



L. DAVRANCHE (1), D. CUNY (1,2), C. VAN HALUWYN (1,2),  
N. PAILLEUX (2), L. VANDAMME (2), B. CARON (2)

## DÉVELOPPEMENT DU RÉSEAU DE LA CAMPAGNE DE CARTOGRAPHIE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE PAR L'OZONE GRÂCE AUX PLANTS DE TABAC EN RÉGION NORD-PAS DE CALAIS

### I - INTRODUCTION

L'ozone troposphérique, polluant secondaire issu de la combinaison chimique de polluants pré-curseurs (composés organiques volatils, oxydes d'azote, monoxyde de carbone), sous l'action du rayonnement ultra-violet, est un polluant dont les concentrations moyennes sont en augmentation régulière sur l'ensemble de la France.

Au niveau national, le bilan de l'indice ATMO<sup>1</sup> montre que les fortes valeurs estivales de ce dernier sont dues à l'ozone. L'ozone est donc un polluant principalement (et non exclusivement) estival qui se manifeste souvent lors de périodes anti-cycloniques où le rayonnement intense du soleil a pour effet d'augmenter le taux de pollution et de conduire à des « pics ».

La surveillance quotidienne de cette pollution photochimique par les quatre réseaux du Nord-Pas de Calais (AREMA-LM, AREMARTOIS, AREMASSE, OPAL'AIR) montre que les concentrations en ozone sont également en augmentation dans la région. C'est d'ailleurs le seul polluant mesuré qui connaisse cette tendance.

Cette pollution photochimique va ainsi poser de plus en plus de problèmes aussi bien au niveau de la santé (irritations oculaires, symptômes respiratoires), qu'au niveau environnemental où ses effets sur la végétation sont connus depuis longtemps.

Nous utilisons la biosurveillance (méthode complémentaire des mesures physico-chimiques) afin de caractériser cette pollution au niveau de l'ensemble du territoire régional et pour en apprécier les impacts à long terme sur l'environnement. La biosurveillance est " l'utilisation à tous les niveaux d'organisation 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).

Le tabac Bel W3 est utilisé en tant qu'espèce sentinelle pour permettre cette première évaluation d'écotoxicité de l'ozone dans la région Nord-Pas de Calais.

L'objectif est de pérenniser et de développer, dans un but scientifique et pédagogique, le réseau de biostations en région afin de bénéficier d'une évaluation des impacts de la pollution atmosphérique par l'ozone à chaque période estivale sur les écosystèmes.

### II - LES EFFETS DE L'OZONE SUR LA VÉGÉTATION

L'ozone est un polluant phytotoxique important, dont les premiers effets ont été observés, dans les plantations de tabac aux Etats-Unis dans les années 50.

L'ozone va pénétrer dans les plantes par les stomates<sup>2</sup> où une part importante de l'ozone sera détruite. Le reste pourra atteindre les cellules et y provoquer de nombreux dégâts.

Les effets chroniques de l'ozone sur certaines plantes provoquent un stress oxydant qui se manifeste par l'apparition de nécroses foliaires : taches de petite taille, bien rondes, d'abord blanc ivoire puis brunes, pouvant fusionner par la suite pour atteindre de grande surface (cf. photos 1 & 2).

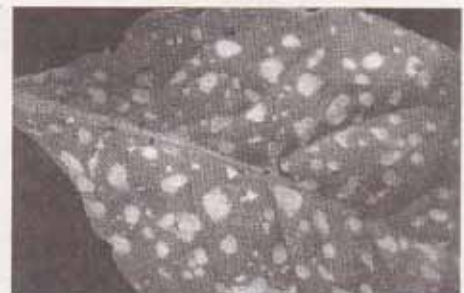
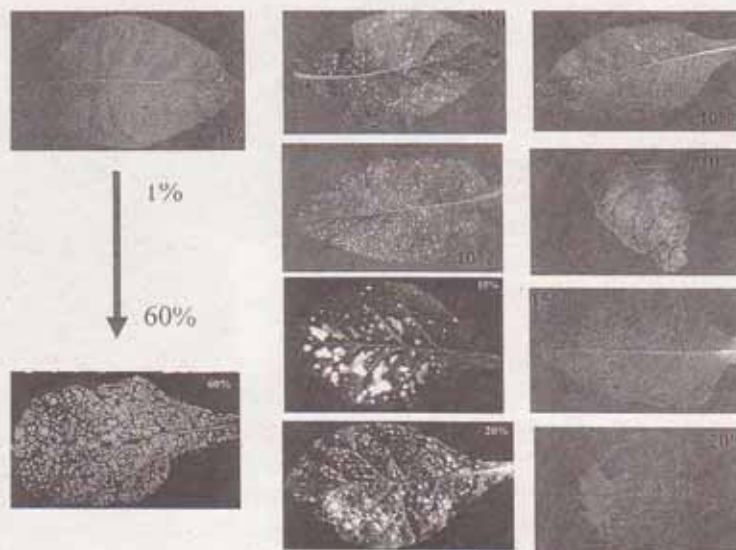


