



APPORTS DE LA CARTOGRAPHIE DES IMPACTS DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE SUR L'ENVIRONNEMENT À L'AIDE DES LICHENS ÉPIPHYTES⁽¹⁾

DANS LE CADRE DE L'ÉTUDE « SENTINELLES DE L'AIR »

I - INTRODUCTION

La loi sur l'air de 1996 préconise, notamment, une connaissance de la qualité de l'air sur l'ensemble du territoire et la mise en place de plans territoriaux. De manière générale, l'ensemble des plans (PRQA, PPA, PDU) a, entre autres objectifs, de mettre en place différentes mesures et projets d'aménagement permettant d'améliorer globalement la qualité de l'air.

Selon la définition de la pollution atmosphérique, la politique de gestion de la qualité de l'air a pour ambition de réduire les nuisances causées à la santé des individus, à l'environnement et sur le bâti.

Pour atteindre ces objectifs, il est nécessaire d'optimiser les outils d'évaluation de l'exposition personnelle des individus à la pollution. Cependant, ceux-ci doivent être complétés par des méthodes permettant d'apprécier les impacts à long terme des polluants sur l'environnement. En effet, la population est en relation permanente avec un environnement extérieur qui subit différents stress. Caractériser les impacts de la pollution sur l'environnement extérieur ne permet pas de prédire un effet sur la santé humaine mais cela permet d'apprécier, parmi le cocktail de polluants existants, lequel ou lesquels ont un impact plus important. Il est ainsi possible de caractériser « l'ambiance » dans laquelle évolue la population.

Dans l'ensemble des outils à développer, l'utilisation des végétaux en biosurveillance de la qualité de l'air semble, dans ce contexte, particulièrement indiquée. La biosurveillance est l'utilisation des réponses à tous les niveaux d'or-

ganisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement et pour en suivre l'évolution. (GARREC & VAN HALUWYN, 2002). Il est possible d'utiliser de nombreux organismes en biosurveillance comme les plants de tabac ou les lichens. Ce sont ces derniers que nous avons retenus ici. Ils sont sensibles aux polluants atmosphériques et ont déjà été utilisés dans des études précédentes dans les deux agglomérations qui nous intéressent : Lille et Dunkerque (VAN HALUWYN 1994, VAN HALUWYN et GOTTARD, 1995).

De plus, la biosurveillance répond à trois orientations du PRQA du Nord-Pas de Calais (8ème, 17ème et 44ème) en tant qu'outil d'évaluation des impacts des polluants atmosphériques sur l'environnement et outil de communication à propos de la pollution atmosphérique. Cela répond également aux orientations des PPA, et notamment ceux de Lille et Dunkerque, qui préconisent la mise en place d'outils d'évaluation des effets des polluants sur la santé et l'environnement.

Ce travail a comme objectif d'apporter, grâce à la biosurveillance, des informations sur l'impact des polluants atmosphériques sur l'environnement dans lequel évoluent les volontaires de l'enquête « Sentinelles de l'air ».

Pour cela, nous avons réalisé des cartographies des impacts des polluants atmosphériques sur l'environnement en nous basant sur l'observation des lichens se développant sur les arbres dans les agglomérations de Lille et Dunkerque.

(1)

Département
de Botanique,
Faculté
des Sciences
Pharmaceutiques
et Biologiques
de Lille,
Université
de Lille 2.

(2) Comité
Régional

Nord-Pas de
Calais de
l'Association
pour la
Prévention de la
Pollution
Atmosphérique.

II - MATERIEL ET METHODES

1 - Technique d'observation des communautés lichéniques

Lors de ce travail, nous avons réalisé une cartographie de la végétation lichénique grâce à la méthode de VAN HALUWYN & LEROND (1986). Celle-ci repose sur l'observation phytosociologique des groupements de lichens se développant sur les arbres, dans la moitié nord de la France.

