



*RESEAU  
PLANETE SCIENCES*

# CAHIER DES CHARGES SUR L'OPERATION Un Bon Plant Pour l'Air



Mars 2003

Siège social : Palais de la Découverte, Paris  
Secrétariat : 16, place Jacques Brel - 91130 Ris-Orangis  
Tél. : 01 69 02 76 10 - Fax : 01 69 43 21 43  
Internet : <http://www.planète-sciences.org/enviro/>

## Sommaire

---

<b><u>INTRODUCTION</u></b>	<b>3</b>
<b><u>LE RESEAU PLANETE SCIENCES</u></b>	<b>4</b>
<b><u>PRESENTATION GENERALE</u></b>	<b>6</b>
<u>La qualité de l'air aujourd'hui et l'utilisation de bio-indicateurs</u>	6
<u>Objectifs principaux de l'opération</u>	7
<b><u>LE PROTOCOLE EXPERIMENTAL</u></b>	<b>8</b>
<u>Rappel</u>	8
<u>Modalités pratiques</u>	8
<u>Les relevés</u>	10
<u>Communication de ces relevés à l'association régionale</u>	11
<b><u>ECHEANCIER</u></b>	<b>12</b>
<b><u>ANNEXES</u></b>	<b>13</b>
<b><u>PLANCHES DE REFERENCE</u></b>	<b>14</b>
<b><u>PROPOSITION D'ABRI POUR LES PLANTS DE TABAC</u></b>	<b>15</b>
<b><u>ARROSAGE DES PLANTS DE TABAC</u></b>	<b>16</b>
<b><u>COMPLEMENTS D'INFORMATION SUR LES BIO-INDICATEURS ET L'OZONE</u></b>	<b>17</b>
<u>Les outils d'observation de la qualité de l'air</u>	17
<u>Utilisation de bio-indicateurs végétaux pour la caractérisation de la qualité de l'air</u>	17
<u>Ozone</u>	18
<u>Processus de distribution spatiale et temporelle de l'ozone troposphérique</u>	19
<u>Effets de l'ozone sur la santé humaine et des végétaux</u>	20
<b><u>LES FICHES DE RELEVES</u></b>	<b>21</b>
<b><u>BIBLIOGRAPHIE</u></b>	<b>25</b>

Ce dossier a été réalisé par Planète Sciences en coordination avec l'ensemble des associations Planète Sciences. Le contenu a été élaboré à partir des expériences des associations Planète Sciences Ile de France et Planète Sciences Méditerranée, des textes rédigés par Jean-François CASTELL, chercheur à l'INRA de Grignon et administrateur du réseau national Planète Sciences, Bernard Cuissard, coordinateur de l'opération PACA et Odile Derne permanente de Planète Sciences Ile de France).

En accord avec M. GARREC de l'Institut National de Recherche Agronomique. (Laboratoire de pollution atmosphérique de Nancy).

## INTRODUCTION

---

Avec le soutien scientifique de l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA), le Réseau Planète Sciences propose la mise en place d'une opération sur l'utilisation de plants de tabac Bel W3 comme bio-indicateurs de la pollution à l'ozone.

L'opération consiste à diffuser dans les établissements scolaires, centres de loisirs et clubs intéressés, des plants de tabac et les modalités de culture et d'interprétation de nécroses des feuilles. Les jeunes seront chargés de suivre la culture et d'effectuer les relevés pour déterminer un indice de pollution à l'ozone du lieu.

L'ensemble des données collectées permet de dresser des cartographies régionales de la qualité de l'air, qui pourront être confrontées aux cartes établies par les organismes professionnels.

## LE RESEAU PLANETE SCIENCES

---

L'Association Planète Sciences est née en 1962, notamment pour encadrer les constructions de fusées de jeunes avec le soutien du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales).

Le développement de projets en équipes, propre aux activités spatiales, a ensuite été appliqué à d'autres domaines d'expérimentation : l'astronomie, l'environnement, la météorologie, l'énergie, l'informatique, la robotique et la télédétection.

En 40 ans, ce sont plus d'un million de jeunes qui ont participé à nos activités !

PLANETE SCIENCES et ses neuf délégations et antennes territoriales (PLANETE SCIENCES Ile de France (ex Aloise), PLANETE SCIENCES Méditerranée (ex Assem), PLANETE SCIENCES Bretagne (ex Cistem), PLANETE SCIENCES Languedoc-Roussillon (ex Cristal), PLANETE SCIENCES Midi-Pyrénées (ex Pastel), PLANETE SCIENCES Atlantique (ex Objectif Jeunesse), PLANETE SCIENCES Rhône (ex STJ Rhône), PLANETE SCIENCES Sarthe (ex STJ Sarthe), PLANETE SCIENCES Picardie (ex Kafouillatou)), PLANETE SCIENCES Normandie, fortes de leurs 1 000 animateurs spécialisés, soutiennent près de 600 clubs scientifiques, interviennent auprès de plus de 300 établissements scolaires et organisent des séjours et des animations durant les vacances pour plus de 20 000 jeunes. Elles s'attachent également à développer la culture scientifique et technique par la formation d'animateurs et d'enseignants.

**Avec plus de 50 000 participants chaque année, Planète Sciences poursuit son objectif : rendre la pratique des sciences et des techniques accessibles au plus grand nombre.**

Plusieurs rendez-vous annuels sont aujourd'hui devenus des manifestations importantes dans le domaine de l'animation scientifique : opérations "Un ballon pour l'école", "Lycées de Nuit", "Un Bon plant Pour l'Air", Festival européen de l'espace, Nuit des Etoiles, Coupe et Trophées de Robotique e=6, Rencontres Météo Jeunes, Expo sciences,... Autant d'occasions de venir nous rencontrer !

Coordonnées des différentes associations chargées du  
suivi technique de l'opération "Un Bon Plant pour l'Air" :

**Planète Sciences**

16, place Jacques Brel  
91130 RIS-ORANGIS  
Tél : 01 69 02 76 10  
Fax : 01 69 43 21 43  
Votre contact: **Erwan Gallée**  
[environnement@planete-sciences.org](mailto:environnement@planete-sciences.org)

**Planète Sciences Yvelines**

Médiathèque Allée Joseph Hémand  
78130 LES MUREAUX  
Tél : 01 34 92 95 07

Votre contact: **Dominique Maronnier**  
[aloise78@m6net.f](mailto:aloise78@m6net.f)

**Planète Sciences Bretagne**

Groupe scolaire Marcel Pagnol  
22, rue de Bellevue  
35000 RENNES  
Tél : 02 99 84 69 89  
Fax : 02 99 27 00 12

Votre contact: **Damien Picherit**  
[bretagne@planete-sciences.org](mailto:bretagne@planete-sciences.org)

**Planète Sciences Atlantique**

2, place du Bastion  
17000 SAINTES  
Tél : 05 46 93 15 44  
Fax : 05 46 93 15 44

Votre contact: **Hervé Gueurce**  
[herv.gueurce@planete-sciences.org](mailto:herv.gueurce@planete-sciences.org)