Photo 1 : Nécrose sur tabac (APPA).

(1) Comité Régional Nord-Pas de Calais de l'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique

(2) Département de Botanique, Faculté des sciences Pharmaceutiques et Biologiques de Lille, Université de Lille 2

**Photo 2 :** Exemple de la planche de référence N°2  
(Eurobionet, JF Castell)



Ces nécroses témoignent de la mort des cellules de l'épiderme foliaire. Celle-ci est causée par l'oxydation de composés cellulaires, par des espèces réactives de l'oxygénées telles que  $O_3$ ,  $H_2O_2$ ,  $\cdot OH$ ,  $O_2$ . La surface foliaire nécrosée est proportionnelle à la concentration d'ozone présente dans l'atmosphère pendant la période d'exposition. Elles apparaissent chez le tabac Bel W3 à partir d'une exposition à une concentration de  $80 \mu g/m^3$  pendant 3 heures.

Même en l'absence de symptômes visibles, les effets de l'ozone peuvent aussi se manifester de façon plus diffuse en provoquant un stress oxydant qui va toucher de nombreuses voies métaboliques comme la photosynthèse, la respiration, l'utilisation des sucres... L'ozone affecte la photosynthèse en attaquant les membranes des chloroplastes<sup>3</sup> et différentes enzymes. *A contrario*, l'activité respiratoire augmente avec l'exposition ainsi que l'utilisation des sucres (ce qui crée un déséquilibre entre la production et l'utilisation de sucres). En cas d'exposition à de fortes concentrations, la chlorophylle peut être détruite.

Au sein des cellules végétales, l'ozone provoque des réactions en cascade. Il induit la production de produits tels des signaux chimiques (l'éthylène, l'acide salicylique...) qui peuvent servir de messenger pour activer différents mécanismes tels que la mort cellulaire ou l'activation des mécanismes de défense, la production des phytoalexines (qui sont des métabolites antibiotiques naturels), la synthèse de lignine (qui permet une solidification des parois cellulaires), la synthèse de différentes protéines. Parmi les mécanismes de défense, on observe beaucoup de mécanismes antioxydants comme l'activation enzymatique ou la mobilisation d'antioxydants non enzymatiques (acide ascorbique, glutathion...) (CUNY et al., 2000).

### III - HISTORIQUE DE LA BIOSURVEILLANCE DE L'OZONE DANS LA REGION

#### 1 - La biosurveillance de l'ozone sur le littoral dunkerquois, 1995, (CUNY, 2002).

Une phase de travaux, menée en 1995 associant le SRPV<sup>4</sup> de Loos en Gohelle, l'INRA<sup>5</sup> de Nancy, le Laboratoire de Botanique de la Faculté de Pharmacie de Lille ainsi qu'un réseau de bénévoles, avait entre autres pour axe majeur l'utilisation de plants de tabac pour la bioindication de l'ozone. Pour cette étude, les auteurs ont utilisé la méthodologie mise au point par Lorenzini (LORENZINI, 1994), basée sur l'utilisation de plantules de tabac. Ce travail a abouti à la réalisation, par J.P. Garrec et S. Kints, (GARREC & KINTS, 1996 ; KINTS et al., 1996) de la cartographie de la pollution par l'ozone sur la zone littorale de Dunkerque.

