ecologie Géographie, Aménagement des montagnes, UJF Grenoble I, 68 p.
- LEGRAND, I. 1991 - *Végétation lichénique corticole et caractéristiques physico-chimiques des écorces : relations avec la symptomatologie du dépérissement des forêts des Alpes du Nord*. Thèse d'Université, Biologie, UJF Grenoble I, 225 p.
- 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.
- 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.
- LEGRAND, I. et 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.
- SKYE, E. 1968 - Lichens and air pollution. A study of cryptogamic epiphytes and environment in the Stocklom region. *Acta Phytogeographica Suecica*, 52, Ed Svenska Växtgeographiska Sällskapet, 123 p.
- SOKAL, R.R. et ROHLF, F.J. 1969 - *Biometry, the principles and practice of statistics in biological research*, second edition, 1981, Ed W.H. Freeman and company, San Francisco, 263-384.
- SWIEBODA, M et KALEMBA, A. 1979 - The bark of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a biological indicator of atmospheric air pollution. *Acta Soc. Bot. Pol.*, 48, 539 -549.

Cartographie des lichens corticoles urbains et évaluation de la qualité de l'air par les collèges et lycées du Nord-Pas-de-Calais

Jean-Pierre GAVERIAUX

14, les Hirsons

62800 - LIEVIN

E-mail : Jean-Pierre.Gaveriaux@wanadoo.fr

Le Conseil Régional Nord-Pas-de-Calais, en partenariat avec le Rectorat de l'Académie de Lille, la Faculté de Pharmacie de Lille 2 (Laboratoire de Botanique) et l'Association Ecosystèmes a lancé une campagne visant à évaluer la qualité de l'air dans notre région en utilisant les bioindicateurs que sont les champignons lichénisés. Cette campagne s'est principalement adressée aux enseignants des lycées et collèges mais aussi aux associations locales ou clubs de protection de la nature.

Les travaux menés depuis de nombreuses années, notamment par Chantal VAN HALUWYN, professeur à la Faculté de Pharmacie de Lille, ont montré que les lichens étaient capables de nous renseigner sur la qualité de l'air. Plusieurs actions réalisées en milieu scolaire ont suscité un grand intérêt chez les élèves pour la recherche des stations, la biologie des thalles lichéniques et l'évaluation du milieu. Des secteurs situés à la limite du bassin minier et de l'Artois ont fait l'objet d'une cartographie avec estimation des divers niveaux de pollution.

En période de pollution décroissante et de retour des lichens sur les arbres d'un certain nombre de nos villes, nous avons pensé qu'il serait intéressant d'étendre ce travail à l'ensemble de la région, de mobiliser les enseignants des collèges, des lycées, les associations naturalistes, les Ecogardes... afin de faire connaître ces bioindicateurs et d'essayer de travailler ensemble sur un même projet de sensibilisation à la qualité de notre environnement.

I. Les lichens sensibles à la pollution de l'air

Les lichens constituent des structures autonomes, les thalles lichéniques, résultant de l'association symbiotique entre deux catégories de partenaires :

1. le partenaire fongique, hétérotrophe, appelé mycosymbiote, pratiquement toujours un champignon ascomycète, qui représente plus de 90 % de la biomasse lichénique, dont les hyphes microscopiques enchevêtrées emprisonnent,
2. le partenaire chlorophyllien, autotrophe, appelé photosymbiote, qui est une algue verte (phycosymbiote) ou/et une cyanobactérie (cyanosymbiote).

Les lichens sont dépourvus de système de contrôle des entrées et des sorties, ils n'ont pas de stomates pour contrôler les échanges avec l'atmosphère. Pour leur nutrition ils sont entièrement sous la dépendance atmosphérique, qui leur apporte l'eau et les sels minéraux.

A la suite d'une pluie, le champignon stocke l'eau dans ses hyphes et permet pendant un certain temps de faire fonctionner les deux partenaires ; le lichen peut alors développer son thalle.

En période de sécheresse, le lichen devient sec, inactif, mais il est capable de survivre jusqu'à la prochaine pluie où il redeviendra actif (phénomène de reviviscence).

Par la structure de leur thalle, les lichens sont plus sensibles que les végétaux à la pollution atmosphérique, même lorsque cette pollution est faible. Par exemple, le SO₂ (dioxyde de soufre), l'un des composants de la pollution atmosphérique urbaine et industrielle, se dissout facilement dans l'eau atmosphérique, peut pénétrer dans les thalles et donner des sulfites et bisulfites qui modifient profondément divers processus métaboliques :

- perturbation des transports d'électrons pendant la phase de photoconversion de la photosynthèse, et détérioration des chloroplastes des algues ;
- diminution considérable de l'activité photosynthétique, les ions sulfites bloquant l'activité de certaines enzymes intervenant dans l'incorporation du CO₂ ;
- dégénérescence des crêtes mitochondriales ;
- altération de la synthèse des protéines ;
- modification de la nutrition azotée ;
- les voies métaboliques sont rapidement modifiées, le complexe lichénique se nécrose progressivement et finit par mourir.

VÉGÉTAUX	LICHENS
Feuilles recouvertes d'une cuticule protectrice et imperméable	Pas de cuticule contact direct avec l'atmosphère
Pas d'activité l'hiver	Actif toute l'année après chaque pluie
Puisent l'eau et les sels minéraux dans le sol	Alimentation sous la dépendance de l'air et de l'eau de pluie
Stomates des feuilles capables de se fermer aux agents polluants	Absence de système de régulation des entrées et des sorties
Reproduction par graines protégées d'une enveloppe coriace pas de contact avec les polluants de l'air	Reproduction par des structures aériennes soralies, isidies, spores, ayant un contact immédiat avec les polluants de l'air
Germination des graines dans le sol pas de contact avec les polluants de l'air	Hyphes issues de la germination immédiatement au contact de l'air
Croissance rapide	Croissance lente

Contrairement aux végétaux supérieurs, les lichens ne possèdent pas les structures leur permettant de limiter les conséquences de la pollution atmosphérique

Les lichens sont donc sensibles aux polluants atmosphériques et de nombreuses espèces disparaissent lorsque la qualité de l'air se dégrade. Cette infériorité relative des lichens nous permet de les utiliser (entre autres) comme bioindicateurs.

La présence de certaines espèces ou de certaines associations lichéniques particulièrement toxitolérantes, nous permet d'évaluer le taux de pollution dans la zone considérée. De même, l'étude du dynamisme de ces associations permet d'estimer la progression ou au contraire la régression de la pollution dans certains secteurs.

II. Évaluation de la pollution par étude des associations lichéniques

La technique utilisée est la méthode proposée en 1986 par C. VAN HALUWYN et M. LEROND, l'évaluation de la qualité de l'air se fait par étude des associations lichéniques corticoles (lichens se trouvant sur les écorces des arbres).

ZONES	Niveau de pollution	LICHENS RECENSES
A	pollution extrêmement forte	<i>Pleurococcus viridis</i> (algue)
B	pollution très forte	<i>Buellia punctata</i> <i>Lecanora conizaeoides</i>
C	pollution forte	<i>Lecanora expallens</i> <i>Lepraria incana</i>
D	pollution assez forte	<i>Diploicia canescens</i> <i>Lecidella elaeochroma</i> <i>Phaeophyscia orbicularis</i> <i>Physcia tenella</i> <i>Xanthoria polycarpa</i>
E	pollution moyenne	<i>Candelariella xanthostigma</i> <i>Evernia prunastri</i> <i>Hypogymnia physodes</i> <i>Parmelia sulcata</i> <i>Physcia adscendens</i> <i>Pseudevernia furfuracea</i> <i>Xanthoria parietina</i>
F	pollution faible	<i>Parmelia acetabulum</i> <i>Parmelia caperata</i> <i>Parmelia glabratula</i> <i>Parmelia pastillifera</i> <i>Parmelia soledians</i> <i>Parmelia subaurifera</i> <i>Parmelia subrudecta</i> <i>Parmelia tiliacea</i> <i>Pertusaria amara</i> <i>Pertusaria pertusa</i> <i>Phlyctis argena</i> <i>Physconia grisea</i> <i>Ramalina farinacea</i> <i>Ramalina fastigiata</i> <i>Xanthoria candelaria</i>
G	pollution très faible	<i>Anaptychia ciliaris</i> <i>Parmelia perlata</i> <i>Parmelia reticulata</i> <i>Parmelia revoluta</i> <i>Physcia aipolia</i> <i>Physconia distorta</i> (= <i>pulverulacea</i>) <i>Ramalina fraxinea</i>

Echelle d'estimation de la qualité de l'air de la moitié nord de la France
(d'après Van Haluwyn et Lerond - 1986)

Pour établir l'échelle de correspondance entre lichens et pollution, les techniques de la phytosociologie ont été utilisées. Une communauté de lichens apporte plus de renseignements qu'un seul individu pris isolément. Lors de l'augmentation de pollution, les communautés lichéniques se fragmentent en de nouveaux groupements (contenant moins d'espèces) dont l'évolution reste bloquée, ou en groupements relictuels qui sont des altérations des communautés initiales.

Ces études ont permis de sélectionner un petit nombre d'espèces caractéristiques d'une région donnée, à une époque donnée, choisies pour leur facilité d'identification (même par des non spécialistes), et de mettre au point une échelle comprenant 7 zones de pollution.

Ces zones sont notées de A à G :

- A est la zone où la pollution est à son maximum, les polluants sont extrêmement actifs, aucun lichen corticole ne survit (véritable désert lichénique).
- B, C et D correspondent à des zones de très forte, forte, assez forte pollution ; dans la zone D les arbres présentent moins de 10 espèces lichéniques différentes (surtout des lichens crustacés).
- E est une zone de pollution moyenne avec apparition de quelques foliacés et un fruticuleux.
- F et G sont des zones de faible ou très faible pollution et la richesse en lichens devient très significative ; certains troncs sont fortement recouverts de foliacés et de fruticuleux.