**Planète Sciences Rhône**

Espace Carnot  
20, rue Robert Desnos  
69120 VAULX EN VELIN  
Tél : 04 72 04 34 48  
Fax : 04 78 80 18 29

Votre contact: **Benoît Hamelin**  
[benoit.hamelin@planete-sciences.org](mailto:benoit.hamelin@planete-sciences.org)

**Planète Sciences Sarthe**

L'Escal  
1, rue Ledru Rollin  
2400 LA FERTE BERNARD  
Tél : 02 43 93 67 92  
Fax : 02 43 93 94 20

Votre contact: **Géraldine Leblanc**  
[geraldine.leblanc@planete-sciences.org](mailto:geraldine.leblanc@planete-sciences.org)

**Planète Sciences Ile de France**

6, rue Emmanuel Pastré  
91000 EVRY  
Tél : 01 64 97 82 34  
Fax : 01 60 78 15 41

Votre contact: **Bruno Bayle** ou  
**Christophe Maffezoni**  
[Bruno.Bayle@planete-sciences.org](mailto:Bruno.Bayle@planete-sciences.org)

**Planète Sciences Méditerranée**

9, rue Gazan  
06130 GRASSE  
Tél : 04 92 60 78 78  
Fax : 04 93 36 56 79

Votre contact: **Bernard Cuissard**  
[bernard.cuissard@planete-sciences.org](mailto:bernard.cuissard@planete-sciences.org)

**Planète Sciences Bretagne**

Rue de Liège  
29200 BREST  
Tél : 02 98 05 12 04  
Fax : 02 98 45 29 02

Votre contact: **Erwan Vappreau**  
[erwan.vappreau@planete-sciences.org](mailto:erwan.vappreau@planete-sciences.org)

**Planète Sciences Languedoc Roussillon**

1, Impasse Fourrat  
34670 BAILLARGUES  
Tél : 04 67 70 33 58  
Fax : 04 67 70 50 35

Votre contact: **Patrice Colenson**  
[patrice.colenson@planete-sciences.org](mailto:patrice.colenson@planete-sciences.org)

**Planète Sciences Midi-Pyrénées**

Bâtiment Marine  
Rue Hermès  
31520 RAMONVILLE-ST-AGNE  
Tél : 05 61 73 10 22  
Fax : 05 61 73 42 79

Votre contact: **Bérengère Guéguen**  
[berengere.gueguen@planete-sciences.org](mailto:berengere.gueguen@planete-sciences.org)

**Planète Sciences Picardie**

25 rue de la Délivrance  
80000 Amiens  
Tél : 03.22.47.69.53  
Fax : 03.22.46.91.87

Votre contact: **Samuel Kaufman**  
[samuel.kaufmann@planete-sciences.org](mailto:samuel.kaufmann@planete-sciences.org)

## PRESENTATION GENERALE

---

### *La qualité de l'air aujourd'hui et l'utilisation de bio-indicateurs végétaux*

La pollution atmosphérique devient un des sujets de préoccupation majeur de cette fin de siècle. La santé publique, l'environnement et les conditions de vie future sur Terre, dépendent étroitement de la qualité de l'air et de l'attention que nous y porterons ces prochaines décennies. Cette problématique de grande échelle spatiale et temporelle ne pourra être maîtrisée que par l'information, la sensibilisation, et l'action.

L'avenir appartient aux enfants d'aujourd'hui, il est donc nécessaire de les préparer dès maintenant à cette problématique pour en faire des citoyens conscients et responsables.

Des réflexions internationales sont menées pour limiter la pollution atmosphérique. Des actions, encore timides, se mettent en place dans les différents pays industrialisés. En France, la loi sur l'air permet un suivi précis du niveau de pollution dans les villes et une limitation des rejets polluants, dans l'optique d'une utilisation rationnelle des énergies. Ce suivi permet de constater, et bientôt de prévoir, les dépassements de seuils de certains polluants nuisibles à la santé publique et de mettre en œuvre les mesures de prévention nécessaires. Ainsi, un réseau de mesure de qualité de l'air s'est petit à petit développé sur le territoire français : 35 associations sont actuellement en place. Les mesures sont généralement faites par des appareils d'une haute technicité et très coûteux, donc difficilement abordable par le citoyen.

Aussi, un autre moyen de mesure prend de plus en plus d'importance : les bio-indicateurs végétaux. Il est en effet possible de mettre en relation directe la présence plus ou moins importante d'un polluant avec l'état des feuilles de certaines plantes (nécroses, jaunissement) ou avec le dénombrement de la population d'autres végétaux (absence ou abondance de sujets sensibles), etc.

Les bio-indicateurs présentent alors un double intérêt :

- Pour les stations de surveillance de la qualité de l'air : Les mesures ne sont plus instantanées mais tiennent compte de l'inertie de l'organisme, elles peuvent de plus être reproduites à grande échelle et sur de vastes territoires.
- Pour les pédagogues : ils représentent un moyen concret, simple, peu onéreux et très interactif de mettre en évidence la pollution atmosphérique et ses effets sur les organismes vivants. Le bio-indicateur devient un outil pour la popularisation de cette problématique.

## OBJECTIF DE L'OPERATION

---

- Initier les jeunes à une pratique scientifique à travers la mise en œuvre d'un protocole expérimental.
- Intégrer les jeunes à une étude sur la qualité de l'air à partir de l'utilisation d'un bio-indicateur spécifique pour l'ozone : le tabac.
- Mettre en relation les jeunes du milieu scolaire avec le monde de la recherche scientifique.
- Sensibiliser les jeunes à l'ensemble des problèmes liés à la pollution atmosphérique.

## LE PROTOCOLE EXPERIMENTAL

---

### *Rappel*

La bio-indication végétale est une technique alternative simple, rapide et peu onéreuse pour obtenir une vue d'ensemble des différents niveaux d'ozone et de leur évolution dans le temps.

Cette méthode a ses limites et ne donne que des informations relatives sans correspondance directe et immédiate avec les concentrations d'ozone dans l'atmosphère. Cependant, les bio-indicateurs en fournissant des informations d'ordre biologique sur l'impact de l'ozone sur les êtres vivants, peuvent être utilisés parallèlement comme méthode de sensibilisation du grand public et des enfants au problème de la pollution de l'air.

### *Modalités pratiques*

Le tabac de variété " BEL W 3 ", sensible à l'ozone, est mis en station avec des plants de tabac passifs à l'ozone, de variété " BEL B " ce qui permettra une comparaison des résultats d'un site à l'autre. Ils ont tous reçus un traitement insecticide par pulvérisation.

Dans le cadre de ce programme, les participants reçoivent au minimum 4 plants de " BEL W 3 " et 2 plants de " BEL B ", tous de mêmes classes d'âge.

Chaque plant de même classe d'âge est fourni dans un godet étiqueté et numéroté, précisant l'année de plantation, l'origine géographique des semis, la variété du plant et ses références :

- Les 4 premiers chiffres (9906) indiquent l'année de plantation (99) et le département dans lequel ils ont été cultivés (06) ;
- Les lettres suivantes indiquent la variété du plant ( BEL B ou BEL W3) ;
- Le dernier chiffre correspond au numéro du plant.

