

scienceinfuse

ANTENNE DE FORMATION ET DE PROMOTION DU SECTEUR SCIENCES & TECHNOLOGIES

DOSSIER
ENSEIGNANT



BIOLOGIE

Les lichens et la qualité de l'air



UCL

Scienceinfuse • Antenne de formation et de promotion du secteur sciences & technologies
rue des Wallons 72 L6.02.01 • 1348 Louvain-la-Neuve

Introduction

Les **lichens** sont des bio-indicateurs de la qualité de l'air. Certains êtres vivants qui nous entourent sont en effet capables de nous donner des informations quant à l'état de santé de notre environnement, c'est le cas des lichens. Ces méthodes de mesure biologique sont de plus en plus reconnues, utilisées et couplées aux mesures physico-chimiques ponctuelles lors d'études de qualité d'un environnement donné. Ainsi la Région Wallonne a cartographié la qualité des cours d'eau de Wallonie par la méthode de l'indice biotique qui est également une méthode de bio-indication.

Ce **kit** permet à l'enseignant de mettre ses élèves en situation réelle et concrète par la mesure de la qualité de l'air environnant de l'école. De plus, en réalisant une telle mesure il est possible d'identifier la multiplicité des facteurs qui interviennent dans le maintien d'une population de lichen et de développer l'esprit critique des élèves : ce n'est pas parce que le lichen est sensible à la qualité de l'air que c'est le seul facteur qui va influencer son développement. Quels sont les autres facteurs ?

Enfin, l'homme a un impact non négligeable sur la qualité de l'air. Quel est cet impact ? Quelles sont les activités humaines à remettre en question ? Comment remédier à ce genre de problème ?

L'activité proposée permet donc d'aborder des notions à voir en 3^e et 6^e secondaire.

Matériel

- 14 livrets de détermination
- 6 grilles transparentes
- 20 loupes
- Épingles/punaises
- 6 bouts de ficelle
- 1 livre « *Arbres et arbrisseaux de Belgique et du nord de la France* », Debot L., Ed. Elsevier, 1999
- 1 livre « *Les lichens bio-indicateurs, les reconnaître, évaluer la qualité de l'air* ». Kirschbaum et Wirth. Ed. Ulmer 1997

Ce matériel peut être emprunté à Scienceinfuse ([en réservant au 010/473975 ou par mail à scienceinfuse@uclouvain.be](mailto:scienceinfuse@uclouvain.be)).

Les lichens et la qualité de l'air

Table des matières

Qu'est-ce qu'un lichen ?	p. 4
La morphologie d'un lichen	p. 6
Organes particuliers du thalle	p. 7
L'écologie des lichens	p. 9
L'intérêt des lichens	p. 10
Les lichens et la pollution atmosphérique	p. 11
Quelques mots sur la pollution de l'air	p. 13
Effets de la pollution de l'air sur la santé	p. 17
Le guide sortie terrain	p. 18
Annexes	p. 27
Bibliographie	p. 30

1. Qu'est-ce qu'un lichen?

Un lichen est un organisme composite résultant de l'association entre deux êtres vivants : un champignon et une algue unicellulaire ou un champignon et une cyanobactérie.

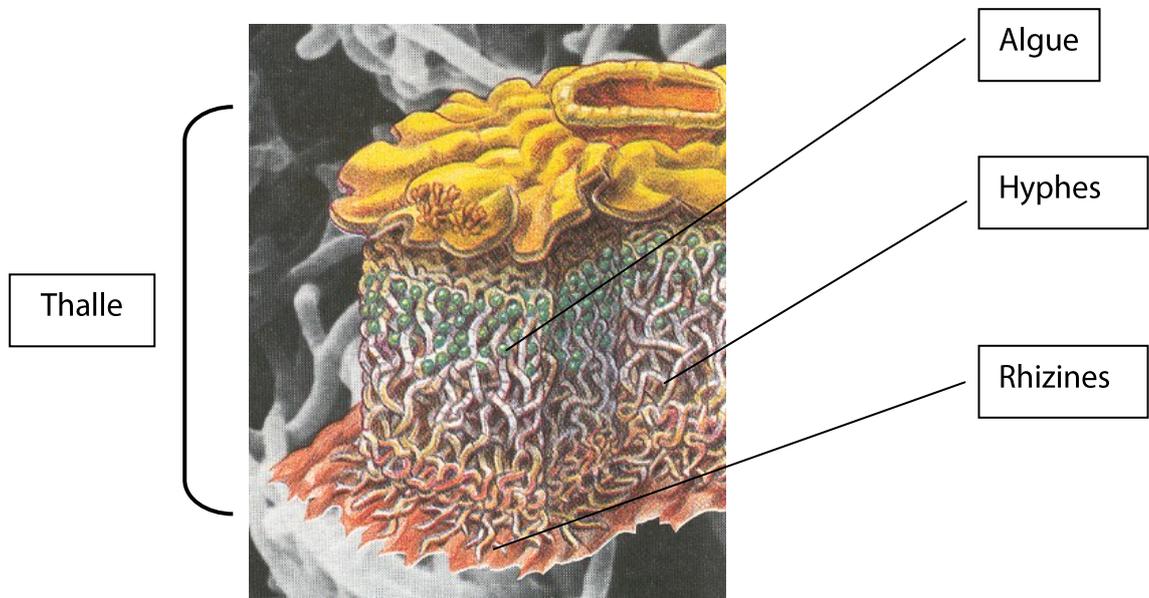
Chacun des deux partenaires tient un rôle important dans la survie de l'autre.