Cette méthode présente plusieurs avantages :

Facilité d'utilisation : la connaissance de 10 à 15 espèces suffit pour cartographier les zones A à E, cartographie qui correspond à ce qui existe dans la plupart des villes, où l'on assiste à une amélioration de la qualité de l'air au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre ville, ou de certaines sources de pollutions.

Possibilités d'adapter la méthode au niveau de précision souhaité.

- Un simple relevé d'espèces permettant la classification dans une zone lors d'un diagnostic ponctuel.
- Un relevé plus complet dans lequel on attribue à chaque espèce recensée un coefficient d'abondance-dominance en fonction de l'importance dans l'association.

i : individu seul

+ : individus peu nombreux - recouvrement < 1 %

1 : individus peu nombreux - recouvrement de 1 à 5 %

2 : recouvrement de 5 à 25 %

3 : recouvrement de 25 à 50 %

4 : recouvrement de 50 % à 75 %

5 : recouvrement supérieur à 75 %

j : juvénile

n : thalle altéré en voie de nécrose

f : thalle fertile (lorsque le phénomène est exceptionnel localement)

- Des mesures de taille de thalles, de hauteur sur les troncs peuvent également être faites en vue de comparaisons futures lors du suivi des sites.

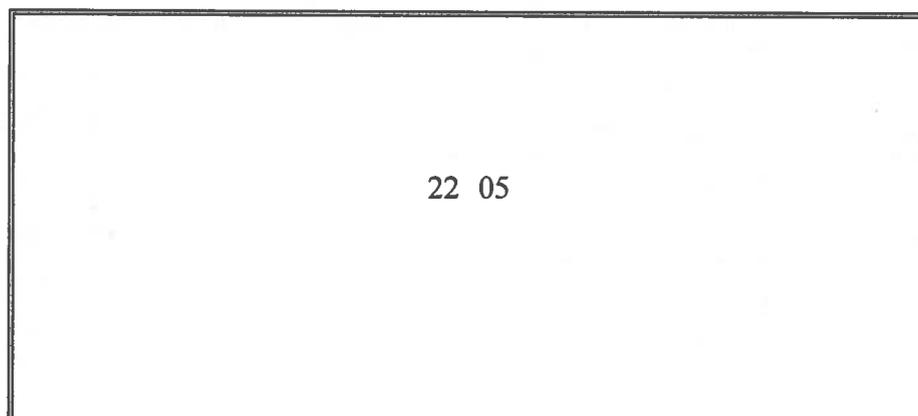
L'utilisation des relevés lichénosociologiques avec coefficient d'abondance-dominance permet de voir quand une espèce apparaît, est en plein développement, régresse puis disparaît. Des

relevés réalisés sur les mêmes arbres à quelques années d'intervalle, permettent d'estimer la progression ou la régression de la pollution dans certains secteurs, donc de suivre l'évolution de la pollution dans l'espace et le temps.

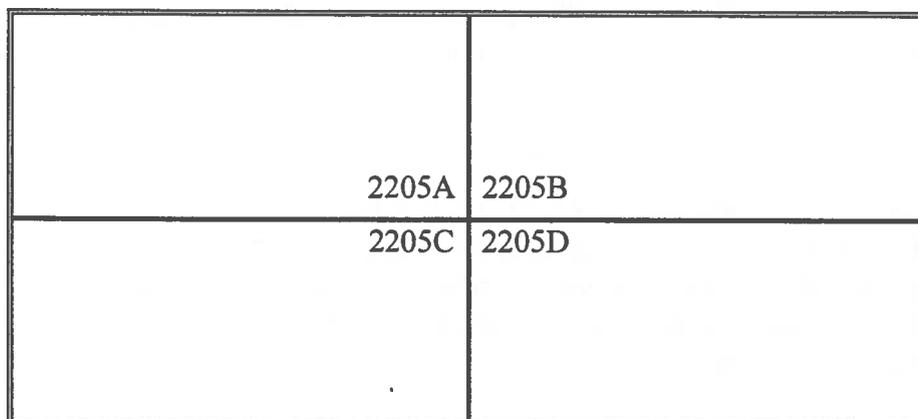
III. La technique de cartographie en réseau

Pour prospecter la région Nord-Pas-de-Calais, nous avons utilisé la cartographie en réseau établie par Régis COURTECUISSÉ (Faculté de Pharmacie de Lille) pour l'inventaire mycologique national. Cette technique ne correspond pas aux normes européennes actuelles de cartographie des lichens, mais présente l'énorme avantage de pouvoir être mise en place très rapidement à partir des cartes I.G.N. (série verte touristique au 1/100 000) sur lesquelles figure le maillage choisi. Ces cartes, d'un prix très abordable, sont disponibles dans toutes les librairies et tous les établissements secondaires possèdent les anciennes cartes au 1/50 000 [le maillage européen UTM (Universal Transverse Mercator) ne figurant sur certaines cartes ayant fait l'objet d'une impression récente].

Rappel des critères du maillage : la France est découpée en méridiens équidistants de 0,4 gr et de parallèles équidistants de 0,2 gr, ce qui conduit à délimiter 1127 mailles à partir desquelles sont élaborées les diverses cartes, les cartes topographiques ou géologiques au 1/50 000 par exemple. Chaque carte (20 km x 28 km = 560 km²) porte un nom (celui d'une ville importante de la carte) et une référence précise. Ex : Desvres est sur la carte 2204, Liévin sur la carte de Béthune 2405...



Carte IGN
au 1/50 000
20 x 28 km



**Maille
Elémentaire
Nationale**

Chaque M.E.N.
est égale au quart
de la carte IGN
au 1/50 000

Ce maillage étant trop grand pour notre cartographie, la carte au 1/50 000 est divisée en 4 parties, les Mailles Elémentaires Nationales (MEN) nommées A, B, C et D. Chaque MEN

mesure 14 km x 10 km soit 140 km², ce qui est encore beaucoup trop grand pour la cartographie à l'échelle du territoire à prospecter.

2205A1	2205A2	2205B1	2205B2
2205A3	2205A4	2205B3	2205B4
2205C1	2205C2	2205D1	2205D2
2205C3	2205C4	2205D3	2205D4

La M.E.N.
est divisée une
première fois
en 4 parties égales
A1, A2, A3 et A4
B1, B2, B3 et B4
C1, C2, C3 et C4
D1, D2, D3 et D4

Chaque MEN est alors divisée en 4 parties numérotées 1, 2, 3 et 4 (7 km x 5 km) elles mêmes divisées à nouveau en 4 parties numérotées 11, 12, 13 et 14 ou 21, 22, 23 et 24... Ces mailles qui correspondent à 1/16 de la MEN constituent les MER (Mailles Élémentaires Régionales) de 3,5 km x 2,5 km compatibles avec une cartographie fine comme celle que nous voulons réaliser. Avion se trouve dans la MER 2405D43 et Méricourt dans la MER 2405D44.

2205A11	2205A12	2205A21	2205A22	2205B11	2205B12	2205B21	2205B22
2205A13	2205A14	2205A23	2205A24	2205B13	2205B14	2205B23	2205B24
2205A31	2205A32	2205A41	2205A42	2205B31	2205B32	2205B41	2205B42
2205A33	2205A34	2205A43	2205A44	2205B33	2205B34	2205B43	2205B44
2205C11	2205C12	2205C21	2205C22	2205D11	2205D12	2205D21	2205D22
2205C13	2205C14	2205C23	2205C24	2205D13	2205D14	2205D23	2205D24
2205C31	2205C32	2205C41	2205C42	2205D31	2205D32	2205D41	2205D42
2205C33	2205C34	2205C43	2205C44	2205D33	2205D34	2205D43	2205D44

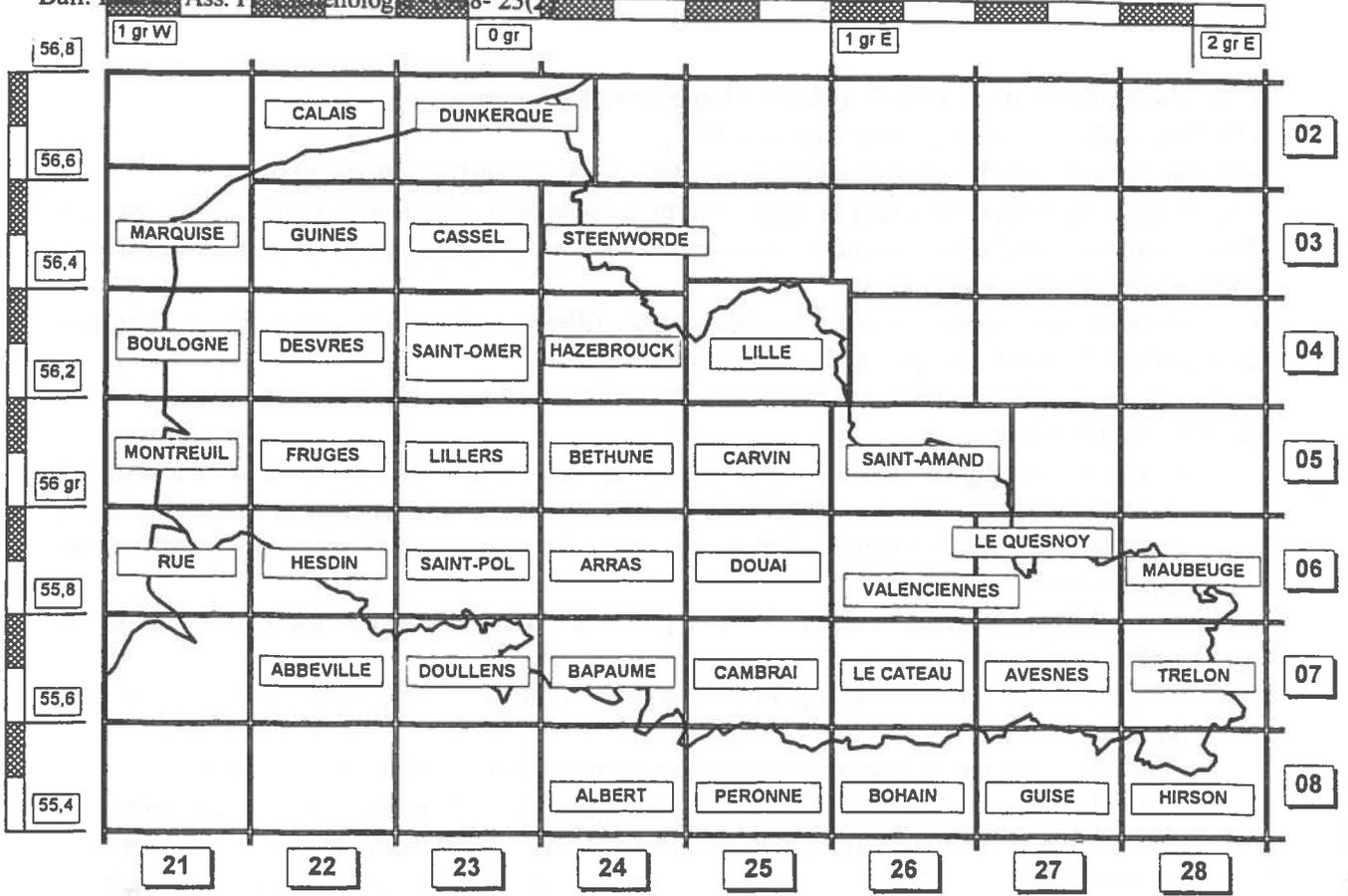
Chaque quart est
à nouveau divisé en
quatre pour arriver
à la M.E.R.
**Maille
Élémentaire
Régionale**
3,5 x 2,5 km