Exemple : Etiquette portant la mention " 9906BELW3-32 " signifie que ce plant a été planté en 99, dans

les Alpes Maritimes, qu'il est de variété BEL W3 et qu'il porte le numéro 32.

**Les mesures s'effectueront sur tous les plants, une fois par semaine, pendant 4 semaines minimums. Il est cependant préférable que la durée des mesures soit étendue à 6 semaines.**

Des lots de graines peuvent par ailleurs être fournis aux participants qui en feront la demande spécifique et qui en assureront la culture.

AFIN DE POUVOIR INTERPRETER DES DONNEES HOMOGENES, IL CONVIENDRA A CHAQUE GROUPE DE RESPECTER LES QUELQUES CONSIGNES SUIVANTES :

◆ **Bien décrire les conditions d'exposition des plants :**

➤ *Dans quel environnement ont-ils été placés ?*

Actions à entreprendre :

- photocopier l'extrait de carte au 1/25000<sup>e</sup> du secteur d'implantation et y figurer la localisation des plants.
- réaliser ou dupliquer le plan de l'environnement immédiat situé autour des plants (plan de la cour de récréation...).
- compléter la " **fiche de station** " en signalant les sources de pollution atmosphérique (axes routiers, industries, agglomérations ...) dans un rayon de 5 km. Pour les zones rurales, indiquer la distance entre le site d'étude et les agglomérations

➤ *Quelles ont été les conditions météorologiques ?*

Actions à entreprendre :

- au minimum, et à l'aide de la " fiche de relevés météo ", jointe en annexe, décrivez l'état du ciel jour par jour (du lundi au vendredi et si possible le week-end) et indiquez la force relative et la direction du vent.
- dans la mesure du possible, les autres paramètres sont également à relever tous les jours (du lundi au vendredi), en milieu d'après-midi :
  - sous abri : températures mini-maxi, humidité
  - hors abri : durée de l'insolation (par le biais d'un héliographe)

◆ **Bien respecter les conditions d'installation et d'entretien des plants :**

- Le tabac est une plante exigeante en eau et en éléments minéraux : il convient de **l'arroser fréquemment avec une solution nutritive.**
- Temps d'exposition : **4 semaines minimums avec une protection :**
- l'ombrage permet de réduire la consommation d'eau et évite une situation de contrainte hydrique au cours de laquelle la plante risque de freiner ses échanges avec l'atmosphère par fermeture des stomates. Il y a donc nécessité de construire un abri ouvert sur les côtés dont la partie supérieure, distante d'au moins 50 cm du sommet de la plante, est recouverte d'une toile de moustiquaire (voir fiche technique). Cet abri sera placé sur une table ou un promontoire de hauteur équivalente (environ 70 cm du sol). Ceci évite notamment les attaques très destructives de mollusques (limaces, escargots) et d'insectes (sauterelles, criquets...).
- **Lieu d'installation :** en hauteur (voir paragraphe précédent), dans un lieu tranquille, mais ventilé

- **arrosage** : avec solution engrais dilué (type « KB engrais pour plantes d'intérieur »). Attention à maintenir une réserve d'eau (cf. annexe).

### *Les relevés*

Sur l'ensemble des stations, *au moins* une **observation hebdomadaire** de chaque plantule est à effectuer, **si possible le vendredi**, afin d'obtenir des résultats comparables d'un site à l'autre.

A réception des plants, vous **devrez affecter à chaque feuille un numéro qui restera le même pendant toute la durée de l'expérimentation** : par convention, la feuille numéro 1 désignera la feuille la plus basse du plant à réception de celui-ci. La feuille n° 2 sera celle située juste au dessus et ainsi de suite jusqu'aux dernières feuilles (voir photocopie jointe en annexe).

Il est possible de repérer les feuilles au moyen de brins de laine de différentes couleurs que vous nouerez, sans les serrer, à la base du pétiole en prenant soin de former une boucle suffisamment lâche pour ne pas perturber la croissance de la feuille.

#### ♦ **Données générales à inscrire sur la fiche de relevé, et pour chaque plant (une fiche par plant) :**

- le numéro du plant
- la variété (BEL W3 ou BEL B)
- les coordonnées du groupe
- la date du relevé

#### ♦ **Observations à réaliser, sur chaque plant**

**Pour chaque feuille :**

- Préciser si elle est jaunissante ou non : si c'est le cas, elles seront exclues du calcul final car considérées comme mortes.
- Evaluer le pourcentage de surface nécrosée de la feuille atteinte par rapport à la surface totale de cette feuille (vous pouvez pour cela vous aider des " planches de références " = ces planches restent encore à réaliser). Cette évaluation est à effectuer sur les plants BEL B et BEL W3, les résultats étant reportés sur la " fiche de relevés ", jointe en annexe.

#### ♦ **Modes de calculs**

##### ➤ *Quelles catégories de feuilles faut-il exclure des calculs ?*

- toutes les feuilles jaunissantes
- Les 3 dernières feuilles apparues au sommet du plant : juvéniles, elles ne réagissent pas encore à l'ozone et conduisent de ce fait à une sous estimation de l'Indice.

##### ➤ *Comment calculer le Pourcentage Moyen de Nécrose de la Station ?*

Ce Pourcentage Moyen est calculer à partir des évaluations de pourcentages de toutes les feuilles comptabilisables de tous les plants BEL W 3 situés dans une même station.

PMNS =

Somme des % de nécrose des différentes feuilles comptabilisables des plants BEL W3

Nombre total de feuilles comptabilisables de tous les plants BEL W3

➤ **Comment en déduire l'Indice de Nécrose Moyen de la Station (INMS) ?**

Cinq indices de nécrose de la station sont définis :

PMNS obtenu	INMS correspondant	Impact correspondant
Aucune nécrose foliaire	0	Impact nul de la pollution ozonique sur les plants BEL W3
PMNS allant jusqu'à 10 %	1	Impact faible de la pollution ozonique sur les plants BEL W 3
PMNS compris entre 10 et 25 %	2	Impact moyen de la pollution ozonique sur les plants BEL W 3
PMNS compris entre 25 et 50 %	3	Impact fort de la pollution ozonique sur les plants BEL W 3
PMNS supérieur à 50 %	4	Impact très fort de la pollution ozonique sur les plants BEL W 3

L'Indice de Nécrose Moyen de la station caractérise l'état de cette station à l'instant de l'observation.

Cette méthode de notation permet d'établir une première évaluation des zones plus ou moins touchées par une pollution ozonique.

**Communication de ces relevés à l'association régionale**

➤ **Quand et comment ?**

Le jour où les relevés sont effectués (donc en principe les vendredis et au plus tard le lundi suivant), la fiche météo de la semaine et la fiche récapitulative des relevés de la semaine doivent être envoyées à l'association régionale Sciences Techniques Jeunesse concernée, par fax ou par mail.