Ces auteurs ont mis en évidence trois zones de pollution :

- une zone de faible pollution (50 % des sites),
- une zone de pollution moyenne (20 % des sites),
- et une zone de pollution forte (30 % des sites).

La profondeur moyenne des zones polluées est en moyenne de 4 à 5 km, mais elle atteint environ 20 km au sud est de Calais et de Dunkerque. Cette zone plus importante semble mettre en évidence la présence du panache urbain.

Les nombreuses zones industrielles et urbaines (Calais, Dunkerque) ainsi que les conditions climatiques du secteur sont favorables à la formation de ce polluant.

#### 2 - Le programme européen de 1996 (SAISON ET VAN HALUWYN, 1997 ; ZABAWINSKI et al., 1996)

Des premières investigations sur la bioindication de l'ozone par des plants de tabac au sein de la métropole Lilloise ont été menées dès 1996 par le Laboratoire de Botanique de la Faculté de Pharmacie de Lille II et l'Arema-LM lors d'un programme européen de validation et de standardisation de plusieurs techniques de bioindication. Le but étant qu'elle puisse être proposée comme alternative dans des villes dépourvues de réseau de mesure de la pollution atmosphérique.

Les auteurs de cette étude ont confirmé la pertinence de l'utilisation du tabac en milieu urbain. Les résultats montrent d'une part l'aspect global de la pollution photochimique mais aussi un déphasage entre les stations en fonction de leur localisation. En effet, il a également été observé l'importance de l'environnement local des sites de mesure : courant d'air, exposition, réverbération du substrat, proximité d'un axe routier important.

### 3 - La campagne 1999-2000, (APPA, Faculté de Pharmacie de Lille, 2001).

Succède entre 1999 et 2000 le programme FEDER de bioindication intitulé " *Investigations sur la pollution atmosphérique aux échelles fines, micro-expertises sur le territoire de la métropole lilloise* " et piloté par l'APPA en partenariat avec la Faculté de Pharmacie de Lille.

Les informations obtenues lors des programmes de 1996 et 1999-2000 ont montré le potentiel important d'un réseau de bioindicateurs, en complément des réseaux automatiques de surveillance de la qualité de l'air. Il est alors apparu essentiel de pérenniser le réseau de biostations.

Les résultats obtenus en 2000 correspondent, globalement, à des faibles taux d'ozone (dus aux mauvaises conditions climatiques) qui ont donc eu un impact limité sur les plants. Lors des quelques périodes climatiques plus favorables à l'apparition d'ozone, les dégâts causés aux plants se sont révélés plus importants.

Malgré les faibles taux d'ozone lors de cette campagne, les tabacs ont régulièrement présenté des nécroses foliaires. Celles-ci ont été certes provoquées par l'ozone, mais dans des conditions peu favorables à sa formation. On peut également supposer que d'autres composés ont également favorisé leur formation. Cette hypothèse avait également été soulevée lors de la campagne de 1996. A l'époque, les auteurs de ce travail avaient invoqué un autre oxydant, le Peroxy Acetyl Nitrate (PAN) dans la formation de nécroses. On peut donc penser que les plants de tabac permettent de mettre en évidence un cocktail d'oxydants avec à leur tête l'ozone dont les concentrations sont parfois importantes. Mais cela n'exclut pas la présence et les impacts d'autres oxydants.

Les observations menées sur les stations de centre ville ont montré que ces zones, initialement décrites comme peu propices à la formation d'ozone (proximité des émetteurs des polluants primaires), se révèlent quand même susceptibles de présenter des dégâts sur les plants similaires à ceux rencontrés dans les stations périurbaines. Cette constatation rejoint les observations réalisées par le réseau AREMA-LM quant aux concentrations d'ozone.

D'autre part, la station de Mons-en-Baroeul a montré des nécroses foliaires relativement et régulièrement plus importantes que les autres stations. Ce résultat est assez nouveau et montre l'importance de " micro relief " que présente la Communauté Urbaine de Lille dans la circulation des masses d'air et la stagnation des polluants. En effet la station se trouve sur un relief un peu plus prononcé au nord-est de Lille. Les vents dominants venant du sud-ouest, les polluants sont véhiculés sur Mons-en-Baroeul et les masses d'air y sont ralenties. Les polluants primaires peuvent donc réagir entre eux et former de l'ozone sur ce point.