Dans chaque MER, deux ou trois stations seront prospectées et un niveau de pollution défini en fonction des résultats trouvés (par référence aux 38 espèces types sélectionnées dans le tableau de corrélation lichens/pollution Van Haluwyn-Lerond).

IV. Le relevé lichénique

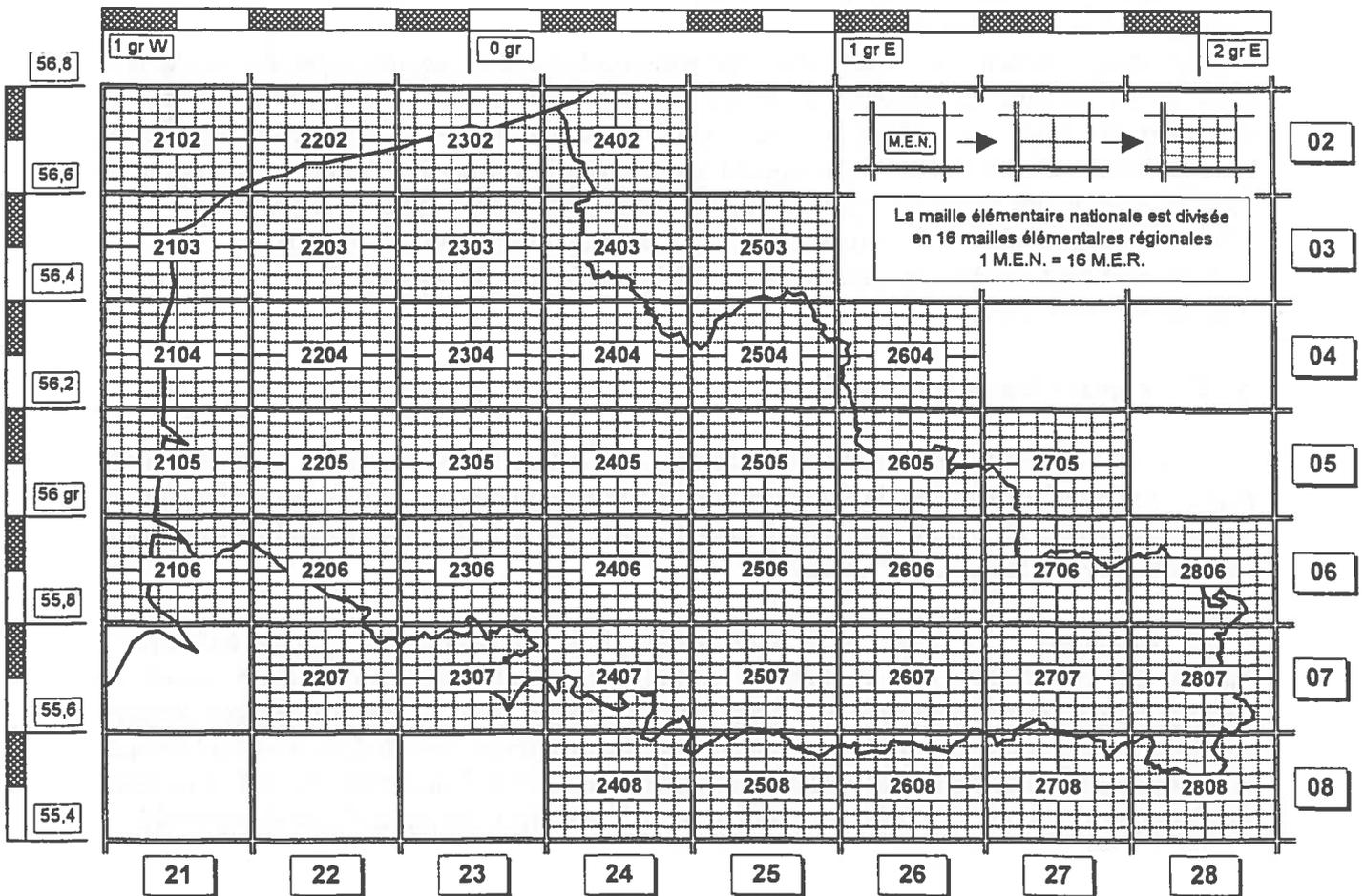
Il faut déterminer sur le tronc une aire minimale de relevé, 10-25 cm de largeur x 10-50 cm de hauteur, de façon à faire figurer dans le relevé le maximum d'espèces présentes sur le substrat. Eviter d'inclure dans l'aire minimale, les parties basses du tronc plus ou moins perturbées par des apports extérieurs (déjections canines, pulvérisations chimiques : engrais, désherbants, sel apporté sur les routes lors des périodes de verglas...).

La fiche de relevé doit comporter le maximum d'informations afin de faciliter l'interprétation ultérieure des résultats. Indications importantes devant figurer sur cette fiche :



CARTOGRAPHIE - NORD-PAS-DE-CALAIS

CARTES AU 1/50 000



CARTOGRAPHIE - NORD-PAS-DE-CALAIS

MAILLES ELEMENTAIRES REGIONALES (2,5 x 3,5 km)

- Les coordonnées de la M.E.R. (Maille Élémentaire Régionale).
- Le lieu : ville avec code postal, rue, lieu-dit...,
- L'altitude (voir courbes de niveau sur les cartes I.G.N. ou cartographiques).
- Le numéro de relevé intégrant la date : exemple 94060401 (1er relevé réalisé le 4.6.94), les deux premiers chiffres correspondent à l'année, les deux suivants au mois du relevé, ces quatre chiffres sont les plus importants.
- La nature du phorophyte (frêne, peuplier, érable, tilleul...). Seuls les arbres dont le diamètre est supérieur à 20 cm sont pris en considération.
- La nature de l'environnement immédiat des arbres sélectionnés. En zone urbaine il est possible de distinguer :
 1. Les arbres alignés le long des rues, autour des places : à la base, le sol est souvent couvert d'une couche de macadam ; à proximité, des bâtiments plus ou moins hauts perturbent les déplacements d'air et une circulation automobile plus ou moins intense apporte divers polluants.
 2. Les arbres plantés le long d'allées plus ou moins terreuses-caillouteuses dans les jardins publics et les parcs.
 3. Les arbres situés dans des pelouses de jardins publics ou de jardins privés ; à la base on peut trouver :
 - de l'herbe, du gazon avec arrosages plus ou moins fréquents et apports d'engrais,
 - un sol nu suite à l'utilisation de désherbants pour faciliter la tonte autour des arbres (la base des troncs bénéficie alors bien souvent des divers traitements chimiques proposés).
- L'orientation préférentielle des lichens sur le tronc (généralement sur la partie ouest du tronc dans notre région).
- Le pourcentage de recouvrement lichénique (inclure éventuellement dans ce pourcentage les zones vertes recouvertes par le *Pleurococcus*).
- La liste des lichens observés.
- Pour chaque lichen, son coefficient d'abondance-dominance accompagné éventuellement d'une lettre, (j) pour la présence d'espèces très jeunes en phase initiale de leur croissance (juvénile), (n) pour les espèces nécrosées et (f) pour les thalles présentant des apothécies (lorsque ces formations sont relativement exceptionnelles dans la région). Pour certaines espèces, nous avons mesuré la taille des thalles et noté leur position précise sur le tronc.
- Votre estimation du degré de qualité de l'air (attribution d'une lettre de A à G).
- L'Etablissement scolaire, la classe ou l'Association et les coordonnées de la personne pouvant être contactée.

V. Pour aider les enseignants :

1. Un **livre** : Le guide des lichens de Chantal VAN HALUWYN et Michel LEROND (344 pages - Editions Lechevalier), la 3ème partie présente de nombreuses clés de détermination des lichens corticoles. Ce livre a été envoyé gratuitement dans tous les lycées (malle pédagogique subventionnée par le Conseil Régional).

2. Une **brochure** : Les lichens et la bioindication de la qualité de l'air - Guide technique à l'usage des professeurs des collèges et lycées par Jean-Pierre GAVERIAUX (avec 72 macrophotos couleur - Edité par le Lycée Pablo Picasso d'AVION. Disponible gratuitement auprès de l'association Ecosystèmes. Envoyé gratuitement en janvier 96 dans tous les Collèges et Lycées du Nord et du Pas-de-Calais (Subvention de 19 000 F accordée par la Commission Académique d'Action Culturelle - Subvention de 9 000 F attribuée par le Conseil Régional).