➤ **Quels seront les retours de l'association régionale Sciences Techniques Jeunesse ?**

L'association régionale Sciences Techniques Jeunesse concernée s'engage à regrouper ces données et à les renvoyer (par fax ou mail) à l'ensemble des participants de cette opération.

Une consultation des résultats nationaux regroupés par les différentes délégations du Réseau Planète Sciences participant à l'opération sera par ailleurs possible sur le site Internet de Planète Sciences : <http://www.planete-sciences.org/enviro/index.html>

➤ **Le regroupement des différents projets, en vue d'un échange :**

Des regroupements de projets pourront être organisés localement par les différentes délégations du Réseau Planète Sciences : contactez-nous !

Un forum de discussion est accessible sur le net permettant des échanges entre enseignants et/ou jeunes participants ou non à ce projet :

<http://www.planete-sciences.org/enviro/index.html>

## ECHEANCIER

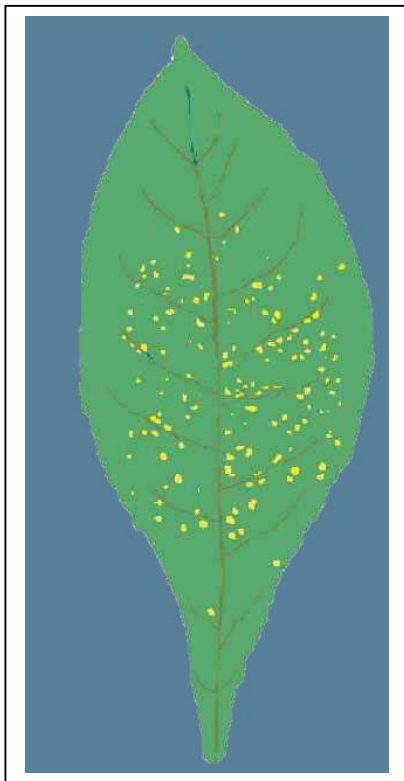
<b>ACTIVITES année 2003</b>	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Formation des animateurs suiveurs du Réseau Planète Sciences												
Première rencontre entre les animateurs-suiveurs du Réseau Planète Sciences et les participants à l'opération (visite 1)												
Semis des plants de tabac par l'INRA												
Distribution des plants de tabac et début des relevés avec présentation par l'animateur-suiveur du protocole expérimental (visite 2)												
Envoi des données par les participants et synthèse par le réseau												
Visites 3 et 4 des suiveurs de l'opération sur les sites												
Mise en forme des données à l'échelle nationale, réalisation d'une cartographie des impacts de la pollution à l'ozone et valorisation des résultats par l'organisation d'une rencontre entre participants et la mise en ligne des résultats via le site Internet de l'PLANÈTE SCIENCES												
Compilation des données annuelles et restitution aux participants												
Formation des animateurs-suiveurs du Réseau Planète Sciences												