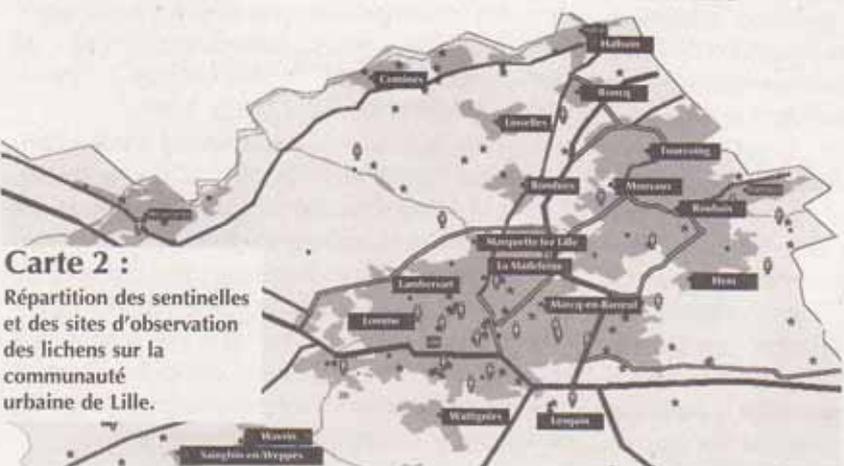
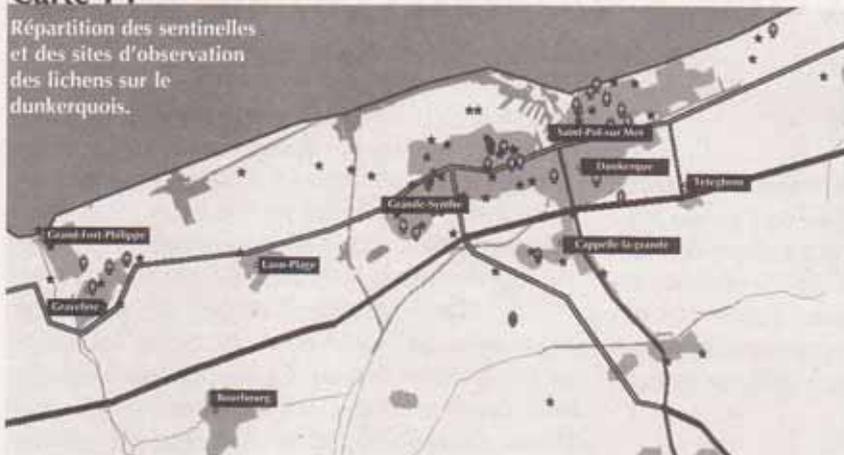
Pour son élaboration, les auteurs se sont appuyés sur la fragmentation des communautés lichéniques au fur et à mesure de l'augmentation de la pollution atmosphérique. Ces dégradations sont réparties en 7 niveaux de A (flore lichénique pauvre avec un impact de la pollution atmosphérique fort) à G (flore lichénique diversifiée, impacts des polluants atmosphériques faibles).

2 - Choix des stations lichéniques

Le choix des stations de relevés a été guidé par la répartition des sentinelles de l'air.

Carte 1 :

Répartition des sentinelles et des sites d'observation des lichens sur le dunkerquois.



Carte 2 :

Répartition des sentinelles et des sites d'observation des lichens sur la communauté urbaine de Lille.

Une station de relevés lichéniques doit comprendre au minimum 5 arbres. Pour cela, les arbres d'alignement, de parcs et jardins sont de bons supports. Certaines essences telles que les platanes, les bouleaux sont peu favorables au développement des lichens car leur écorce se desquame. Pour des raisons méthodologiques, il convient de ne pas prendre de stations en milieu forestier. En effet, les conditions écologiques et la dispersion des polluants atmosphériques y sont

particulières et entraînent un biais dans les observations. De plus, ces arbres doivent avoir un tronc non bas branchu et droit car un tronc incliné présente des conditions écologiques différentes qui favorisent le développement de certaines espèces.

3 - Les relevés lichéniques

Lorsque la station est sélectionnée, le relevé des espèces sur le tronc se fait à partir de 80 cm du sol à environ 1,80 m de haut. Les premiers 50 cm sont fréquemment exposés à diverses retombées, qui ont un impact significatif sur la flore lichénique. Il ne faut pas observer les lichens trop près du houppier de l'arbre, la proximité du branchage créant des conditions écologiques un peu particulières.

Dans ces limites, il convient d'observer l'intégralité des lichens du tronc. De plus, la présence de stades juvéniles plus fragiles et de nécroses (taches, colorations particulières des thalles) doit être indiquée sur la fiche de relevés. Si, lors du relevé, une espèce pose problème pour sa détermination, une partie du thalle est prélevée et l'identification est effectuée en laboratoire.