FICHE DE RELEVÉ LICHENOLOGIQUE - M.E.R. : _____ **DATE :** _____

LIEU : _____ **ALT :** _____

Environnement : _____

Arbres : A1 _____ A2 _____ A3 _____

A4 _____ A5 _____ A6 _____

Espèces recensées	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Pourcentage de recouvrement						
<i>Pleurococcus viridis</i> (algue)						
<i>Athelia arachnoidea</i> (champignon)						
<i>Anaptychia ciliaris</i>						
<i>Buellia punctata</i>						
<i>Buellia griseovirens</i>						
<i>Candelaria concolor</i>						
<i>Candelariella xanthostigma</i>						
<i>Diploicia canescens</i>						
<i>Evernia prunastri</i>						
<i>Hypogymnia physodes</i>						
<i>Hypogymnia tubulosa</i>						
<i>Lecanora chlarotera</i>						
<i>Lecanora conizaeoides</i>						
<i>Lecanora expallens</i>						
<i>Lecidella elaeochroma</i>						
<i>Lepraria incana</i>						
<i>Ochrolechia turneri</i>						
<i>Parmelia acetabulum</i>						
<i>Parmelia borrieri</i>						
<i>Parmelia caperata</i>						
<i>Parmelia pastillifera</i>						
<i>Parmelia perlata</i>						
<i>Parmelia revoluta</i>						
<i>Parmelia saxatilis</i>						
<i>Parmelia subaurifera</i>						
<i>Parmelia subrudecta</i>						
<i>Parmelia sulcata</i>						
<i>Parmelia tiliacea</i>						
<i>Pertusaria amara</i>						
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>						
<i>Phlyctis argena</i>						
<i>Physcia adscendens</i>						
<i>Physcia aipolia</i>						
<i>Physcia tenella</i>						
<i>Physconia distorta</i>						
<i>Physconia grisea</i>						
<i>Pseudevernia furfuracea</i>						
<i>Ramalina farinacea</i>						
<i>Ramalina fastigiata</i>						
<i>Xanthoria candelaria</i>						
<i>Xanthoria parietina</i>						
<i>Xanthoria polycarpa</i>						

Niveau estimé de la qualité de l'air : A B C D E F G (entourer la bonne lettre)

Nom et adresse de l'Etablissement :

3. La traduction du livre de Kirchbaum U. et V. Wirth : Les Lichens bio-indicateurs - Les reconnaître - Evaluer la qualité de l'air (traduit de l'allemand par C. Van Haluwyn et JP Gavériaux) aux éditions Ulmer.

4. Un stage de formation de 2 journées organisé par Monsieur MARCINKOWSKI (Inspecteur Pédagogique Régional de S.V.T.) en collaboration avec la MAFPEN, animé par Chantal VAN HALUWYN, Damien CUNY et Jean-Pierre GAVERIAUX. *1er stage en mars 96 - 2ème stage en mars 97.*

Contenu proposé pour ce stage MAFPEN :

1ère journée au matin : Les champignons lichénisés : rappels anatomiques et physiologiques. Les partenaires de l'association lichénique. Les différents types de symbiose (1 heure).

- Travaux pratiques (2 heures) : étude macroscopique des thalles, reconnaissance des principales structures indispensables à l'identification, les réactions macrochimiques (K, C, KC et P), étude microscopique des thalles, apothécies, asques, ascospores, réactions microchimiques, utilisation du micromètre...

1ère journée après-midi : Sorties sur le terrain, 4 stations prévues, transect lichénologique d'une zone fortement polluée à une zone de pollution moyenne. Reconnaissance des espèces, technique du relevé, étude de la fiche de relevé... Classement dans une zone de pollution.

2ème journée au matin : Suite du transect lichénologique, prospection de zones faiblement polluées, 3 stations prévues. Plusieurs sites, en particulier près d'Arras, quelques cimetières militaires britanniques seront plus particulièrement étudiés (les espèces abondantes pourront faire l'objet de prélèvements).

2ème journée après-midi : Les lichens sensibles aux polluants atmosphériques, une faiblesse relative qui nous permet de les utiliser comme bioindicateurs de la qualité de l'air. Établissement d'une carte initiale, transmission des résultats et possibilité de globalisation. Utilisation de clés de détermination, clés des genres et clés des espèces. Bilan du stage.

Ce stage a également été proposé, en mars 97, aux techniciens de laboratoire dans le cadre des formations organisées par le CAFA de Lille. Une formation équivalente a été mise en place pour les membres des Associations en fonction des demandes.

4. Des clés simplifiées pour la détermination des espèces courantes

(Ces clés très simplifiées sont destinées aux élèves des collèges et lycées. Seules les espèces très courantes sont mentionnées. Toutes les espèces figurant dans l'échelle Van Haluwyn-Lerond sont indiquées).

Clé n°1 : Lichens foliacés

I. Thalle jaune orangé

1. K+ rouge

- a. Thalle ne dépassant pas 1 cm de largeur,
presque entièrement couvert d'apothécies **Xanthoria polycarpa**
- b. Thalle plus grand avec des apothécies (quand elles sont visibles) uniquement dans la
partie centrale du thalle **Xanthoria parietina**

2. K- ; lobes très petits, divisés, très nombreux et dressés les uns à côté des autres ; pas d'apothécies **Candelaria concolor**
- II. Thalle d'une autre couleur, tout au plus jaune verdâtre
1. Absence de rhizines sur la face inférieure
- a. Thalle de petite taille, ± appliqué au substrat, lobes creux et gonflés, en forme de gouttière renversée, terminés par des soralies labriformes, à face inférieure brun foncé à noire, brun clair vers l'extrémité **Hypogymnia physodes**
- b. Thalle de grande taille, dressé par rapport au substrat, papyracé non creux, marge crépue, face inférieure généralement brun clair **Platismatia glauca**
2. Présence de rhizines sur la face inférieure
- a. Lobes généralement larges à divisions divergentes
- Thalle K+ jaune à lobes portant des cils marginaux (poils marginaux parfois absents dans les zones fortement polluées)
- > Lobes terminés par des soralies en forme de lèvres **Physcia tenella**
- > Lobes terminés par des soralies en forme de capuchon **Physcia adscendens**
- Thalle K-, à lobes étalés sur le substrat et rhizines abondantes **Parmelia (Clé 4)**
- b. Lobes étroits à divisions ± parallèles
- Thalle K+ jaune **Physcia adscendens** ou **P. tenella**
- Thalle K-
- = Thalle ± fruticuleux, muni de cils marginaux, face supérieure tomenteuse **Anaptychia ciliaris**
- = Thalle non fruticuleux, dépourvu de cils marginaux
- + Lobes pruneux, rhizines ne débordant pas du thalle **Physconia grisea**
- + Lobes non pruneux, rhizines débordant du thalle . **Phaeophyscia orbicularis**

Clé n° 2 : Lichens fruticuleux

- I. Thalle à lobes pubescents, ± étalés et munis de cils marginaux **Anaptychia ciliaris**
- II. Thalle non étalé sur le substrat et dépourvu de cils marginaux
1. Thalle à ramifications cylindriques
- a. Couleur plutôt claire et présence d'un cordon axial **Usnea** sp.
- b. Couleur plutôt sombre et absence de cordon axial **Bryoria** sp.
2. Thalle à ramifications plus ou moins aplaties
- a. Les 2 faces concolores et vertes
- Présence de soralies marginales sur des lobes très fins **Ramalina farinacea**
- Absence de soralies
- > Apothécies terminales, presque toutes dans un même plan . **Ramalina fastigiata**
- > Apothécies latérales, lanières plus ou moins aplaties, très rigides **Ramalina fraxinea**
- b. Les 2 faces non concolores
- Face supérieure grise et fortement isidiée, face inférieure noirâtre tout au moins à la base **Pseudevernia furfuracea**
- Sorédies, face supérieure verte, face inférieure blanche **Evernia prunastri**

Clé n° 3 : Lichens crustacés

La détermination des lichens crustacés est complexe ; elle nécessite l'utilisation du microscope. Seules figurent dans ce protocole simplifié, les quelques espèces corticoles courantes, qui réapparaissent dans nos régions, dès que la qualité de l'air s'améliore.

- I. Thalle crustacé constitué d'une masse ± poudreuse
1. Gris-vert, sorédié, apothécies lécanorines (rebord non concolore au disque) peu nombreuses mais visibles à l'aide d'une loupe (x10) **Lecanora conizaeoides**
 2. Gris-vert ± nuancé de bleuâtre, toujours stérile **Lepraria sp.**
 3. Vert jaunâtre, couvert de sorédies poudreuses (C+ orange) **Lecanora expallens**
- II. Thalle crustacé formant une croûte inséparable du substrat
1. Présence de fructifications
 - a. en forme d'écriture chinoise
 - > fructifications situées sur le thalle, de longueur inférieure à 2 mm ; spores munies de 4-6 cloisons **Opegrapha sp.**
 - > fructifications situées dans le thalle, de longueur supérieure à 2 mm ; spores ayant plus de 10 cloisons
 - Thalle K+ jaune à rougeâtre, marge des lirelles sillonnée **Graphis elegans**
 - Thalle K- ou K+ brun-jaune, marge des lirelles non sillonnée **Graphis scripta**
 - b. en forme de petites boules noires (apothécies globuleuses)
 - > Thalle C+ orange souvent limité par une ligne hypothalline noire, spores incolores non cloisonnées **Lecidella elaeochroma**
 - > Thalle C-, spore brune munie d'une cloison **Buellia punctata**
 - c. en disques (apothécies lécanorines, bord et disque de l'apoth. de couleurs différentes)
 - > Apoth. serrées les unes contre les autres, th. K+ jaune **Lecanora chlarotera** (gr)
 - > Apoth. en groupes denses, thalle peu visible, K- **Lecanora dispersa**
 2. Absence de fructifications ou fructifications rares, thalle épais, gris clair ± bleuté, nettement lobé à la périphérie, sorédié **Diploicia canescens**