## IV - MATERIEL ET METHODES

### 1 - Les biostations

**Photos 3-4 :**  
Présentation  
de la biostation  
(APPA)



Chaque biostation est constituée d'un châssis métallique équipé d'un panneau pédagogique (cf. photos 3 et 4). Celle-ci est recouverte d'une toile d'ombrage permettant de garder une ouverture des stomates la plus constante possible pour maintenir un échange gazeux correct. En effet les plants exposés au soleil ont tendance à fermer leurs stomates afin d'éviter les pertes d'eau.

Des billes d'argile sont disposées dans les bacs afin d'assurer le maintien de l'humidité durant la semaine. L'ensemble de ce dispositif permet une pénétration optimisée de l'ozone dans les plants.

La biostation accueille trois plants de tabac sensibles : *Nicotiana tabacum* L. Cv Bel W3 et deux plants de tabac résistants : *Nicotiana tabacum* L. Cv Bel B qui nous sert de témoin afin d'écarter toutes autres atteintes foliaires que celles provoquées par l'ozone (attaques virales, champignons...).

Les semis sont effectués 6 à 8 semaines avant la période d'exposition. L'utilisation d'une technique de culture standardisée pour tous les plants limite les « faux positifs » dus aux stress abiotiques. Les plants sont installés pour une durée d'un mois puis renouvelés, de mi-mai à octobre (sensibilité au froid).

### 2 - Evolution des sites d'étude (cf. carte 1)

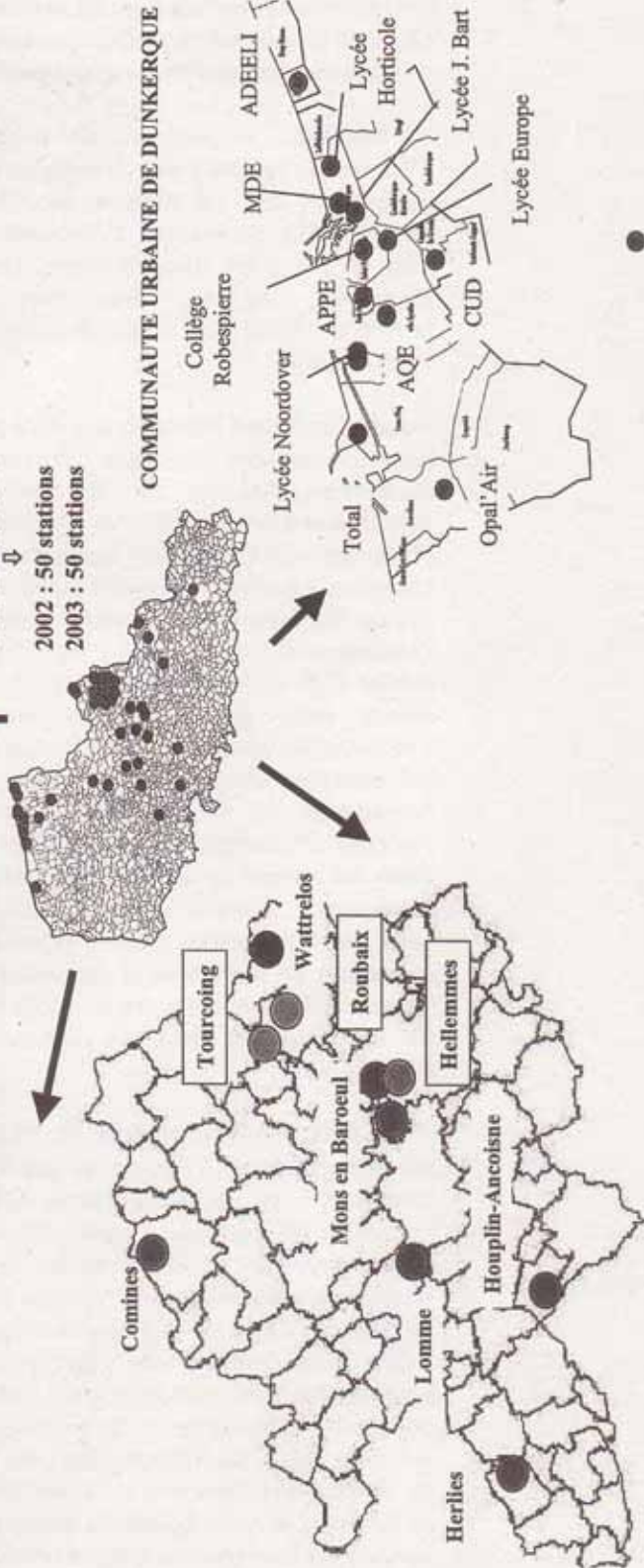
Le réseau de biostations mis en place dans la région est géré par le Comité régional de l'APPA en collaboration avec le laboratoire de Botanique de la Faculté de Pharmacie de Lille. Ce réseau correspond à l'évolution des sites de la campagne de 1999 qui comprenait alors 8 sites puis 15 en 2000, répartis sur la Communauté Urbaine de Lille.