4 - Réalisation des cartes

Les cartes présentées ci-dessous ont été réalisées à l'aide des logiciels Surfer® pour l'interpolation (méthode par Krigeage) des résultats entre les points de relevés et le logiciel MapInfo® pour le rendu définitif. Les coordonnées géographiques ont été obtenues grâce au logiciel Carto explorer® de l'Institut Géographique National. Le système de coordonnées retenu est le WGS84.

III - RESULTATS

Pour les deux agglomérations, les résultats obtenus seront présentés de la façon suivante : une analyse descriptive de la carte des impacts de la pollution atmosphérique et une analyse des groupements d'espèces.

Remarque préliminaire : nous avons utilisé un outil géostatistique pour calculer les valeurs entre les points d'observation. Cet outil n'est pas un outil de modélisation au sens strict. Il se base sur des méthodes mathématiques fiables mais qui ont leurs limites. Ainsi, les valeurs sont calculées en fonction des points d'observation les plus proches. Plus ces points sont éloignés, plus l'image obtenue peut être erronée soit en surestimant, soit en sous estimant les valeurs réelles.

1 - Analyse sur le littoral dunkerquois

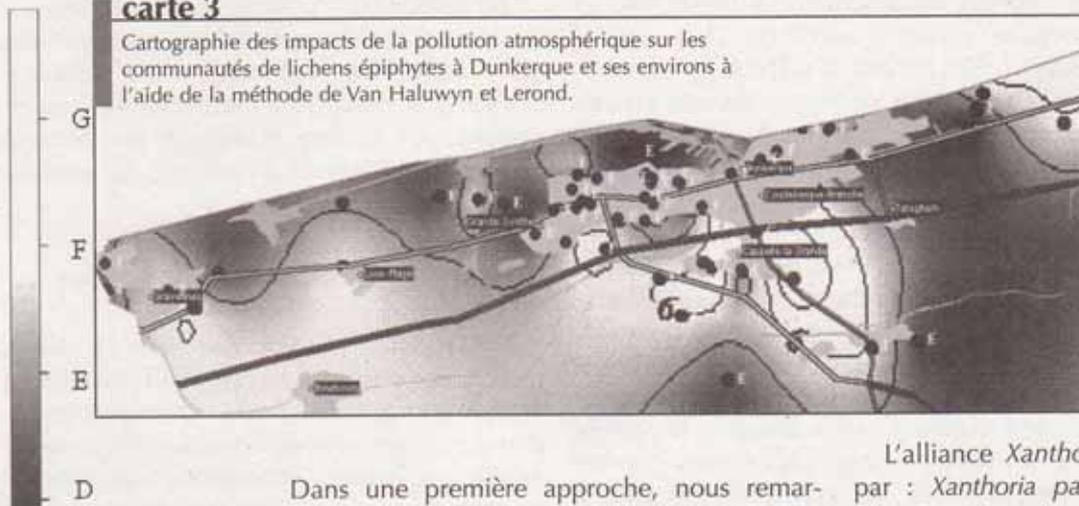
(CUNY *et al.* 2003, DOSSIN 2003, SILVIE 2003)

1a - Analyse cartographique

La carte 3 présente les résultats obtenus à partir des observations de la flore lichénique épiphyte.

carte 3

Cartographie des impacts de la pollution atmosphérique sur les communautés de lichens épiphytes à Dunkerque et ses environs à l'aide de la méthode de Van Haluwyn et Lerond.



Ces espèces sont caractéristiques de groupes appartenant à l'alliance *Xanthorion parietinae* Ochsner 1928 emend Barkm. 58 et, plus particulièrement, à la sous-alliance *Physcienion adscendentis* Barkm. 58.

Dans une première approche, nous remarquons que nous n'avons pas de situation correspondant aux niveaux A, B, C de la méthodologie employée. Nous observons une grande homogénéité des résultats avec une majorité de zones E et F. Sur l'ensemble de la zone prospectée, la flore lichénique est présente. Il n'y a donc plus de désert lichénique car les concentrations en SO₂ ne sont plus délétères pour les lichens.

Plusieurs points ont été notés G, notamment au niveau des zones de Fort Louis et de Fort Vallières avec le développement de la flore évoluant vers son climax (2). Ces résultats semblent indiquer, dans une première approche, que les conditions environnementales, dont la pollution atmosphérique est une composante importante, ont un impact limité sur les lichens.