Clé n° 4 : Espèces du genre Parmelia : quelques espèces corticoles courantes

- I. Thalle jaune à jaune verdâtre (déficit ± important en pigments jaunes pour les spécimens recevant peu de lumière)
1. Médulle et soralies C+ rouge ; pseudocyphelles punctiformes **P. flaventior**
 2. Médulle et soralies C-
 - a. Lobes entre 5 et 13 mm de large, médulle K+ jaune **P. caperata**
 - b. Largeur des lobes inf. à 7 mm, médulle K+ jaune puis rouge **P. soredians**
- II. Thalle à dominante brune, vert ± brunâtre, gris-brun
1. Pas d'isidies, ni de soralies
 - a. Lobes très petits, se recouvrant comme les tuiles d'un toit (lobes imbriqués), pas d'apothécies **P. laciniatula**
 - b. Face sup. munie de nombreuses papilles coniques présentant un pore respiratoire à leur sommet **P. exasperata**
 - c. Thalle verdissant au contact de l'eau **P. acetabulum**
 2. Présence d'isidies ou de soralies
 - a. Thalle prumineux, lobes munis de poils blancs (x20) ; isidies fragiles donnant des zones blanchâtres par frottement, médulle C+ rouge **P. subargentifera**
 - b. Thalle non prumineux, face sup. dépourvue de poils
 - Isidies fragiles, ± globuleuses (x20), donnant des zones blanchâtres à jaunâtres par frottement ; lobes fortement appliqués sur le substrat ; face supérieure mate ; médulle C+ rouge **P. subaurifera**

- Isidies fragiles, cylindriques à ± coralloïdes, très nombreuses vers le centre du thalle, donnant des zones blanchâtres par frottement, face supérieure brillante, médulle C+ rouge, parfois K+ violet **P. glabratula**
- Isidies robustes, creuses, clavées à spatulées, médulle C- **P. exasperatula**

III. Thalle gris, gris-vert à gris-bleu

1. Isidies présentes, soralies absentes

- a. Pseudocyphelles simulant un réticule sur les jeunes lobes, lobes gris bleuâtre, brunâtres au niveau de la marge ; isidies concolores au thalle, souvent brunies à l'extrémité **P. saxatilis**
- b. Pas de pseudocyphelles
 - Isidies ± globuleuses, brun-noir à l'extrémité, ne laissant pas de cicatrice sur le thalle lorsqu'on les casse **P. tiliacea**
 - Isidies ± aplaties au sommet, noires, laissant une cicatrice sur le thalle lorsqu'on les casse **P. pastillifera**

2. Soralies présentes, isidies absentes

- a. Présence de pseudocyphelles (x20)
 - Face sup. avec pseudocyphelles allongées, fusionnant souvent pour former un réseau ; médulle et soralies C- **P. sulcata**
 - Face sup. avec pseudocyphelles ponctiformes (aspect de ciel étoilé) ; médulle et soralies C+ rouge
 - > face inférieure brun pâle au centre **P. subrudecta**
 - > face inférieure noire au centre **P. borrieri**
- b. Absence de pseudocyphelles (x20)
 - Médulle K-, C+ rouge ; lobes révolutes (retournés vers le substrat) **P. revoluta**
 - Médulle C-, K+ jaune orangé ; soralies marginales en forme de perles (rebord enroulé) **P. perlata**

VI. Résultats de la campagne

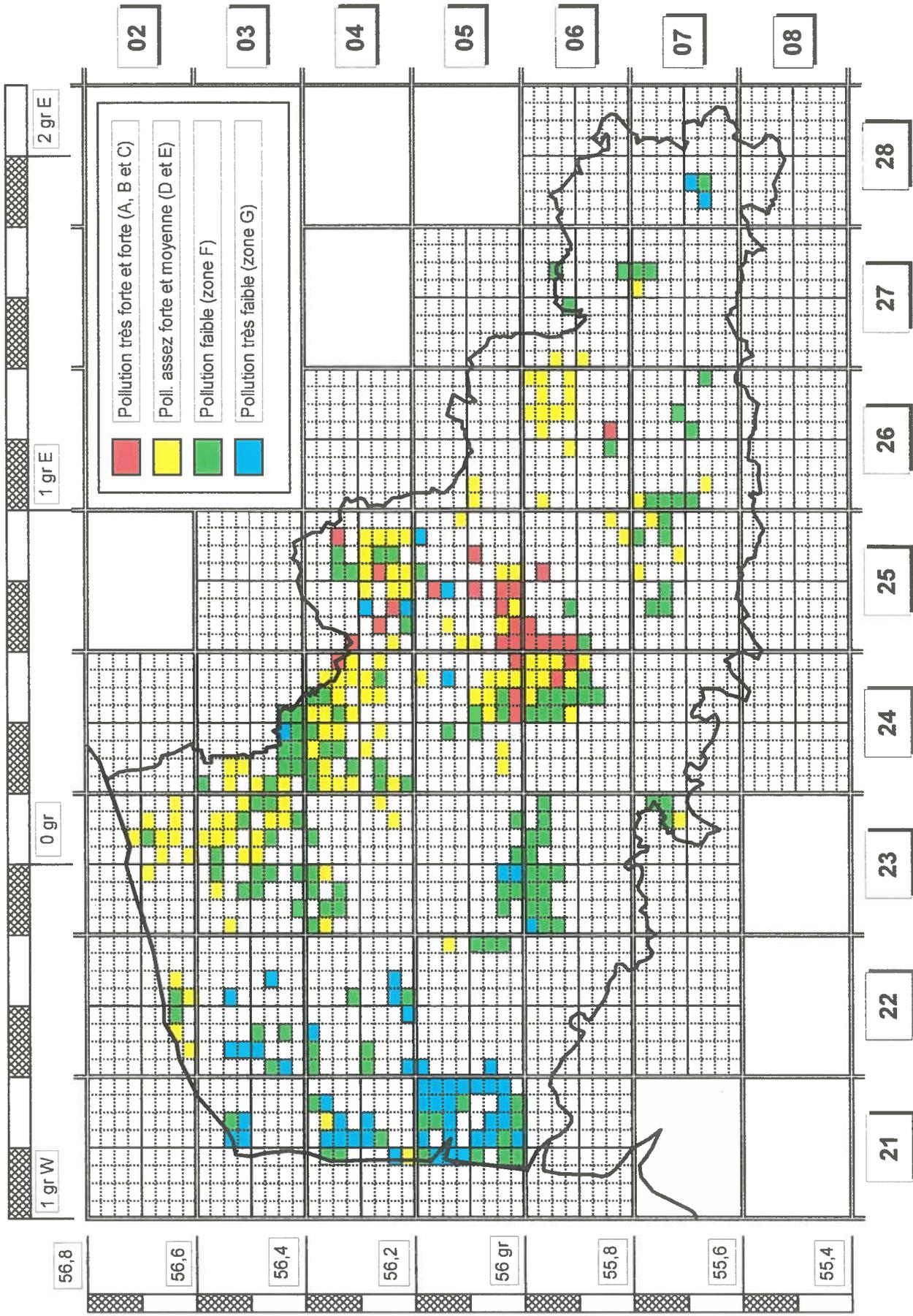
Plusieurs cartographies de la qualité de l'air, à partir de bioindicateurs, ont déjà été réalisées dans notre région par le laboratoire de Madame Van Haluwyn, professeur à la Faculté de pharmacie de Lille : 1973 - 1984 - 1992.

La méthode de cartographie proposée en 96-97, avec des mailles de 2,5 x 3,5 km, n'est réalisable qu'en faisant appel à un très grand nombre de participants, d'où l'idée de faire participer, les établissements scolaires afin d'obtenir, pour certaines zones fortement urbanisées du Nord et du Pas-de-Calais, des renseignements nombreux.

Pour chaque site prospecté, les enseignants ont fourni la liste des espèces présentes, sur un ensemble de 6 arbres dont le diamètre dépasse 20 cm et attribué la lettre correspondant au niveau de pollution. Les espèces posant un problème de détermination étaient collées sur les feuilles de relevés qui nous étaient transmises, afin d'éviter les erreurs de détermination (ceci a beaucoup rassuré les participants qui parfois n'envoyaient pas les fiches quand des espèces posaient un problème d'identification).

La carte présentée regroupe les résultats de 96-97-98 (environ 400 MER réalisées).

Le maillage du Nord-Pas-de-Calais a été reconstitué à partir de la carte Michelin 236 au 1/200 000 et des cartes IGN série verte 1, 2, 3, 4 et 5 au 1/100 000 à l'aide du tableur Excel 5 de Microsoft. Chaque cellule du tableur correspond à une maille de 2,5 x 3,5 km ; ce maillage



LICHENS ET CARTOGRAPHIE DE LA QUALITE DE L'AIR - NORD-PAS-DE-CALAIS - 1996-1998 - 15.09.98

informatique s'est fait par égalisation géométrique des mailles qui ne sont pas en réalité aussi régulières, les mailles situées au sud étant légèrement plus larges que celles situées au nord. Les diverses divisions du maillage sont représentées à l'aide des différents figurés de formatage des bordures, les contours des départements réalisés à l'aide du module de dessin.

Un travail d'adaptation est ensuite nécessaire pour faire figurer l'ensemble des 1900 mailles dans un format A4 en jouant sur la hauteur et la largeur des cellules. L'impression finale est réalisée sur imprimante couleur à jet d'encre. L'avantage de cette représentation informatique est la possibilité de garder en mémoire les diverses étapes de la réalisation et de modifier celle-ci rapidement, à tout moment, pour actualisation.