---

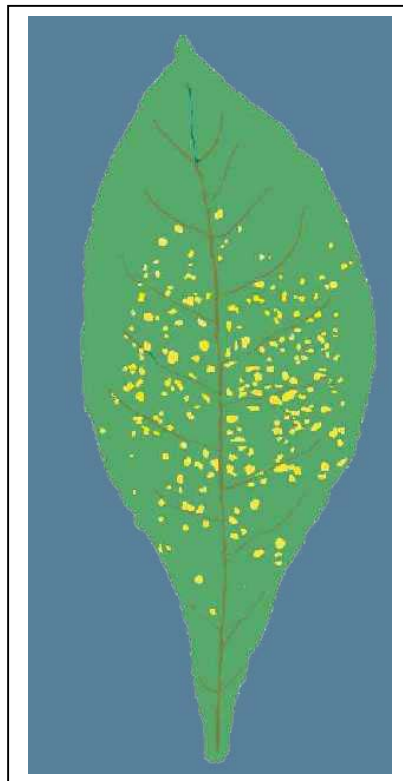
## ANNEXES

---

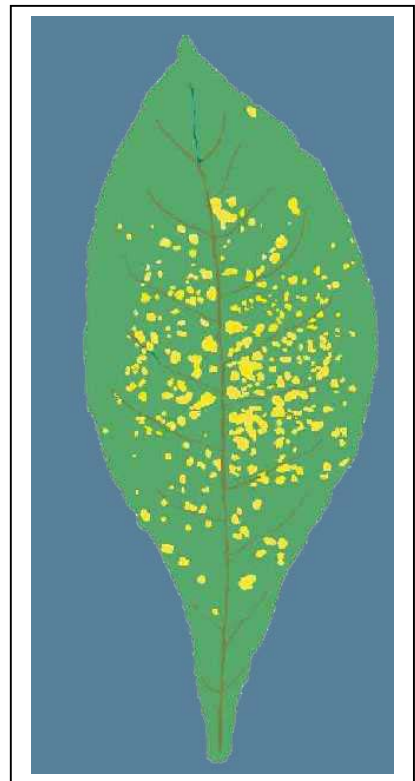
PLANCHES DE REFERENCE



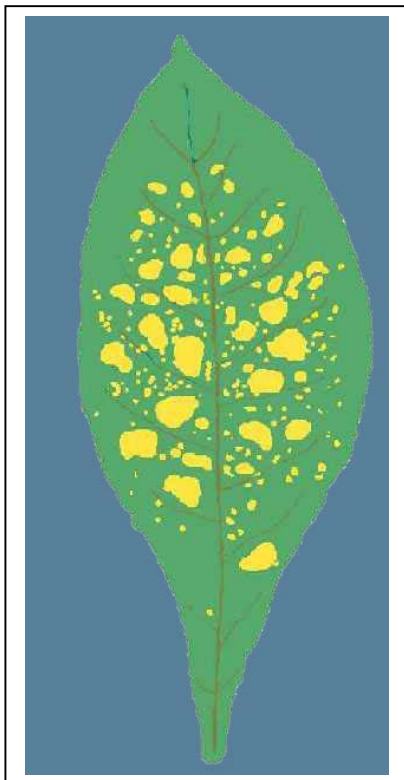
**3 %**



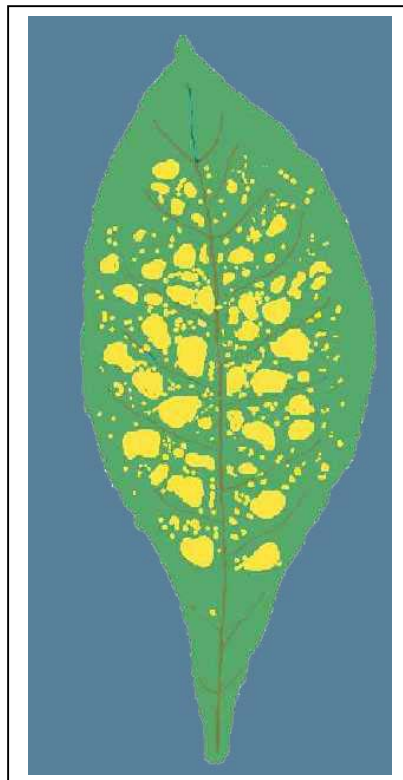
**5 %**



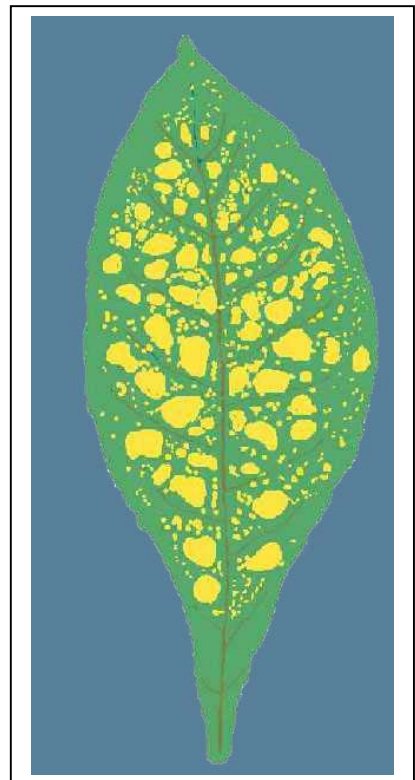
**10 %**



**15 %**



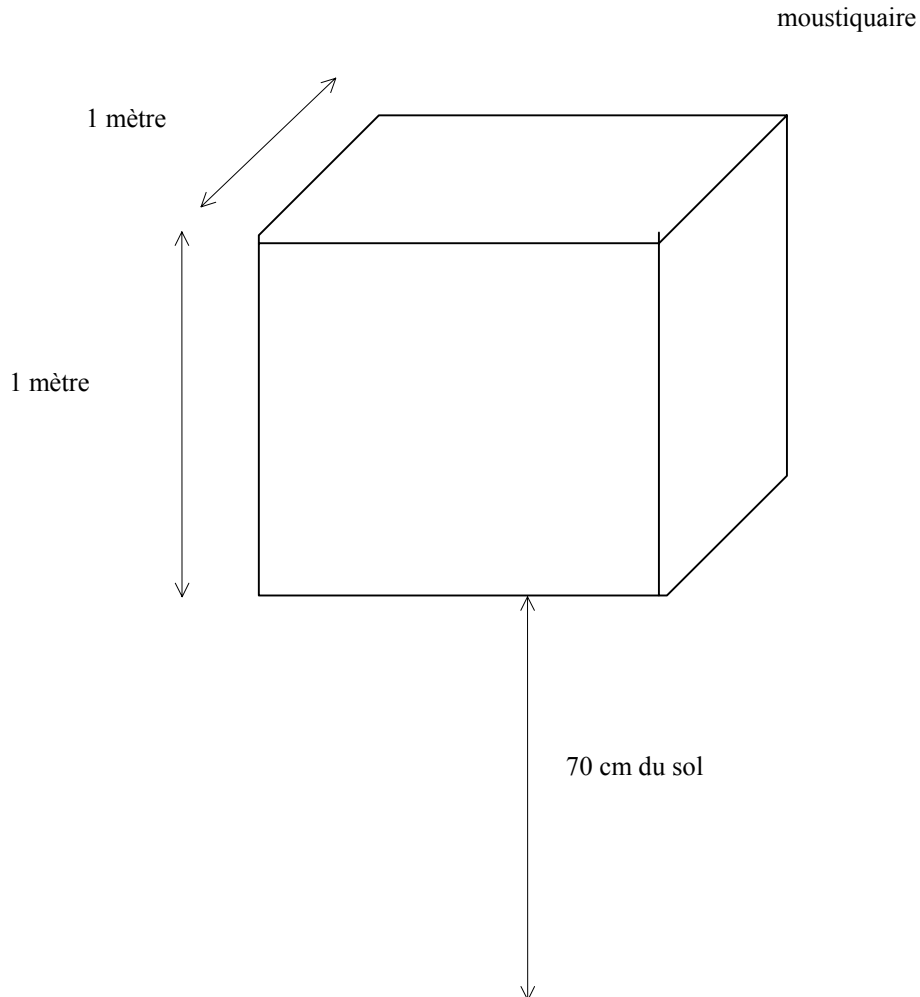
**20 %**



**25 %**

## PROPOSITION D'ABRI POUR LES PLANTS DE TABAC

---



### Matériaux utilisés :

- Fond : contre-plaqué de qualité marine de 15 mm d'épaisseur
- Armature : tasseaux de section 3 cm 3 cm environ
- Toit : recouvert d'une moustiquaire tendue avec agrafes ou clous de tapissier

## ARROSAGE DES PLANTS DE TABAC

### MATERIEL NECESSAIRE

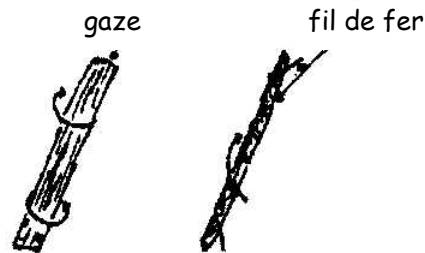
- tissus fibreux (gaze, bandage, serpillière)
- fil de fer (téléphone)
- seau 5 litres minimum
- couvercle

### OUTILS

- pince coupante
- couteau
- ciseaux

### PREPARATION DE LA MÈCHE

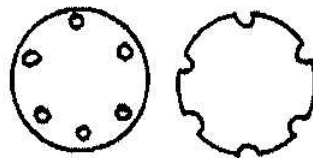
- couper une bande de tissu d'environ 50 cm de long et 5 cm de largeur
- "tournicoter" la bande pour obtenir un cordon
- enrouler le fil de fer autour du cordon (ne pas trop serrer)



*Fabrication de la mèche*

### PREPARATION DU COUVERCLE (SEAU)

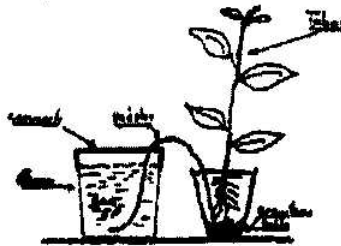
- trouser le couvercle en six points (proche du bord) répartis également (cf. schéma)



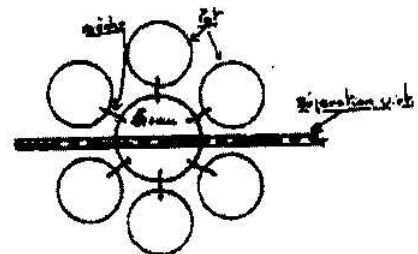
*Différentes découpes du couvercle  
Vue de dessus*

### DISPOSITION DU MONTAGE

- placer le seau au milieu de la table
- disposer les plants de tabac autour du seau
- faire un avant trou dans le substrat des tabacs
- enfoncer une extrémité de la mèche
- remplir le seau d'eau
- mettre le couvercle
- placer l'autre extrémité de la mèche complètement dans l'eau
- amorcer la mèche en l'humidifiant totalement