En 2001, le réseau était équipé de 35 biostations. Le développement des sites a été réalisé par une disposition selon leur typologie (à caractère urbain, rural, à proximité de routes ou d'industries) mais aussi par son extension sur le territoire dunkerquois en allant de Gravelines à Zuydcoote, le bassin minier et le valenciennois. Cet élargissement a permis d'exposer les tabacs dans des conditions différentes et complémentaires de celles connues sur la LMCU.

# COMMUNAUTÉ URBAINE DE LILLE



2001 : 35 stations  
 ↓  
 2002 : 50 stations  
 2003 : 50 stations



Centre du Houtland

**Carte 1 :**  
 Evolution des sites d'étude

Le développement a aussi été axé au niveau pédagogique. Il s'est traduit par l'installation des biostations au sein même d'écoles, collèges, lycées, d'associations d'éducation à l'environnement, de fermes pédagogiques, des postes d'éco-gardes, de parcs publics ou chez des particuliers. Ces partenaires incluent les biostations dans le cadre de leurs activités pédagogiques soit auprès de scolaires, soit auprès du grand public.

**En 2002**, il s'agissait de poursuivre et d'étendre le réseau à une dimension régionale, notamment par 10 stations supplémentaires dans l'Artois gérées par l'Aremartois sur les sites de Ligny les Aire, Béthune, Lens, Arras, Wingles, Oignies, Bapaume, Avesnes le Comte, Saint Pol sur Ternoise, Quoeux Haut Maisnil.

De plus, certaines biostations ont été placées en hauteur sur des terrasses (Wazemmes, La Madeleine, Maison de la Nature et de l'Environnement de Lille et Dunkerque) afin d'appréhender la pollution atmosphérique verticalement. Le réseau comptait 50 stations réparties sur les communautés urbaines de Lille (20), Dunkerque (15) mais aussi l'Artois et le bassin minier (12) et le valenciennois (3), (ces dernières étant gérées en partenariat avec l'AREMASSE). De nouvelles biostations ont ainsi été installées chez Total à Mardyck, au lycée Noorderover de Grande-Synthe, à l'Institut Agricole d'Hazebrouck et à la base EEDF de Plein Air Nature de Morbecque pour le secteur dunkerquois. Dans la Communauté Urbaine de Lille, deux biostations ont pris place au sein de la Maison de la Nature et de l'environnement (cour et terrasse), une autre au Lycée Emile Zola de Wattrelos et chez un particulier à La Madeleine.

**En 2003**, le réseau dispose de 15 biostations sur le dunkerquois, 17 sur le secteur lillois, 4 sur l'Artois et 5 sur le valenciennois. Cette année, l'accent a été porté sur l'aspect scientifique du projet, entraînant un déplacement de plusieurs stations ne donnant pas de résultats satisfaisants ou faisant l'objet de dégradation régulière. De même pour répondre aux objectifs de développement d'actions pédagogiques, certaines stations ont été déplacées et de nouveaux sites ont été créés. Ainsi, sur le secteur de Lille, les jardins de la Ville d'Hellemmes, le Jardin Chlorophylle de Roubaix, le lycée Gambetta de Tourcoing et le parc zoologique (parcours découverte APPA) ont été équipés de biostations. De même, une station est présente sur Valenciennes (parcours découverte en lien avec l'Aremasse). Sur l'Artois, seules les villes de Béthune, Lens et Arras sont conservées, et la mairie d'Hantay, motivée par le projet, travaille avec des élèves de primaires. Sur le littoral, la configuration des sites existants ne change pas et le lycée professionnel de Petite-Synthe se verra installer une biostation.