Quelques constats possibles :

- L'intérêt manifesté par de nombreux élèves pour ces activités de terrain. Des problèmes relatifs au transport des élèves ont été rencontrés (plan Vigipirate, difficultés financières, formalités administratives...), beaucoup d'enseignants devaient se limiter aux stations proches de leur établissement. Plusieurs professeurs ont préféré réaliser ce travail, avec un petit nombre d'élèves, dans le cadre des activités de clubs scientifiques.
- Le nombre important de lichens dans la région alors qu'il y a 20 ans, on avait dans de nombreux secteurs, un véritable désert lichénique. La comparaison avec des cartes antérieures, publiées par Madame Van Haluwyn, montre que dans plusieurs secteurs on assiste à une modification de la qualité de l'air. A l'intérieur de zones autrefois fortement polluées, existent des poches, contenant de nombreuses espèces lichéniques, en relation avec une amélioration de la qualité de l'air.
- Des zones, situées très proches les unes des autres, présentent des variations très importantes dans la qualité de leur atmosphère ; sur quelques km on passe de B à G, et par endroits, on a une véritable mosaïque de zones différentes avec des sauts de zones (B à côté de G).
- Les régions fortement urbanisées (comme le bassin minier, la région lilloise) sont encore très touchées par la pollution mais dès que l'on se dirige vers des zones élevées, où les vents sont pratiquement souvent actifs, ou vers des zones boisées ou humides (ex : le marais de Santes, vallée de la Sensée...), on assiste à une régression très nette de la pollution. Toutefois, ces sites sont loin de retrouver le paysage lichénique qu'ils présentaient au début du siècle (Travaux de Fockeu - 1900).
- Dans des zones où la pollution est très faible, nous trouvons des îlots, fortement pollués, qui correspondent souvent à des zones encaissées, à l'abri des vents, où les polluants atmosphériques stagnent certainement un certain temps avant de se diluer dans l'atmosphère.
- Certains sites possèdent de très nombreuses espèces (région de Montreuil, bois de Vimy...) ; ils constituent des réserves à partir desquelles la recolonisation future des sites environnants pourra s'effectuer. Dans ces zones certains arbres devraient être protégés !
- A l'intérieur de certaines mailles, il n'a pas été possible de faire de relevés, les élèves n'ayant pas trouvé de phorophytes. Dans certains paysages d'openfield, il est possible de faire plusieurs

km sans rencontrer un seul arbre. De nombreux secteurs, où les établissements scolaires sont moins nombreux, n'ont pas encore été prospectés.

- Lors de la globalisation des résultats, il faut une seule lettre par maille et il n'est pas toujours facile de décider dans quelle catégorie placer cette maille où l'on trouve plusieurs niveaux de qualité de l'air.

En conclusion

Cette campagne régionale en milieu scolaire montre qu'un grand nombre d'élèves et d'enseignants sont capables de se mobiliser sur un même thème lié à l'Environnement. Pour ces jeunes, la pollution de l'air n'est plus seulement un sujet de conversation mais un résultat concret, une série d'expériences de terrain, leur ayant permis de participer à l'édification d'une carte régionale (actuellement partielle mais qui peut être complétée). La diffusion des résultats hors de l'école et leur prise en compte par les autorités scientifiques et administratives, permettront aux élèves de percevoir leur rôle de citoyen.

A la demande de nombreux participants, la campagne est prolongée en 98-99, via le site Internet créé sur le serveur Edunet de l'Académie de Lille : <http://www2.ac-lille.fr/lichen>

ÉTUDES DE LA QUALITÉ DE L'AIR PAR LES LICHENS DANS LES QUATRE DÉPARTEMENTS DE BOURGOGNE

Olivier DAILLANT
Néronde
71250 Mazille

La bio-indication lichénique faisant son chemin, les demandes d'information se font plus nombreuses: il est donc utile d'avoir connaissance des différents travaux réalisés en France. Aujourd'hui sont présentées les études dont une partie au moins a été réalisée dans l'un des 4 départements de Bourgogne: Côte d'Or, Nièvre, Saône-et-Loire et Yonne.

Ne sont mentionnés ici que les travaux coordonnés par l'AFL ou l'Observatoire Mycologique; dans tous les cas cependant, au moins un membre de l'AFL a été impliqué. Sans prétendre à l'exhaustivité, ce récapitulatif peut être considéré comme relativement complet. Dans la mesure où nous ne reprenons que les travaux financés par un partenaire, nous ne recensons pas les inventaires anciens ni les recherches méthodologiques. Nous mentionnerons simplement pour mémoire que le Muséum d'Histoire Naturelle d'Autun abrite 6 herbiers de lichens, dont le plus ancien a été constitué au milieu du siècle dernier.

1. Les types d'études:

Le tableau 1 présente les études entrant dans le cadre délimité ci-dessus. La bio-indication n'étant pas encore un concept bien défini en dehors du cercle des initiés, nous l'avons réservé aux études portant sur les relevés d'espèces en vue de corrélérer leur présence à une échelle de qualité de l'air. Dans la colonne "Nature" (de l'étude), ce type de travail figure sous l'abréviation "ind.". Lorsque des échantillons de lichens sont prélevés en vue d'analyses de métaux, d'éléments-traces ou de radioactivité, on parle de bio-accumulation, "acc" dans le tableau; une revue bibliographique sur la bio-accumulation figure aussi dans cette rubrique. Enfin les travaux d'inventaire figurent sous la rubrique "inv".

2. Les partenaires:

La DDASS (Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales) de Saône-et-Loire a, à de nombreuses reprises, fait procéder à des études de qualité de l'air. Elle a ainsi commandé des études utilisant la bio-indication et la bio-accumulation à Chalon-sur-Saône (la première, en 1993, voir Roussel et Daillant et al.), Montceau-les-Mines (Roussel et Daillant et al.), Autun (Gueidan et al.) et le Creusot (Gueidan et Daillant 1996); elle a permis de compléter la première étude sur Mâcon en 1994 et fait réaliser en 1998 une étude sur le Charollais (Gueugnon, Digoin, Paray-le-Monial). Les DDASS de la Côte d'Or, de la Nièvre et de l'Yonne font actuellement réaliser ce type de travail sur les principales agglomérations de ces départements (sauf Dijon).

La Mairie de mâcon a été la première municipalité de Saône-et-Loire à faire réaliser une "étude lichens": elle a eu lieu en 1994 avec un nouveau point tous les deux ans, le troisième "état

des lieux" étant en cours (Voir Daillant et Jacquot, 1995 et Vincent et Daillant, 1997). Cela a permis une collaboration originale entre les services de la Mairie, les lichénologues et la Société savante de Mâcon, SEMINA (Société d'Etude du Milieu Naturel en Mâconnais): les membres de cette dernière ont procédé aux relevés de terrain après une formation initiale. La ville de Mâcon a aussi fait réaliser un inventaire des lichens de la ville en 1996, à l'occasion du congrès annuel de l'AFL; 72 taxons ont été recensés (Daillant 1996).

La DIREN (Direction Régionale de l'Environnement) a accepté de financer partiellement des recherches bibliographiques sur la bio-accumulation d'éléments-traces et d'éléments radioactifs dans les lichens et les champignons (Jacquot et Daillant, 1997).

La Commission Européenne (DG VI, Agriculture) a cofinancé, dans le cadre du règlement CEE N° 3528 du 17 novembre 1986, prorogé et modifié par le règlement N° 157 du 23 juillet 1992 sur la protection dans la Communauté des forêts contre la pollution atmosphérique, un inventaire des champignons et des lichens sur 14 placettes d'observation forestière dont 12 sont gérées par le réseau RENECOFOR, de l'ONF (Courtecuisse et al. 1997). L'une de ces placettes, DOU 71, se trouve dans le Morvan, en forêt d'Annot (plantation de Douglas); les autres sortent du cadre géographique fixé.

Enfin, en 1997, le Muséum d'Histoire Naturelle de Dijon a fait réaliser une étude complète sur l'estimation de la qualité de l'air par les lichens dans l'agglomération dijonnaise (Vincent et Daillant, 1997).

3. Le travail de terrain

Ce travail a soit été réalisé par des étudiants (mémoire de maîtrise à Chalon-sur-Saône) des CES (Dijon par exemple), des stagiaires (Autun, le Creusot), des membres de sociétés savantes et, plus récemment, par un "emploi jeune" (pour les relevés sur les 4 Départements de Bourgogne). Une connaissance de base en biologie était requise, qui a ensuite été complétée par une formation spécifique.

4. Méthodes

La méthode de base utilisée pour les relevés a été celle proposée par van Haluwyn et Lerond dans le guide des lichens. Elle a cependant été complétée par d'autres paramètres: pourcentage de couverture en espèces foliacées, présence de thalles juvéniles ou de thalles dégradés et suivi d'espèces pilotes comme *Parmelia caperata*. Lors des relevés réalisés en 1998, la méthode allemande de comptage des lichens dans dix carrés de 100 cm² a été appliquée parallèlement.

5. Particularités:

Un certain nombre de caractéristiques des études réalisées méritent d'être relevées. Dans la plupart des études, une palette assez large de métaux lourds et d'éléments traces ont été analysés: arsenic, plomb, cadmium, mercure, nickel, chrome, cobalt, cuivre et zinc. Certains éléments plus exotiques ont cependant parfois été recherchés:

l'argent a été analysé à différentes distances de l'incinérateur Kodak à Chalon, avec des écarts spectaculaires par rapport au fond naturel.

A Dijon le record de concentration de chacun des huit éléments recherchés a été trouvé à proximité de l'incinérateur.

Le manganèse a permis de tracer de façon précise l'impact de la centrale thermique de Montceau-les-Mines et des combustions de charbon des cités ouvrières.

L'impact de la combustion du charbon dans cette ville peut aussi être suivi de façon précise par les analyses d'éléments radioactifs naturels présents dans le charbon, en particulier le radium 226 et l'uranium 238 (Daillant et al. 1994).

Dans certaines villes, en particulier à Dijon, il est possible de rencontrer des lichens très poléophobes dans les sites les plus humides ou les plus abrités de la pollution: les usnées et *Ramalina* n'y sont pas rares.

Deux particularités portant sur le mode de réalisation du travail et sur la présentation des résultats méritent d'être soulignées:

- A Mâcon, les relevés ont été réalisés essentiellement par des membres de la société savante locale, SEMINA (Société d'Etude du Milieu Naturel en Mâconnais), permettant une véritable participation citoyenne au suivi de la qualité de l'air.

- L'étude à Dijon est également destinée à être incorporée dans une exposition sur l'environnement urbain, préparée par le Muséum pour 1999. Le rapport a donc été présenté sous forme de catalogue: une page de texte correspond à une page de graphisme (photos, cartes, tableaux...) placée en face.

6. Publications:

Les résultats de toutes ces études ne figurent pas nécessairement dans des publications *sensu stricto* : souvent, il s'agit de rapports ou encore de comptes-rendus édités dans des bulletins. Ils peuvent néanmoins être consultés sur demande et figurent donc dans la bibliographie ci-après.