*Disposition de la mèche*



*Principe de disposition du seau  
et des plants de tabacs*

## COMPLEMENTS D'INFORMATION SUR LES BIO-INDICATEURS ET L'OZONE

---

### *Les outils d'observation de la qualité de l'air*

Depuis de nombreuses années, les grandes agglomérations et leurs territoires périphériques ont été pourvus de réseaux d'observation de la qualité de l'air. Ceux-ci ont pour objet de fournir les éléments nécessaires à l'établissement d'un diagnostic utilisable soit pour une appréciation globale de la qualité de l'air et de son évolution, soit pour la mise en œuvre et l'évaluation de mesures appropriées, comme de nouveaux plans de circulation ou la limitation de la circulation automobile. Ce suivi de la qualité de l'environnement atmosphérique repose le plus souvent sur des mesures physico-chimiques nécessitant un appareillage complexe et très coûteux. Il en résulte que les sites de mesure sont peu nombreux, et doivent être judicieusement choisis pour permettre d'obtenir une information fiable et pertinente. Le réseau mis en place par AIRPARIF, en Ile-de-France comprend ainsi moins de 100 sites de mesures, répartis sur tout le territoire francilien, mais fortement concentrés sur les zones très urbanisées (Paris et petite couronne, vallée de la Seine), et très peu représentés en zone rurale, l'objectif étant avant tout de connaître le degré d'exposition de la population. Tous les sites ne sont pas pourvus des mêmes capteurs : ils sont équipés pour déceler le(s) polluant(s) le(s) plus susceptible(s) d'être présent(s) dans la zone correspondante.

On dispose ainsi, depuis près de trente ans, de caractérisations de la pollution ambiante, c'est-à-dire de mesures de concentrations moyennes de l'air au niveau régional pour différents polluants (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CO, Hydrocarbures totaux, fumées, poussières), ainsi que de mesures plus locales, placées à proximité des sources potentielles de pollution atmosphérique (usines, chaufferies, voies de circulation importantes). Par ailleurs, des campagnes de mesure sont régulièrement effectuées pour prendre en compte les pollutions plus ponctuelles, liées à des effets saisonniers (Composés organiques volatils, métaux, chlorures, sulfates, nitrates, Hydrocarbures aromatiques polycycliques).

Les contraintes liées au coût des instruments de mesure des concentrations de l'air en différents polluants font qu'il est relativement difficile d'avoir une idée précise de la variabilité spatiale (cartographie) de la qualité de l'air au niveau régional, ni de savoir si une mesure réalisée en un point donné est représentative de la valeur moyenne locale (bien que les nouveaux outils, comme la méthode DOAS offrent des perspectives intéressantes dans ce domaine). La modélisation des lois d'émission, de dépôt et de circulation dans l'atmosphère des substances polluantes offre des perspectives séduisantes pour résoudre cette question, mais les connaissances actuelles, notamment en micro météorologie, ainsi que la densité du réseau d'observation météorologique sont insuffisantes pour fournir des outils opérationnels.

On peut alors recourir à des outils de caractérisation indirecte de la qualité de l'air, fondés soit sur l'observation des réponses physiologiques ou morphologiques de végétaux de sensibilités différentes aux éléments polluants considérés (bio-indication), soit sur l'identification et la quantification de ces substances polluantes fixées à la surface ou dans les tissus des végétaux (bio-accumulation).

### *Utilisation de bio-indicateurs végétaux pour la caractérisation de la qualité de l'air*

L'idée de l'utilisation de plantes bio-indicatrices n'est pas neuve. Son intérêt réside dans la simplicité et la rapidité de sa mise en œuvre : en effet, une méthode simple consiste à faire pousser, dans l'environnement que l'on souhaite caractériser, des végétaux dont on sait *a priori* identifier et quantifier l'intensité de la réponse à l'exposition à un polluant donné. On obtient ainsi, de façon

indirecte, une estimation relative de la qualité de l'air vis à vis de la substance à laquelle la plante est exposée.

Les difficultés résultent de cette apparente simplicité. En premier lieu, il faut savoir identifier et quantifier les effets des polluants sur les plantes. Ceci était relativement aisé autrefois (années 60 et 70), car la pollution atmosphérique était essentiellement caractérisée par de fortes concentrations de SO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (chauffages individuels et industries). Cette pollution avait des effets très nets sur la végétation : nécroses foliaires, disparition d'espèces sensibles, absence de lichens en ville, etc. Aujourd'hui, la pollution est avant tout le résultat de l'accroissement de la circulation automobile, et elle se caractérise par la présence de polluants primaires (CO, NO<sub>x</sub>, COV) relativement peu toxiques pour les plantes. Ceux-ci contribuent par la suite à la formation de polluants secondaires (comme l'ozone, lors de périodes chaudes et ensoleillées) dont les niveaux actuels provoquent plutôt une baisse de vitalité des plantes que des nécroses nettement identifiables. Depuis quelque temps, cependant, les teneurs en ozone observées (notamment en région méditerranéenne) sont capables de provoquer des altérations visibles du feuillage des espèces locales les plus vulnérables. Parallèlement, il existe des plantes particulièrement sensibles à des polluants, et on dispose maintenant de géotypes sensibles aux principaux polluants susceptibles d'être présents dans l'atmosphère. La variété de tabac BEL W3 est par exemple un bon bio-indicateur de la teneur de l'air en ozone. Cependant, les plantes sont sensibles à de nombreuses autres contraintes (sanitaires, hydriques, nutritionnelles), et il faut être sûr qu'une tache observée sur une feuille ou bien une réduction de la vitesse de développement est bien la conséquence d'une exposition au polluant que l'on souhaite déceler. Pour cela, on doit fournir à toutes les plantes des conditions de culture aussi semblables que possible (fertilisation, arrosages, traitements), et comparer la variété sensible à une variété résistante (variété de tabac BEL B, par exemple, pour l'ozone) cultivée dans des conditions identiques. Ceci impose de bien connaître les différences de fonctionnement biologique qui peuvent exister entre les deux géotypes.

Dans un deuxième temps, il faut connaître le mode d'action du polluant : pénètre-t-il dans les plantes par les racines, après avoir été dissous dans l'eau du sol, ou bien diffuse-t-il directement dans les feuilles sous forme gazeuse (cas de l'ozone) ? Ces questions sont importantes, d'une part pour estimer les quantités réellement absorbées par les plantes, d'autre part pour connaître les situations climatiques favorables à cette absorption. Comme il est difficile d'y répondre, on se contente le plus souvent de caractériser le degré d'exposition de la plante au polluant en question. C'est une approche classiquement utilisée en écotoxicologie : l'effet du polluant dépend à la fois de la quantité reçue à chaque instant (qui dépend plus ou moins directement de la concentration du polluant dans l'air) et du temps d'exposition.