## 2 - Les tubes passifs

Parallèlement aux biostations, une série de mesures de la concentration en ozone est menée sur certains sites grâce à des tubes passifs de marque Radiello. L'exposition des tubes est d'une semaine.

Le but étant de mieux comprendre les phénomènes observés et d'obtenir des informations sur les doses auxquelles sont exposés les végétaux sur les territoires dépourvus de réseaux de capteurs.

## 3 - Les outils pédagogiques



**Figure 1:**  
Couverture  
du livret  
bioindication  
fourni aux  
partenaires  
pédagogiques  
(APPA).

Outre son apport scientifique, la biosurveillance, est également un bon outil pédagogique. En effet, le tabac permet de visualiser les impacts de l'ozone sur l'environnement.

Les partenaires pédagogiques ont inclus le suivi des biostations dans le cadre de leurs activités soit auprès de scolaires, soit auprès du grand public. Après formation de ces partenaires ceux-ci reçoivent des documents tels le « livret bioindication de la qualité de l'air en région Nord-Pas de Calais » (APPA 2002, cf. figure 1) ; accompagné du CD-rom et de planches de référence, afin de leur apporter une aide dans le suivi des nécroses.

## 4 - La lecture des nécroses

Les relevés des nécroses sont réalisés chaque semaine sur les sites d'étude.

Les dégâts dus à l'ozone sont estimés par le pourcentage de surface foliaire nécrosée pour chacune des feuilles de chacun des plants sensibles. Ce pourcentage est défini par comparaison avec des photos de références fournies par le Programme européen Eurobionet et par J.F. Castel (INRA Grignon).

Puis les pourcentages obtenus pour chaque plant sont moyennés, afin d'obtenir une moyenne de station.

Les feuilles mortes ou mangées (limaces, chenilles) sont également notées et on leur attribue l'indice de la semaine précédente pour le calcul de la moyenne. Cette correction permet de minimiser les écarts de valeurs d'une semaine à l'autre.

## 5 - La feuille de résultats et la feuille de liaison

Les partenaires pédagogiques reportent dans une grille hebdomadaire de résultats, les calculs et observations, qu'ils retournent ensuite à l'APPA.

De là, une feuille dite de liaison, établie par l'APPA, reprend ces résultats et apporte des indications ou autres informations utiles sur la campagne. Celle-ci est ensuite renvoyée toutes les semaines aux différents acteurs du réseau.

## 6 - Les données

Afin d'interpréter les résultats observés sur le tabac, les données des capteurs des réseaux de la région sont utilisées mais aussi les données météorologiques mesurées par Météo France (station de l'aéroport Lille-Lesquin et du phare de Dunkerque), les données de circulation et de voirie fournies par la Communauté Urbaine de Lille et Dunkerque.

## III - RESULTATS

### 1- Bilan de la campagne 2001

(APPA, Faculté de Pharmacie, 2002)

Les conditions climatiques ont été favorables à la formation d'ozone et à l'état sanitaire des tabacs. Une pollution par l'ozone a été mise en évidence sur l'ensemble du territoire étudié, sur les vingt semaines d'exposition. Cette pollution a régulièrement diminué tout au long de la période d'exposition des tabacs mais a toujours été suffisante pour provoquer des dégâts sur les feuilles. Une très bonne relation dose-réponse avec des augmentations régulières des dégâts foliaires tout au long des semaines d'exposition a été observée.

L'analyse des plants de tabacs montre une plus grande hétérogénéité des impacts, soulevant toute l'importance des paramètres d'exposition.

Ainsi, par exemple, a été mis en évidence qu'à quelques mètres du sol (station MDE Dunkerque) des impacts importants pouvaient être observés.

De plus, l'impact des concentrations importantes d'ozone sur les tabacs a aussi bien été observé en périphérie (Opal'Air, Herlies, le valenciennais, l'artois...), comme en centre ville (Couvent des dominicains, Faculté de médecine de Lille).