1b - Les communautés d'espèces

L'analyse précédente doit être affinée avec celle des espèces observées. Les espèces ne se répartissent pas au hasard mais par groupes, en fonction de nombreux paramètres tels que les caractéristiques des arbres, les conditions climatiques, les paramètres de la station (humidité, ensoleillement...) et, bien sûr, de la pollution atmosphérique. Ces groupes ont été très travaillés, comme les groupements épiphytes qui nous intéressent ici, par des auteurs tels que BARKMAN (1958) (3).

Communautés à base de *Xanthoria* :

Nous avons réalisé un tri des espèces en fonction de leur fréquence. Ce tri montre une prédominance des espèces suivantes sur l'ensemble des sites :



Xanthoria parietina
(100 %)



Amandinea punctata
(85 %)



Physcia adscendens
(96 %)



Physcia tenella (94 %)

- *Phaeophyscia orbicularis* (88 %)



Parmelia caperata
(10 % des sites)



Parmelia revoluta
(8 % des sites)

L'alliance *Xanthorion parietinae* est dominée par : *Xanthoria parietina*, *Xanthoria candelaria*, *Physcia adscendens* et *tenella*, *Physconia grisea*, *Candelaria concolor*... Bien que non halophile, cette association est favorisée par l'imprégnation de sel. Elle est nitrophile et apparaît sur tous types d'habitats avec un apport d'azote. Subneutrophile, elle apprécie les pH compris entre 5 et 7.

L'association *Buellietum punctiformis* doit être signalée ici. *Buellia punctata* (renommée *Amandinea punctata*) en est l'espèce caractéristique. Elle est accompagnée de *Lecanora chlartera*, *Xanthoria polycarpa* et *Candelariella vitellina*. Les trois premières espèces sont fréquentes sur notre aire d'étude.

Cette association se développe sur des troncs isolés (peupliers, saules, tilleuls, frênes). Elle est photophile et xérophile-héliophile. Par rapport à la pollution atmosphérique, ces espèces sont nitrophiles, citées par Barkman (1958) comme « nettement toxitolérantes ».

A cette association, on peut ajouter *Diploicia canescens*, typique des habitats littoraux.

Le *Buellietum punctiformis* est une association pionnière dont le développement, en fonction des conditions locales, peut évoluer vers les groupes précédemment décrits.

Communautés à base de *Parmelia* :

Parallèlement aux observations précédentes, nous remarquons que les espèces appartenant au genre *Parmelia* (plus sensibles à la pollution atmosphérique) sont moins fréquentes, la plus représentée étant *Parmelia sulcata* (37,5 % des sites). Pour les autres espèces, parmi les plus sensibles à la pollution, nous obtenons les fréquences suivantes : *Parmelia perlata* (4 % des sites)

Ces espèces appartiennent à l'association : *Parmelietum caperato-revolutae* Delzenne et Gehu 1977 (DELZENNE & GEHU, 1978), association non pionnière de lichens foliacés et fruticuleux, des plaines et collines du nord ouest de l'Europe. Ces espèces ont une préférence pour les écorces acides (telles que celle du chêne) et sont poléophobes. Non pionnières, elles sont présentes dans des milieux stables, qui étaient déjà colonisés par les lichens. Elles constituent la végétation climacique (optimale) de notre région.

Enfin, le développement de ces communautés est lent, peut être perturbé par la pollution atmosphérique mais aussi par la présence d'espèces dont le développement est plus rapide. A noter que *Parmelia perlata* est une espèce nitrophobe.

2 - Analyse sur l'agglomération lilloise (CUNY et al, 2003)

2a - Analyse cartographique

La cartographie des impacts des polluants atmosphériques sur les communautés lichéniques épiphytes est présentée carte 4.



Carte 4 : cartographie des impacts de la pollution atmosphérique sur les communautés de lichens épiphytes dans la communauté urbaine de Lille à l'aide de la méthode de Van Haluwyn et Lerond.

Tout comme sur le dunkerquois, nous n'avons pas noté de sites en A, B ou D. Seul un point C a été observé sur le secteur rural entre Quesnoy sur Deûle, Linselles et Bondues, mais sans que cela puisse être directement relié à une source de pollution. Plus vraisemblablement, cela pourrait être dû à un faible nombre d'arbres favorables au développement des lichens.