RÉFÉRENCES PAR ORDRE CHRONOLOGIQUE:

ROUSSEL L. 1993 : Diagnostic de la qualité de l'air à Chalon-sur-Saône par les lichens; Rapport DDASS.

DAILLANT O., ROUSSEL L. et TILLIER C. et van HALUWYN C. 1993 : Estimation de la qualité de l'air par les lichens à Chalon-sur-Saône: 2° partie: Métaux lourds et éléments radioactifs; Rapport DDASS.

ROUSSEL L. 1994 : Observation de la qualité de l'air par les lichens à Montceau-les-Mines: Rapport DDASS.

DAILLANT O., ROUSSEL L. et TILLIER C. 1994 : Observation de la qualité de l'air par les lichens à Montceau-les-Mines : 2° partie : métaux lourds et radioactivité; Rapport DDASS.

GUEIDAN C. et DAILLANT O. 1996: Observation de la qualité de l'air au Nord de la Communauté Urbaine du Creusot et de Montceau (CUCM); Rapport DDASS.

- GUEIDAN C., DAILLANT O. et TILLIER C. : Observation de la qualité de l'air par les lichens à Autun; accepté pour publication dans le Bulletin d'Histoire Naturelle d'Autun.
- DAILLANT O. et JACQUIOT L. 1995: Observation de la qualité de l'air par les lichens à Mâcon, Terre Vive, N° 97 p 1 à 16.
- DAILLANT O. 1996: Inventaire des lichens de la ville de Mâcon; Bulletin de l'Association Française de Lichénologie N° 21 (2).
- VINCENT M. et DAILLANT O. 1997: Suivi de la qualité de l'air par les lichens à Mâcon, Terre Vive, N° 105, p 7 à 15.
- COURTECUISSÉ R., DAILLANT O., GUEIDAN C. et BOISSIÈRE J.C. 1997: Inventaire des champignons et des lichens sur 14 placettes dont 12 placettes RENECOFOR. Rapport Commission Européenne, DG VI, contrat 96.60.FR.007.0 , 116 p.
- JACQUIOT L. et DAILLANT O. 1997: Bio-accumulation des métaux lourds et d'autres éléments-traces par les lichens: Revue bibliographique; Observations Mycologiques, Bulletin de l'Observatoire Mycologique N° 12, p 2 à 31.
- VINCENT M. et DAILLANT O. 1997: Estimation de la qualité de l'air par les lichens à Dijon. Rapport de l'Observatoire mycologique pour le Muséum d'Histoire Naturelle de la Ville de Dijon.

Études de la qualité de l'air par les lichens dans les quatre départements de Bourgogne (O. Dailliant)

Année	Site	Partenaire	Nature			Particularités	Résultats
			ind	acc	inv		
1993	Chalon/Saône	DDASS 71	x	x		Bio-accumulation de l'argent dans les lichens	Rapport
1993/94	Montceau/Mines	DDASS 71	x	x		Bio-accumulation d'uranium et radium	Rapport
1994	Mâcon	Mairie Mâcon	x			Collaboration avec SEMINA	publié
		DDASS 71		x			
1995	Autun	DDASS 71	x	x			sous presse
1995	Revue bibli.	DIREN Bourgogne	x			Bio-accumulation des Métaux et éléments-traces	publié
1996	Mâcon	Mairie Mâcon	x	x	x		publié
1996	Le Creusot	DDASS 71	x	x			Rapport
1996	14 placettes ONF dont 1 en Bourgogne	Commission Européenne			x	Collaboration ave ONF	Rapport
1997	Dijon	Museum Hist. Nat	x	x		Flore très riche, Usées dans parcs par exemple	Publication prochaine
1998	Mâcon	Mairie Mâcon	x	x		Etude tous les deux ans	en cours
1998	Charollais	DDASS 71	x	x		Etude de la bio-accumulation sur 45 sites	en cours
1998	Nièvre	DDASS 58	x	x		et utilisation de la méthode KIRSCHBAUM et WIRTH	en cours
1998	Yonne	DDASS 89	x	x		Etude de la bio-accumulation sur 45 sites	en cours
1998	Côte d'Or	DDASS 21	x	x		et utilisation de la méthode KIRSCHBAUM et WIRTH	en cours

Tableau 1 : Récapitulatif des études réalisées en Bourgogne avec les partenaires et les associations ayant réalisé le travail de terrain.

Abréviations utilisées: AFL : Association Française de lichénologie
 DDASS: Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
 DIREN: Direction Régionale de l'Environnement
 SEMINA: Société d'Étude du Milieu Naturel en Mâconnais

Types d'études: ind : bio-indication
 acc : bio-accumulation
 inv : inventaire

COMPTE-RENDU DE L'ASSEMBLEE GENERALE 1998

Samedi 12 septembre 1998

Laboratoire de Biologie Végétale

Route de la Tour Denécourt

Fontainebleau.

Présents ou représentés: 45

La séance est ouverte à 15h00 par J. ASTA, Présidente. Un nouveau membre est accueilli: J. SIGNORET (élève de S. MÜLLER), qui démarre une thèse de lichénologie à METZ.

1. RAPPORT MORAL

Au cours de l'année 1997, l'AFL a eu une activité soutenue:

- Un séminaire a été organisé par J.C. BOISSIERE à FONTAINEBLEAU du 27 février au 2 mars, avec 27 participants (suite des déterminations des lichens récoltés au Mont CAROUX en 1995).
- La session de Bretagne organisée par C. van HALUWYN et P. LAUNE, du 24 au 30 août fut un franc succès; elle réunit 44 participants. La session a permis l'étude des sites suivants: Cap d'Erquy, plage de la Heussaye, Forêt de Quénécan, Cap Fréhel et forêt de Brocéliande. L'Assemblée Générale 1997 a eu lieu au cours de cette session, à Erquy, présidée par C. van HALUWYN. Le compte-rendu est paru dans le Bulletin de l'AFL 1998, 23 (1). J. ASTA et C. REMY y ont été élus Présidente et Vice-Président, en remplacement de C. ROUX et C. van HALUWYN.
- Sous la responsabilité de C. van HALUWYN, l'AFL s'est chargée de la traduction du livre de KIRSCHBAUM et WIRTH (ed. ULMER) sur les lichens bio-indicateurs. Il est rappelé que si l'ouvrage est acheté à l'AFL (120 F), 30% du prix revient à l'Association.
- Au cours de l'année 1997 a débuté également la publication d'un volume spécial de la Revue *Cryptogamie-Bryologie-Lichénologie*, en hommage à M. BELLEMERE. Cet ouvrage, dont le contenu a été rappelé par la Présidente, est paru en juillet 1998 (tome 19, fasc. 2 - 3) et peut être acheté par les membres de l'AFL pour 250 F.
- Trois Bulletins de l'AFL ont été édités en 1997: les volumes 21 (2), de décembre 96, 22 (1) et 22 (2) de 1997. La Présidente adresse les vifs remerciements de l'Association à C. van HALUWYN pour la direction de cette publication, ainsi qu'à tous les auteurs et particulièrement J.C. BOISSIERE et J.P. MONTAVONT pour la qualité de leurs articles et des illustrations photographiques.

- Des activités de formation ont été effectuées par différents membres: J.C. BOISSIERE (enseignement au DEA du Muséum), F. GUILLOUX et P. COLLIN (sorties Découverte et Connaissance de la Nature 95 à la Société de Sannois), J. ASTA et C. REMY (stage d'initiation aux lichens durant 3 jours à Briançon), J.P. GAVERIAUX (premiers stages d'initiation pour professeurs de lycée et collège, gardes écologiques environnement, assistants de laboratoire...) et S. DERUELLE (Cercle d'Etude de la Forêt de Rambouillet).

Le rapport moral est approuvé à l'unanimité.

2. COMPTE-RENDU FINANCIER

En l'absence de R. BEGAY, excusé, la Présidente commente le C.R. financier 97 (publié dans le Bull. AFL, 1998, 23 (1). Le bilan financier se compose du compte de résultat, du bilan de trésorerie et des mouvements sur le compte BRED.

Après examen et échange de vues, le C.R. financier est approuvé à l'unanimité. Les participants adressent leurs remerciements à R. BEGAY pour son dévouement dans sa mission de trésorier.

3. PREPARATION DES ACTIVITES PREVUES EN 1999

La Présidente rappelle au préalable les activités réalisées en 1998: le séminaire qui s'est tenu au laboratoire de Fontainebleau du 20 au 22 février 1998, le voyage au Danemark du 14 au 19 juillet sous la direction de U. SOCHTING et la parution du Bulletin 23 (1) en juillet 1998. La parution du n° 23 (2) du Bulletin est prévue pour la fin de l'année; celui-ci présentera le CR de l'Assemblée Générale, un article d'O. DAILLANT, un article de J. ASTA (méthodologie de mesure du pH des écorces), le début de compte-rendu des récoltes réalisées en Bretagne, le CR du stage effectué à MEYMAC (R. BEGAY et C. van HALUWYN), un CR de la campagne lichens réalisée avec les écoles dans la région du Nord, un CR des activités de J. ASTA à l'Université de GRENOBLE: résumé de thèse, liste des stages de maîtrise etc...

En vue de cette publication, C. van HALUWYN envoie à tous les membres qui ont participé à l'excursion de Bretagne une lettre leur demandant de lui faire parvenir la liste des déterminations qu'ils auraient pu déjà réaliser (pour le 1 novembre au plus tard).

Un article général sur les lichens illustré par M. VERNA est paru dans le magazine *Main Echo* (Mars 1998).

Un séminaire sera organisé par J.C. BOISSIERE et devrait se dérouler dans les locaux du laboratoire de Fontainebleau du vendredi 19 au dimanche 21 février. L'Assemblée Générale aura lieu samedi après-midi.