On suppose donc que cette notion d'indice d'exposition est pertinente, et que le mode de calcul de cet indice repose sur une bonne connaissance des mécanismes d'action du polluant sur le végétal. A partir de cela, si on dispose de relations entre les indices d'exposition et les effets observables, on peut prédire un impact possible du polluant sur le végétal à partir de mesures physiques directes de sa concentration dans l'air. Ce type d'approche ne peut être mené qu'avec prudence car cette démarche est très empirique, ce qui veut dire qu'elle n'est pas aisément généralisable : la relation entre l'indice d'exposition et les effets observables n'est valable que dans des conditions dans lesquelles elle a été établie (contexte géographique, géotype, climat, concentrations en polluant donnés). En outre, même s'il est possible d'inverser la relation pour estimer l'indice d'exposition qui correspond à un certain niveau de dégâts foliaires, il n'est pas possible d'en déduire une concentration de l'atmosphère en substance polluante.

Tout ceci signifie que les bio-indicateurs ne peuvent donner que des mesures indirectes de la pollution atmosphérique. De plus, ces indications ne sont pas des données instantanées, puisque la notion d'indice

d'exposition prend en compte la durée pendant laquelle le végétal est exposé. C'est peut être un avantage dans le cas de substances présentes à de très faibles concentrations, dont la mesure physique est délicate. Mais ceci induit aussi une contrainte supplémentaire : les résultats obtenus peuvent dépendre du pas de temps choisi entre deux observations, et il semble difficile de travailler à des échelles de temps inférieures à une ou deux journées.

Ainsi, les données obtenues par bio-indication ne peuvent pas être utilisées à des fins prédictives, et ne peuvent finalement servir qu'à une estimation intégrée dans le temps et *a posteriori* d'un niveau de pollution atmosphérique local. Par contre, elles représentent sans doute un outil efficace pour évaluer la fiabilité de moyens (statistiques, météorologiques, modèles mécanistes complets) de prévision du risque de pollution en un lieu donné. Elles complètent également les informations fournies par les réseaux en donnant une indication de l'impact physiologique du polluant.

### **Ozone**

L'ozone ( $O_3$ ) est un constituant naturel de l'atmosphère, connu depuis 1850 environ. C'est un gaz très instable à température ordinaire, de couleur bleutée et d'odeur âcre. Sa concentration dans l'air est très faible. La majeure partie de l'ozone atmosphérique se trouve dans la haute atmosphère (stratosphère), où sa concentration est de l'ordre de quelques dizaines de ppm<sup>1</sup>. Cet ozone "protège" la surface terrestre en absorbant une partie du rayonnement ultraviolet émis par le soleil. C'est la fameuse "couche d'ozone", dans laquelle l'apparition régulière d'un "trou" fait l'objet d'une forte médiatisation.

Les basses couches atmosphériques (troposphère) contiennent également de l'ozone, mais à des concentrations plus faibles (quelques dizaines de ppb<sup>2</sup>). Cet ozone est formé de façon naturelle par des chaînes de réactions chimiques complexes, qui dépendent notamment du rayonnement solaire ultraviolet et de composés organiques émis par les végétaux (COV : composés organiques volatils). Cependant, l'émission de substances polluantes, notamment par les automobiles, peut conduire à un fort accroissement de la teneur en ozone des régions urbanisées.

### **Processus de distribution spatiale et temporelle de l'ozone troposphérique**

Quatre processus contrôlent la distribution spatiale et temporelle de l'ozone dans la troposphère :

- ◆ La production photochimique
- ◆ La destruction photochimique
- ◆ Les échanges de masse d'air entre stratosphère et troposphère
- ◆ La destruction à la surface terrestre et sur les plantes.

La région parisienne, par exemple, se trouve généralement dans des conditions peu favorables à l'apparition de fortes teneurs en ozone. En effet, elle est le plus souvent balayée par des masses d'air d'origine océanique peu chargées en COV, et le relief y est peu accentué, ce qui permet une bonne dispersion des substances polluantes ("dilution" dans l'atmosphère). Des pics de pollution importants peuvent être observés dans des conditions météorologiques particulières (situation anticyclonique, rayonnement solaire intense) associées à un trafic routier important (départs en vacances ou en week-

---

<sup>1</sup> ppm : expression de la concentration moléculaire (parties par millions). 1 ppm équivaut à une concentration relative en volume égale à  $10^{-6}$ , soit un millionième de litre (ml) d' $O_3$  par litre d'air.

<sup>2</sup> ppb : partie par milliards (billions) en concentration moléculaire, soit  $10^{-9}$  en concentration relative en volume, ce qui équivaut à un milliardième de litre (nl) d' $O_3$  par litre d'air.

end). Dans ces conditions, ce sont souvent les zones rurales situées sous le vent de la source de pollution (l'agglomération), qui connaissent les plus fortes teneurs en ozone de l'air.

Effets de l'ozone sur la santé humaine et des végétaux

Ces effets sont liés aux fortes propriétés oxydantes de l'ozone.

**Pour la santé humaine, on observe :**

- irritation des muqueuses oculaire et pulmonaire
- l'ozone serait également responsable de nombreuses allergies (asthme...)
- la dose (concentration x durée d'exposition) mortelle est inconnue.

**Pour les végétaux, on distingue les dégâts (effets visibles) des dommages (effets invisibles) :**

Les dégâts, dus à de courtes expositions et de fortes concentrations, sont des tâches, ponctuations...

Quand les expositions se répètent fréquemment, on observe une pigmentation brune, des chloroses et la sénescence de la plante.

Quant aux dommages, ils sont :

- ◆ Diminution de la photosynthèse
- ◆ Diminution de l'ouverture des stomates
- ◆ Diminution de l'efficacité de l'eau
- ◆ Diminution de la respiration des racines, augmentation pour les parties aériennes
- ◆ Diminution de la surface foliaire
- ◆ Augmentation de la masse surfacique
- ◆ Augmentation de la vitesse de maturation
- ◆ Diminution de la production de matière sèche et des rendements.

---

## LES FICHES DE RELEVES

---

## FICHE STATION

---

Coordonnées du groupe :

Situation géographique

Commune

Adresse

Coordonnées (d'après la carte IGN)

.....° ..... ' N

.....° ..... ' E

Nombre d'habitants

Exposition

Vent dominant

(si nécessaire, se renseigner auprès de Météo-France):

Altitude

Axe(s) routier(s) situé(s) à proximité de la Station :

	Oui	Non	Distance
Axe(s) routier(s) à fort trafic situé(s) à proximité de la Station ?			
Axe(s) routier(s) à fort trafic situé(s) en périphérie ?			

Distance de l'agglomération la plus importante

Nombre d'habitants de cette agglomération

Extrait de carte IGN au 1/25000<sup>e</sup>

Plan du site
























Photo du site

# RELEVÉS METEOROLOGIQUES

Etablissement :

Fiche envoyée le :

Relevé Météorologique du ..... au ..... 2002

		Température	Direction et force du Vent	 Ensoleillement	Hygrométrie	Autre
Lundi		 .....  .....	N  V= .....			
Mardi		 .....  .....	N  V= .....			
Mercredi		 .....  .....	N  V= .....			
Jeudi		 .....  .....	N  V= .....			
Vendredi		 .....  .....	N  V= .....			
Samedi		 .....  .....	N  V= .....			
Dimanche		 .....  .....	N  V= .....			