Quelques sites en E ont été relevés au nord de la communauté urbaine entre Comines et Bousbecque, et au sein de l'agglomération lilloise (Boulevard Victor Hugo, Place Jean-Baptiste Lebas). Pour Lille, cela est probablement lié au type du substrat non favorable à la colonisation par les lichens (platane) mais aussi à son environnement immédiat qui est une zone de trafic important.

Par ailleurs, on constate un nombre important de zones F et G, réparties d'une manière homogène dans l'agglomération et en périphérie. Sur toute la zone, nous retrouvons également la présence de la flore lichénique qui démontre, là encore, l'impact limité de la pollution atmosphérique.

2b - Les communautés d'espèces

De la même manière que pour Dunkerque, nous avons étudié la composition spécifique de chaque relevé. Celle-ci sera commentée par rapport aux fréquences de chaque espèce qui sont reliées aux données lichénosociologiques. Nous ne reprendrons pas ici les données écologiques fondamentales de chaque groupement qui sont exposées précédemment.

Communautés à base de *Xanthoria* :

6 espèces ont des fréquences supérieures à 90 %. Il s'agit de *Physcia tenella* (100 %), *Xanthoria parietina* (98%), *Physcia adscendens* (94 %), *Phaeophyscia orbicularis* (92 %) et *Amandinea punctata* (91 %). Nous retrouvons clairement ici les espèces nitrophiles du *Xanthorion parietinae*.

Les espèces du *Buellietum punctiformis* sont également présentes avec *Lecanora chlorotera* (43 %) et *Xanthoria polycarpa* (74 %). Nous retrouvons donc sur Lille les groupements nitrophiles poléotolérants observés sur Dunkerque.

Communautés à base de *Parmelia* :

Le *Parmelietum caperato-revolutae* est bien représenté sur la CUDL, avec :

Parmelia caperata (62 % des sites)

Parmelia revoluta (34 % des sites)

Parmelia perlata (9 % des sites).

Nous retrouvons donc des espèces poléophobes réparties d'une façon assez homogène sur la CUDL. Ces espèces sont plus fréquentes que dans l'agglomération dunkerquoise.

Commentaires sur quelques espèces particulières :

Parmelia sulcata est une espèce très présente (fréquence : 96 %). C'est une espèce très connue, ubiquiste et très largement répandue. Elle se développe sur tous les types de substrats (arbres, rochers, occasionnellement sur le sol), des régions côtières aux montagnes. Elle tolère les substrats riches en nutriments. Ces caractéristiques écologiques font qu'elle peut se retrouver dans différents groupements. Ainsi, BARKMAN (1958) la cite dans différentes associations comme le *Parmelietum acetabulae* en la mentionnant comme l'une des espèces les plus toxitolérantes de l'association.



Parmelia soledians

Parmelia soledians est présente sur 19 % des sites. Morphologiquement, cette espèce ressemble beaucoup à *Parmelia caperata*. VAN HALUWYN et GOTTARD (1995) ne la mentionnaient pas. Cette espèce avait été précédemment remarquée sur le littoral (2 stations dans le Pas de Calais) par Van Haluwyn (communication personnelle). Elle est connue en Basse Normandie, dans les Pays de Loire, en Gironde et dans le sud de la France. Elle a donc une nette tendance à se développer au-dessus de la limite nord de son aire de répartition observée auparavant. Du point de vue écologique, c'est une espèce qui peut se retrouver dans le *Parmelietum caperato-revolutae*. Elle est héliophile et neutrophile (moins acidophile que *Parmelia caperata*). Enfin, il est important de signaler qu'un consensus se dégage à l'heure actuelle dans la communauté lichénologique pour en faire une espèce indicatrice du réchauffement climatique global. Dans l'état actuel de nos observations, nous y souscrivons.

Le genre *Usnea* a été observé sur 6 sites. Ce genre est complexe pour la détermination des espèces, qui nécessite fréquemment une étude chimique par chromatographie sur couche mince. Cette technique nécessite bien sûr le prélèvement de tout ou partie du thalle, ce que nous avons préféré ne pas faire ici afin de préserver les sites. Les espèces du genre *Usnea* sont généralement assez sensibles à la pollution et se développent dans des situations stables au point de vue écologie (arbres anciens, sites peu perturbés).