De même, les relations entre la formation d'ozone et l'influence du trafic routier a été mise en évidence (lac d'Armbouts Cappel, Collège Mme de Staël, Dondaines). En effet, les polluants précurseurs issus du trafic routier, s'ils sont en concentration trop importante limitent la formation de l'ozone.

Ce travail a également montré que l'ozone n'est pas le seul polluant qui semble relié aux nécroses. SO<sub>2</sub> et CO qui entrent dans le cycle de l'ozone et/ou la formation de radicaux libres entrent en jeu. Ce phénomène a été observé uniquement à proximité de la zone industrielle de Fort Mardyck. SO<sub>2</sub> réagit dans l'air selon différents processus réactionnels en fonction notamment de la présence ou non d'eau. Cependant, ces mécanismes ont en commun la formation d'espèces réactives de l'oxygène, auxquelles est sensible le tabac. Les poussières semblent, quant à elles, pouvoir jouer un rôle opposé à celui de l'ozone.

Sur le plan pédagogique, l'implication des enseignants et associations partenaires a été importante et a donné lieu à un certain nombre d'activités comme la création d'ateliers de mesures de la pollution à l'ozone (Collège madame de Staël, Collège Robespierre), de clubs sciences, ou encore la réalisation d'exposés par des élèves. L'information a également été diffusée dans l'entourage professionnel et personnel des partenaires. La Maison de l'Environnement de Dunkerque a également implanté sur son site Internet une page décrivant le réseau et ses résultats.

L'implication dans le projet bioindication permet ainsi à un jeune public de suivre une démarche expérimentale tout en renforçant la perception des liens entre l'individu et l'écosystème et en approchant un problème réel, actuel, dans lequel chacun a sa part de responsabilité.

Au total, vingt feuilles de liaison ont été diffusées aux différents acteurs du réseau toutes les semaines, ce qui leur a permis de faire le point sur l'avancée du travail et d'effectuer un suivi dans l'espace et dans le temps des différents sites.

Les retours du questionnaire à destination des partenaires pédagogiques ont été très positifs puisque 100 % d'entre eux ont souhaité renouveler la collaboration.

### 2 - Bilan de la campagne 2002

Durant la campagne, l'humidité présente, notamment en fin de période a été propice à l'apparition d'agents phytopathogènes (notamment de champignons) sur les feuilles. Ces derniers provoquent des nécroses qu'il est parfois difficile de distinguer de celles dues à l'ozone. Ceci d'autant plus que nous avons observé que les plants de la variété résistante étaient moins touchés par les pathogènes. Ainsi, ces taches pouvant recouvrir de grandes surfaces, certaines lectures ont pu être surestimées. Les systèmes de défense chez la variété Bel W3 sont faibles (ce qui explique sa sensibilité) vis à vis de l'ozone, mais ce sont ces mêmes systèmes qui sont utilisés contre les pathogènes. Dans ce cas, un tabac sensible soumis à différents stress le sera encore plus. Ainsi, même exposé à une faible quantité d'ozone, un tabac Bel W3 peut réagir d'une manière importante s'il est, en plus exposé à d'autres pathogènes.

Toutefois, nous avons mis en évidence une pollution par l'ozone sur l'ensemble du territoire étudié et avons conforté le fait que les tabacs présentaient des nécroses foliaires causées par les plus fortes concentrations rencontrées durant la semaine, si toutefois ces concentrations sont atteintes durant un laps de temps suffisamment long.

Les actions pédagogiques lors de cette campagne ont pu être développées, de par l'extension du partenariat dans de nouvelles écoles mais aussi par l'implication des enseignants et associations (ex : ateliers de mesures de la pollution à l'ozone, réalisation d'exposés...).

Le questionnaire qui leur a été adressé en fin de saison, nous a montré que cette action continuait à être très bien perçue par les différents publics.

### 3 - La campagne 2003

Celle-ci est encore en cours mais nous pouvons toutefois dire qu'en août, lors de la période de forte canicule, les tabacs n'ont pas eu la réaction escomptée. En effet, ceux-ci ont réagi à « l'agression » en fermant leurs stomates afin d'éviter toute perte en eau, ce qui a eu pour conséquence un impact moindre au niveau des résultats observés. Hormis cet événement, nous pouvons dire que les tabacs ont bien réagi et par conséquent que l'impact sur l'environnement évoluait de la même façon.