- Voyage en Corse

D. CUNY et son épouse ont passé une semaine en Corse durant l'été pour la préparation de la future excursion. Les dates, discutées en Assemblée, sont fixées du 14 au 21 avril 1999, afin que le maximum d'adhérents puissent y participer. L'hébergement aura lieu en

hôtel à Ajaccio et les déplacements dans l'Ile se feront en car; coût prévu: 215 F/jour/personne, 70 F le repas de midi, 3 F/jour pour la taxe de séjour et 350 F par semaine pour le transport en car. D. CUNY a préparé une circulaire qui sera envoyée à tous les membres de l'AFL.

4. QUESTIONS DIVERSES

- Questions administratives:

Le changement de siège de l'AFL, fixé maintenant au domicile de S. DERUELLE, 5, Square du Vimeu, 78 310 MAUREPAS a été publié au Journal Officiel du 9 mai 1998; cela a entraîné un coût de 165 F. Sur demande du Centre des Impôts de St Quentin-en-Yvelines, S. DERUELLE a fait parvenir les statuts de l'Association et communiqué qu'elle était exonérée d'impôts (régime fiscal et régime TVA).

A la prochaine AG, il faudra prévoir le remplacement de deux membres du Bureau (R. BEGAY et O. DAILLANT) pour la constitution d'un nouveau Bureau qui sera en exercice à partir de janvier 2000. F. GUILLOUX, J.P. GAVERIAUX, P. RAVEL sont pressentis.

Rappel du montant de la cotisation: 150 F.

- Publications:

J.C. BOISSIERE et J.P. MONTAVONT acceptent de continuer à travailler sur les lichens de France pour le Bulletin. D'après ces auteurs, il semble cependant difficile de réaliser à l'avenir un ouvrage sur ce sujet. Le livre *Guide des Lichens*, de van HALUWYN et LEROND est épuisé mais mériterait d'être réédité avec la participation de plusieurs auteurs.

La question d'une réactualisation de la petite flore de BOISTEL est posée. S. DERUELLE s'occupe des contacts avec les éditions BELIN. J.C. BOISSIERE propose sa participation pour l'exécution de dessins.

- Informations internationales:

- C. van HALUWYN propose la création d'un site Internet comportant: AFL index, recherches lichénologiques menées, équipes, vie de l'Association, forum de discussion, sommaire du Bulletin, quelques photographies de J.P. MONTAVONT. L'Assemblée est intéressée mais s'inquiète du coût de fonctionnement .

- C. van HALUWYN a transmis à J. ASTA un "mail" de P.L. NIMIS demandant diverses informations sur l'AFL pour l'IAL. J. ASTA se chargera de la réponse.

- J.C. BOISSIERE accepte d'être le correspondant de l'AFL pour l'IAL.

- Le congrès international de l'IAL aura lieu à BARCELONE en 2000.

- Prochaines excursions:

Plusieurs propositions sont faites sur lesquelles il faudra se prononcer d'ici quelques mois:

Charente Maritime (BEGAY - BPOISSIERE), Pyrénées (ROYAUD). A l'étranger: Croatie (O. DAILLANT). F. DUYLSCHEEVER, de Nantua, propose une excursion sur le crêt de la Neige et le Haut Bugey pour la Pentecôte de l'an 2000. L'Assemblée accepte cette proposition avec empressement, J. ASTA étant chargée de répondre à l'organisateur.

Propositions de C. REMY:

C. REMY, excusé, a envoyé des propositions pour l'établissement d'une liste rouge auquel l'AFL pourrait participer (ces propositions figurent sur un document séparé qui sortira dans le Bulletin) et pour des interventions de l'AFL comme formateur auprès de l'Office National des Forêts (voir texte ci-après).

De la part des membres de l'AFL, J. ASTA adresse à J.C. BOISSIERE et son épouse, à l'occasion de leur départ à la retraite, des remerciements sincères pour leur activité et leur dévouement et leur remet des livres en cadeau. Un dîner au restaurant clôture la journée.

L'ordre du jour étant épuisé, la séance est levée à 18h00.

Une excursion a eu lieu le dimanche 13 octobre au matin en forêt de Fontainebleau (Gorges de Franchard).

**PROPOSITION DE PROJETS CONCERNANT L'A.F.L.
ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU 12 SEPTEMBRE 1998**

Claude REMY
Les "hameaux du Villard"
46b, rue Joseph Silvestre
05100 BRIANÇON
Tel. Fax. 04 92 20 38 60

Etablissement d'une liste rouge des macrolichens de France.

Depuis plusieurs années, des listes rouges d'espèces menacées ont été dressées pour les phanérogames et pour la faune. Des listes existent au niveau National, Régional.

De nombreux Phanérogames, des Ptéridophytes, des Bryophytes figurent sur les listes officielles d'espèces végétales protégées au niveau National, Régional, Départemental (arrêtés ministériels et préfectoraux).

En France il n'existe pas de liste rouge de lichens (citons la liste rouge des macrolichens de la Communauté Européenne par E. Sérusiaux-1989- la liste rouge des lichens de Finlande).

En France, à ma connaissance seulement 3 listes de protection comportent des espèces lichéniques (Région Haute Normandie avec *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm., Région centre avec *Peltigera ponogensis* Gyeln., Département des Hautes Alpes avec limitation de récolte des lichens fruticuleux) ; (JE PRÉPARE UN ARTICLE SUR CE SUJET POUR UN PROCHAIN NUMÉRO DE L'A.F.L.)

L'établissement d'une liste de rouge de macrolichens menacés (il semble peut-être trop ambitieux, du moins pour l'instant, d'y inclure des espèces crustacées de petite taille ?) permettrait de mieux prendre en compte les espèces lichéniques dans les mesures d'aménagement du territoire et aiderait ainsi à mieux faire connaître la lichénologie (et l'A.F.L.).

Un tel travail pourrait ensuite déboucher sur une meilleure prise en compte des lichens lors de révisions de listes d'espèces végétales protégées.

A plus long terme, il pourrait être envisagé d'établir des listes rouges régionales.

Bien entendu, ces listes rouges devraient être validées par le Ministère de l'Environnement et (ou) par le Muséum National d'Histoire Naturel.

- Différentes étapes :

-

. Etablir un document justifiant l'établissement d'une liste rouge nationale (exemple en argumentant par la diminution d'un certain nombre d'espèces lichéniques sous l'effet de différentes menaces : ex. certaines exploitations forestières, pollution atmosphérique, modifications d'écosystèmes par agriculture intensive...). Il me semble bon que ce document soit fait par un spécialiste universitaire.

. Contacter le Ministère de l'Environnement et le Muséum d'Histoire Naturel pour proposer le principe d'établissement de cette liste rouge, et pour que l'A.F.L. soit chargée d'élaborer cette liste.

. Création d'un groupe de travail au sein de l'A.F.L. pour le choix des espèces, ce qui nécessite que ce groupe détermine des critères pour sélectionner les taxons devant figurer dans cette liste rouge. Il faut définir pour chaque espèce un indice de rareté, les menaces.

Intervention de l'A.F.L. comme formateur.

Il y a quelques années, lors d'une journée de formation de gardes de l'O.N.F. dans le Briançonnais, le chef de division de l'O.N.F. de Briançon m'a suggéré de contacter la division générale de l'O.N.F. pour proposer une formation officielle sur les lichens dans différentes régions françaises. Ces interventions pourraient concerner la formation et le recyclage des agents de l'office.

Il me semble que l'A.F.L. pourrait intervenir dans ces formations qui pourraient faire l'objet d'une rémunération pour l'association.

Des interventions de l'A.F.L. pourraient également être proposées par exemple dans des lycées ayant des formations sur l'Environnement (exemple : B.T.S. gestion de l'Environnement). Bien entendu, le problème est de trouver des membres disponibles. Avant d'entamer toute démarche "officielle", nous pourrions peut-être lancer un appel aux adhérents de l'A.F.L. (dans le prochain bulletin) pour savoir qui pourrait intervenir et dans quel secteur géographique.

STAGE DE BRYOLOGIE ET DE LICHÉNOLOGIE DU 24 AU 31 AOÛT 1998 À MEYMAC (CORRÈZE)

Robert BEGAY

Sous la direction de Askolds VILKS à la fois organisateur, intendant, guide, conférencier, déterminateur, véritable homme-orchestre de la station universitaire de Limoges à Meymac, et avec la collaboration active de Danièle VIDECOQ pour la lichénologie, s'est tenu pendant six jours un stage d'initiation aux mousses et aux lichens.

Les trois premiers jours ont été consacrés aux mousses, sphaignes et hépatiques du Plateau de Millevaches par six stagiaires présents. Les trois derniers jours, alors que l'effectif global était monté à vingt participants, le maximum pour le travail de laboratoire, ont vu cette petite troupe parcourir les forêts de feuillus et de résineux, les tourbières et les rochers ensoleillés, en quête de matériel à étudier.

Au total, pour chaque activité, une petite centaine de spécimens ont été récoltés et examinés.

Nous supposons que les stagiaires y ont pris un certain intérêt car la moitié d'entre eux ont adhéré à l'A.F.L. à l'issue du stage.

La session a été agrémentée par l'exposition de quelques œuvres d'une jeune charentaise, Pascale GADON, dont la recherche originale a pour point de départ les lichens.

Pour conclure, nous dirons que les facilités offertes par la station et la qualité des milieux parcourus ne sont pas sans doute étrangers à la réussite d'une telle manifestation.

Bruno DENNETIÈRE
Laboratoire de Cryptogamie
Muséum National d'Histoire Naturelle
12, rue Buffon
75005 Paris – France

tel : (0)1 40 79 31 87
fax : (0)1 40 49 35 94
email : cryplich@mnhn.fr

Bruno DENNETIÈRE, Maître de Conférences au Muséum National d'Histoire Naturelle et Conservateur des collections de lichens au Laboratoire de Cryptogamie a entrepris une étude des *Graphidaceae*. Désireux d'aborder l'étude de la variabilité du *Graphis scripta*, il serait reconnaissant envers les membres de l'A.F.L. qui accepteraient de lui faire parvenir des spécimens récents (études du polymorphisme enzymatique et systématique moléculaire) ou plus anciens (morphologie).

Il serait également très intéressé par toutes récoltes de *Graphidaceae* européennes ou extra-européennes.