Pseudevernia furfuracea

Pseudevernia furfuracea. Cette espèce était présente lors des observations menées par VAN HALUWYN (VAN HALUWYN et GOTTARD, 1995). Sa présence avait été notée sur sol et sur des arbres sur des terrils miniers. Il semble que l'utilisation de bois de conifère pour étayer les mines ait favorisé le développement de l'espèce, ces bois étant porteurs des diaspores. Cette situa-

tion aurait été le point de départ à la propagation de l'espèce notamment vers l'agglomération lilloise (VAN HALUWYN, 1992). Cette espèce est décrite comme collinéenne montagnarde et est très acidophile. C'est grâce à cette caractéristique qu'elle a pu se développer en plaine sur des écorces acides. On la retrouvait dans des sites bien établis (ce n'est pas une espèce pionnière), peu perturbés et peu pollués. Elle n'est plus présente dans nos relevés. Cette disparition relativement rapide pourrait être expliquée par une perturbation du pH des écorces et/ou l'enrichissement des écorces, notamment avec des composés azotés.

IV - DISCUSSION

Les données obtenues sur Dunkerque montrent une situation où les effets de la pollution atmosphérique sur la flore lichénique diminuent. Nous n'avons effectivement plus de zones notées A, B, C et D. Ces faits révèlent un impact moins important de la pollution acide, même si celle-ci reste encore, périodiquement, un problème sur le littoral.

L'analyse en composantes principales a clairement mis en évidence, selon l'axe 1, un degré d'anthropisation. Les sites se répartissant selon les autres axes en fonction des caractéristiques écologiques.

Sur Lille, la situation est différente. Aussi bien en centre ville qu'en périphérie, les relevés sont homogènes. Ainsi, le phénomène d'anthropisation n'est pas clairement mis en évidence.

Du reste, il est difficile de comparer les deux agglomérations. En plus des caractéristiques de la pollution atmosphérique, les variables écologiques importantes telles que la situation littorale, le régime des vents, sont trop différentes pour établir cette comparaison. Cependant, tout en restant prudent, il est remarquable de constater l'existence d'un point commun important. Les relevés effectués dans ces deux villes sont largement dominés par les espèces nitrophiles du *Xanthorion parietinae*.

Il convient dès à présent de replacer nos observations dans un contexte plus général. Des observations floristiques tout à fait similaires ont été effectuées par Krike dans l'ancien bassin industriel de la Ruhr (KRICKE, 2002) par Purvis à Londres (PURVIS et al, 2003) par Van Herk en Hollande (VAN HERK, 2001). Lors d'un précédent travail le long de l'autoroute du Nord (A1, Paris Lille) nous avons également mis en évidence ces groupements lichéniques (CUNY et VAN HALUWYN, 1997).

Les interprétations diffèrent selon les auteurs et les situations. Ainsi, VAN HERK (2001) observe une relation directe entre l'abondance des espèces nitrophiles, la disparition des espèces acidophiles et les concentrations d'ammoniac NH_3 atmosphérique. Pour la Hollande, les sources de NH_3 semblent clairement être les élevages.

Bien entendu, la contribution de ces sources est moins importante en milieu industriel et urbain. Dans ces derniers, les composés azotés sont plus sous la forme de NO_x (NO et NO₂). Il est important également de souligner que les pots catalytiques émettent du NH₃ en quantité non négligeable.

VAN DOBBEN et TER BRAAK (1998) soulignent que le NH₃ cause une augmentation du nombre total d'espèces ainsi que celui du groupe des nitrophiles, mais par contre diminue l'abondance des acidophiles. Nos observations correspondent à cela.

Un colloque a eu lieu récemment en Angleterre sur cette question. Un consensus s'est dégagé entre les lichénologues sur l'influence des composés azotés sur la flore lichénique. Après un impact très important de la pollution acide, l'évolution de la flore lichénique suite à la diminution de cette pollution est fortement influencée par les composés azotés. Reste que les impacts des différents composés azotés sont encore clairement à établir. De plus, ces impacts peuvent se faire aussi bien sur les lichens que sur leurs substrats (en modifiant leur richesse en éléments nutritifs). Cette modification du substrat amène également la question du rôle des poussières qui, si elle est évoquée, reste encore largement à travailler. Cette question se pose d'une manière assez nette sur le littoral dunkerquois. Dunkerque arrive en 7^{ème} position, avec une concentration annuelle de 26 µg/m³, pour un objectif de qualité de 30 µg/m³. Exception faite du cas tout à fait particulier de la Côte d'Azur, Dunkerque est, avec la Lorraine et Marseille, l'une des agglomérations les plus empoussiérées de France, malgré les efforts réalisés par les industriels et les conditions climatiques de dispersion (enquête MATE - ADEME in projet de PPA DE L'AGGLOMERATION DUNKERQUOISE, 2002).