Les partenaires pédagogiques continuent leurs actions de sensibilisation autour de la biostation et de nouveaux relais sur certains des sites sont totalement autonomes.

Afin de poursuivre une logique de communication, une mise en ligne des résultats de la campagne tabac sur le site Internet de l'APPA mais aussi de l'explicatif de la campagne est en cours. En effet, ce moyen de communication permettra de toucher un plus large public.

### IV - PERSPECTIVES

Aussi bien au niveau scientifique que pédagogique, ce réseau régional de biostations s'inscrit dans la durée. En effet, le but est de pérenniser cet ensemble de liens entre différents acteurs régionaux autour de la bioindication pour bénéficier d'une évaluation de la pollution atmosphérique par l'ozone à chaque période estivale sur les écosystèmes.

Par la suite, un classeur descriptif des différents sites de la région est envisagé tout en présentant pour chacun d'entre eux le bilan scientifique et les actions pédagogiques menées.

### BIBLIOGRAPHIE

APPA (2002), Bioindication de la qualité de l'air en région Nord - Pas de Calais, *document Pédagogique*, 36p.

APPA, Faculté de Pharmacie de Lille (2001), *Cartographie de la pollution atmosphérique par l'ozone grâce aux plants de tabac, bilan des campagnes 1999-2000*, Rapport, 69p.

APPA, Faculté de Pharmacie de Lille (2002), *Cartographie de la pollution atmosphérique par l'ozone grâce aux plants de tabac, bilan de la campagne 2001*, Rapport, 79p.

CUNY D., VAN HALUWYN C. & CARON B., (2000) La bioindication de l'ozone par le tabac dans la Région Nord-Pas de Calais, *Air pur*, 58, 5-9.

CUNY D. (2002), La biosurveillance de la qualité de l'air sur le littoral dunkerquois, in : *Actes du colloque anniversaire du réseau Opal'Air, 25 juin 2002, Dunkerque*.

GARREC JP, KINTS S. (1996), Utilisation de végétaux bioindicateurs pour l'étude et la cartographie de la pollution atmosphérique par l'ozone sur le littoral Boulogne - Calais - Dunkerque, *Air Pur (51)*, 14-16.

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

KINTS S., RADNAI F., GARREC J.P. (1996), *Etude et cartographie des niveaux d'ozone sur le littoral Calais-Dunkerque au moyen de bio-indicateurs végétaux*, Rapport d'étude INRA-LPA.

LORENZINI G. (1994) A miniaturized kit for ozone biomonitring, *App. Biochem. and Biotechn. (48)*, 1-4.

SAISON J.Y. & VAN HALUWYN C. (1997), *Utilisation de bioindicateurs végétaux sur le territoire de Lille Métropole*, rapport AREMALM, 50p..

ZABAWINSKI C., GOTTARD S., SAISON J.Y., VAN HALUWYN C. & CARON B. (1996), Mise en place d'un projet pilote d'utilisation de la biosurveillance de la pollution atmosphérique dans la Communauté Urbaine de Lille, *Air Pur*, 51, 18-22.

**1 L'indice ATMO** est un indicateur global de la qualité de l'air calculé pour les agglomérations de plus de 50 000 habitants. Il ne concerne ni les zones industrielles, ni les zones rurales. Il varie de 1 (air très bon), à 10 (air très mauvais).

**2 Stomates** : orifices situés sur l'épiderme des végétaux nécessaires pour la respiration ou la photosynthèse. C'est donc grâce à ces stomates que les échanges de gaz entre la plante et l'atmosphère ont lieu.

**3 Les chloroplastes** sont les organites qui réalisent la photosynthèse à l'intérieur des cellules végétales.

**4 SRPV** : Service Régional de la Protection des Végétaux

**5 INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique

Ce travail a bénéficié du soutien du Conseil Régional Nord-Pas de Calais, de la délégation régionale de l'ADEME, du FEDER, de la DIREN, Dunkerque Grand Littoral.