---

## BIBLIOGRAPHIE

---

### Les bio-indicateurs végétaux :

---

- ✓ GAVERIAUX ; Jean-Pierre.- « *Les lichens et la bio indication de la qualité de l'air - Guide technique à l'usage des professeurs des collèges et lycées* ».
- ✓ KIRSCHBAUM; WOTH.- « *Les lichens bio-indicateurs les reconnaître et évaluer la qualité de l'air* ».- ISBN : 2-84138-080-7.- édition Ulmer 1997.
- ✓ <http://www2.ac-lille.fr/lichen/> (lichen et qualité de l'air)
- ✓ [http://www.ac-amiens.fr/lycee60/faure\\_beauvais/fr/dossiers/Eur9899/projet/bioindic.htm](http://www.ac-amiens.fr/lycee60/faure_beauvais/fr/dossiers/Eur9899/projet/bioindic.htm) (les bio-indicateurs de la qualité de l'eau)
- ✓ <http://www.environnement.gouv.fr/actua/cominfos/dosdir/DIRPPR/dosdppr.htm#air> (dossier sur la pollution de l'air - site du gouvernement)
- ✓ <http://www.loirestuaire.org/ailleurs/web/web.asp#haut>
- ✓ <http://site.voilà.fr/O3VEG>  
(Ozone et Végétaux- Site de Jean-François Castell)

### Les différents polluants de l'air :

---

- ✓ BICOCCHI, Stéphane.- *Les polluants et les techniques d'épuration des fumées*.- éditions TEC & DOC Lavoisier, 1998, ISBN: 2-7430-0268-9.
- ✓ <http://www.cig.ensmp.fr/~hubert/dicocnfsh/dicpolua.htm> (définition)
- ✓ <http://www.fr.tentelemed.com/Paracelse/envirtox/Pollatmo/polatmo.htm> (les différents polluants)
- ✓ <http://atlenv.ns.ec.gc.ca/french/aeb/ssd/asd.html> (les différents polluants)
- ✓ <http://www.statistique.admin.ch/ch150/fch62.htm> (origines des polluants)
- ✓ <http://www-bioclim.grignon.inra.fr/cours/castell/cours.html> (document complet sur les polluants)
- ✓ <http://ecoroute.uqcn.qc.ca/didacticiel/pollution/scene1.htm> (animation très sympa sur la pollution)
- ✓ <http://bisance.citi2.fr/AIRSANTE/> (effet des polluants sur la santé)

## L'ozone :

---

- ✓ MAURAIN, Charles.- *L'étude physique de la terre, intérieur, couche superficielle, atmosphère.- Que sais-je ?*, 1942.
- ✓ Bureau des longitudes.- *La terre, les eaux, l'atmosphère.- Encyclopédie scientifique de l'univers.- Gauthier-Villars*, 1977.
- ✓ Conseil supérieur d'hygiène publique de France.- *L'ozone, indicateur majeur de la pollution photochimique : Evaluation et gestion du risque sur la santé.- Lavoisier, TEC & DOC*, juin 1996.
- ✓ <http://www.ozone.ch/ozone/>  
(définition)
- ✓ <http://www.ec.gc.ca/ozone/indexf.htm>  
(l'ozone stratosphérique)
- ✓ [http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/f/ozone/Curr\\_allmap.htm](http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/f/ozone/Curr_allmap.htm)  
(carte de l'hémisphère Nord)
- ✓ <http://www.airbreizh.asso.fr/o3.html>  
(la pollution à l'ozone)
- ✓ <http://www.atmolor.org/polluants/o3.htm>  
(effet et seuil des taux d'ozone)
- ✓ <http://perso.libertysurf.fr/pst/svtiufm/atmosphr.htm>  
(définition de l'atmosphère et de l'effet de serre)
- ✓ <http://www.environnement.gouv.fr/actua/cominfos/comaout99/lutte-ozone.htm>  
(lutte contre la pollution par l'ozone)
- ✓ [http://www.msc-smc.ec.gc.ca/cd/factsheets/ozone/index\\_f.cfm](http://www.msc-smc.ec.gc.ca/cd/factsheets/ozone/index_f.cfm)  
(qu'est-ce que la couche d'ozone)
- ✓ [http://www.ecoinfo.org/env\\_ind/region/ozone/ozone\\_french.htm](http://www.ecoinfo.org/env_ind/region/ozone/ozone_french.htm)  
(état des lieux de l'épaisseur de la couche d'ozone)
- ✓ <http://site.voilà.fr/O3VEG>  
(Ozone et Végétaux- Site de Jean-François Castell)

## Physiologie végétale :

---

- ✓ Institut national de la recherche agronomique France.- *Etudes sur les transferts d'eau dans le système sol-plante-atmosphère.- édition : Paris, Inra, 1988.- 362 p.*
- ✓ KLINSKENBERG, H. ; PAUL, R. ; IMPENS, R. .- *L'ozone et les plantes.- Annales de Gembloux*, 1988.

- ✓ BONNIER, G. ; MANGIN, L. -*La fonction respiratoire chez les végétaux* - Ann. Sc. Nat. - 1885, p 365 - 380.
- ✓ GERTRUDE, M. - *Action du milieu extérieur sur le métabolisme végétale*.- Rev. Gen. Bot. - 1937.
- ✓ MOYSE, Alexis - *Respiration et métabolisme azoté*.- Hermann et Cie.- 1950.
- ✓ <http://ourworld.compuserve.com/homepages/origine/cours.htm> (les plantes transpirent)
- ✓ [http://biblio.inrp.fr/lamap/scientifique/vie\\_vegetale/essentiel/nutrition.htm](http://biblio.inrp.fr/lamap/scientifique/vie_vegetale/essentiel/nutrition.htm) (respiration foliaire)
- ✓ <http://www.quid.fr/WEB/PLANTES/Q005760.HTM> (explication complexe)
- ✓ <http://www-bioclim.grignon.inra.fr/cours/castell/cours.html> (Effets des polluants atmosphériques sur la physiologie des plantes)
- ✓ <http://le-village.ifrance.com/cyberbio/entree.htm> (petit test sur l'anatomie des végétaux)
- ✓ <http://site.voilà.fr/O3VEG>  
(Ozone et Végétaux- Site de Jean-François Castell)

#### Expérience sur les échanges gazeux de la plante :

---

- ✓ Biologie - géologie , diton-dlc/cnam-groupe evariste , crdp reims, 1995.
- ✓ Biton J.C. exao n°3 fascicule 1, mafpen/rectorat Aix-Marseille, 1995.
- ✓ Lascombes G. manuel de t.p. de physiologie animale et végétale, hachette, 1968.
- ✓ Prat R. l'expérimentation en physiologie végétale, collection méthodes, Hermann, 1993.
- ✓ <http://www.univers-nature.com/activites/experience.html>