Dès lors, nous pouvons dire que les impacts majeurs de la pollution atmosphérique sur les deux situations observées sont une modification de la flore avec un développement favorisé des espèces nitrophiles dû aux effets directs et/ou indirects des composés azotés. Au niveau des sources, cela met en évidence l'impact de plus en plus important du trafic routier sur les deux agglomérations. Dans l'agglomération de Dunkerque, il est nécessaire d'ajouter au trafic routier, les émissions industrielles.

Les données que nous avons obtenues sont tout à fait complémentaires avec celles des AASQA des deux agglomérations. Celles-ci observent d'une manière globale une amélioration de la qualité de l'air, mais le problème des oxydes d'azote et par delà du trafic routier en général, se pose de plus en plus. Ce fait est particulièrement remarquable dans la région de Lille, mais est aussi présent dans celle de Dunkerque. Comme nous l'avons déjà mentionné, cette agglomération

se caractérise par une large zone industrielle émettrice de composés azotés. Cependant, les données des capteurs de proximité routière montrent bien, là aussi, l'importance du trafic.

V - CONCLUSION

L'évaluation de la qualité globale de l'air autour des lieux de résidence des sentinelles sur Lille et Dunkerque a montré une évolution de la flore lichénique épiphyte.

En effet, sur les deux aires d'étude, cette évolution s'oriente vers une raréfaction des zones de mauvaise, voire de très mauvaise qualité de l'air, et des niveaux de bonne qualité de l'air (F, G) ont été notés. A Lille, cette amélioration a aussi bien été observée en centre ville qu'en périphérie de l'agglomération. A Dunkerque, la répartition des sites est fonction de leur anthropisation mais aussi de leurs caractéristiques écologiques. Les lichens sont ainsi beaucoup plus présents dans les zones urbanisées, notamment au niveau des parcs urbains, et parfois, sont très proches des zones industrielles.

Or, le développement de cette couverture lichénique n'évolue pas vers son optimum. Nous assistons à une banalisation de cette flore où vont dominer des espèces nitrophiles (*Physcia*, *Xanthoria parietina*...) où leur prépondérance est constatée lors des relevés.

Depuis quelques années, l'augmentation de ces espèces nitrophiles, précédemment absentes, ainsi que l'observation de l'appauvrissement des espèces acidophiles (sauf pour *Hypogymnia physodes*) tend à montrer une imprégnation de plus en plus importante de l'environnement par l'azote. Ainsi, nous observons le passage d'une pollution de type acido-particulaire, d'origine industrielle, à une pollution d'origine azotée. Les poussières peuvent également être associées à ce phénomène.

Cet impact de plus en plus prononcé de la pollution azotée sur l'environnement peut avoir différentes sources : l'élevage, l'automobile et l'industrie. Ainsi, dans la continuité des observations faites par les AASQA, nous mettons en évidence l'impact d'une pollution atmosphérique azotée importante et en augmentation sur le territoire des Communautés Urbaines de Lille et de Dunkerque. Etant donné les contextes urbains et notamment sur Lille, cette pollution azotée va provenir des émissions automobiles (NH₃ émis en quantité non négligeable par les pots catalytiques) et est associée dans le dunkerquois aux émissions industrielles.

L'ensemble des observations constatées au cours de ces cartographies et le basculement vers une pollution à dominance azotée amènent à penser que la place de certaines espèces lichéniques dans l'échelle d'évaluation de la qualité globale de l'air devra être modifiée par la suite afin d'éviter une surestimation de celle-ci.

Cette étude lichénique s'intégrant à celle des « Sentinelles de l'air » constitue une approche de l'évaluation des risques sanitaires quant à la pollution atmosphérique. Nous pouvons donc dire que les volontaires de l'étude « Sentinelles de l'air » évoluent dans un environnement de plus en plus marqué par les polluants azotés. Cette mise en évidence démontre bien que la place de la voiture pose de plus en plus de problème sur l'environnement. La distribution et l'abondance des lichens nous donnent des indications quant au degré de cette pollution azotée.

VI - BIBLIOGRAPHIE

BARKMANN J.J. (1958) *Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes*, Ed. Van Gorain, 640 p.

CUNY D. & VAN HALUWYN C. (1997) *Diagnostic écolichénique de la qualité de l'air à proximité de l'autoroute du Nord*, rapport, 13 p.

CUNY D., DAVRANCHE L., KEMPA M., VANDAMME L., PAILLEUX N., CAOUS A.S., DOSSIN M., SILVIE J.P. & VAN HALUWYN C. (2003b) « Comparison of lichen flora (between 1995 and 2002) in two cities in the north of France : contribution of nitrogen pollution ? » in : *Nitrogen in the Environment*, Nettlecombe Court, Taunton, Angleterre, 24-27/02/03.

DELZENNE C. & GEHU J.M. (1978) Sur deux associations épiphytes du Parmelion caperatae des plaines et collines françaises, *Documents Phytosociologiques*, II, 117-126.

DOSSIN M. (2003), *Cartographie de la contamination métallique et de la qualité globale de l'air à l'aide des lichens sur le littoral dunkerquois*, Thèse pour l'obtention de diplôme de Docteur en Pharmacie, Lille, 103p.

GARREC J.-P. & VAN HALUWYN C. (2002) *Biosurveillance végétale de la qualité de l'air*, Editions Tec et Doc, Lavoisier, 117 p.

KRICKE R. (2002) Bioindication with lichens in the Ruhr area, in : *Eurobionet 2002 Conference on Urban Air Pollution, Bioindication and Environmental Awareness*, 5-6 Novembre, Stuttgart.

PURVIS O. W., CHIMONIDES J., DIN V., EROTOKRITOU L., JEFFRIES T., JONES G. C., LOUWHOFF S., READ H. & SPIRO B. (2003) Which factors are responsible for the changing lichen floras of London ?, *The Science of Total Environment*, 310 (1-3), 179-189.

SILVIE J.P. (2003), *Cartographie de la contamination métallique et de la qualité globale de l'air à l'aide des lichens sur le littoral dunkerquois*, Thèse pour l'obtention de diplôme de Docteur en Pharmacie, Lille, 103p.

VAN DOBBEN H.F. & TER BRAAK C.J.F. (1998) Effects of atmospheric NH₃ on epiphytic lichens in the Netherlands : the pitfalls of biological monitoring, *Atmospheric Environment*, 32, 551-557.

VAN HALUWYN C. (1994) *Niveaux de la qualité de l'air sur le littoral Calais-Dunkerque ; évaluation en fonction de la diversité lichénique*, Rapport SPPI du Littoral, 57-74.

VAN HALUWYN C. & GOTTARD S. (1995) *Cartographie de la qualité de l'air de la communauté urbaine de Lille à partir de l'observation des lichens*, Rapport AREMA LM, 14p.

VAN HALUWYN C. & LEROND M. (1986) *Les lichens et la qualité de l'air. Evolution méthodologique*, Rapport Ministère de l'Environnement, SRETIE, Paris, 207p.

VAN HERK C.M. (2001) Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of changes in epiphytic lichen composition in space and time, *Lichenologist* 33(5), 419-441.

NOTES

(1) **Epiphyte** : tout végétal non parasite et non symbiotique qui croît sur un autre, sans lien direct avec le sol. Par exemple une mousse ou un lichen poussant sur le tronc d'un arbre.

(2) **climax** : lorsqu'une végétation échappe à l'action de l'homme, elle présente généralement une transformation spontanée et lente au cours de laquelle des groupements végétaux vont se succéder en chaque point de l'espace, en tendant vers son optimum. Au bout d'un certain temps (variable suivant les conditions écologiques), la végétation se met en équilibre avec le milieu, elle arrive à maturité. C'est ce stade de maturité naturelle que l'on appelle le climax.

(3) Comme la taxonomie classique, qui donne à chaque espèce un nom latin ainsi qu'à chaque famille, ordre etc., dans lesquels elle se situe, la phytosociologie hiérarchise les groupements d'espèces, de la même manière, en leur attribuant des noms latins. Nous suivrons ici les dénominations des différents groupes (alliance, association...) les plus classiquement reconnues dans la littérature.

(4) **poléophobe** : se dit d'une espèce qui ne peut se développer en présence de pollution.

Ce travail a bénéficié du soutien du Conseil Régional Nord-Pas de Calais, de la délégation régionale de l'ADEME, du Programme Régional Action Santé Environnement (PRASE), Dunkerque Grand Littoral.