Le champignon fournit un abri à l'algue ou à la cyanobactérie (protection contre les pertes d'eau trop brutales, contre les rayonnements solaires trop intenses, contre les animaux, etc.) ainsi que les sels minéraux, l'eau et les antibiotiques nécessaires à leur bon développement.

L'algue ou la cyanobactérie, quant à elle, par son activité photosynthétique, va fournir au champignon la matière organique (entre autres les glucides) nécessaire à son existence. Cette association étroite et à bénéfice réciproque entre ces deux êtres vivants se nomme **symbiose**.

Le champignon est responsable de la morphologie des lichens, c'est-à-dire de la forme du corps du lichen. Le corps d'un lichen est appelé **thalle**. Le thalle est formé par un réseau de filaments nommés **hyphes** (ils sont comparables au mycélium des champignons). C'est au milieu d'un enchevêtrement de ces filaments que se trouvent les algues.

Au niveau de la partie inférieure du thalle, on observe un nouvel entrelacement de filaments servant à fixer le lichen à un support, ce sont les rhizines.



Champignon
Etre vivant eucaryote hétérotrophe par absorption

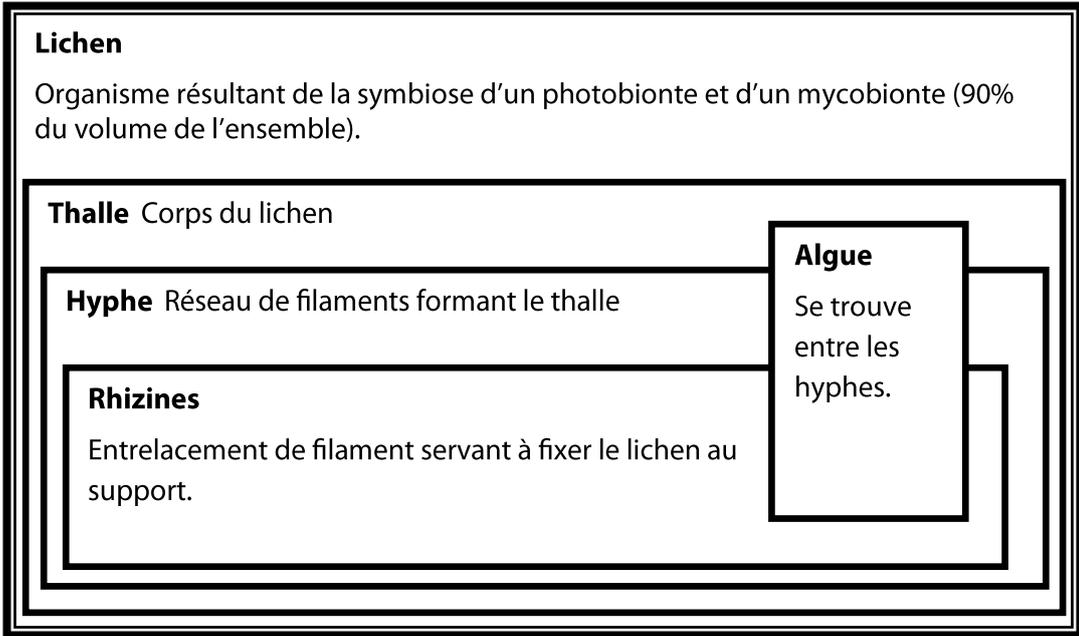
Algue unicellulaire (85% des cas)

Algue unicellulaire et cyanobactérie (5% des cas)

Cyanobactérie (10% des cas)

« Hôte »
Apporte protection, lieu de vie, ainsi que les sels minéraux, l'eau et les antibiotiques.

« Photobionte »
Apporte de la matière organique.



« *Photobionte* : (syn. Photosymbionte) Symbionte photoautotrophe d'un partenaire hétérotrophe. Il peut être externe (ectosymbionte) ou interne (endosymbionte) au partenaire. »

« *Mycobionte* : (syn. Mycosymbionte) Mycète (généralement un ascomycète), symbionte de l'algue ou des cyanobactéries d'un lichen. »

Source : Jacques BERTHET en collaboration avec Alain Amar-Costesec, « Dictionnaire de biologie », de boeck 2006

2. La morphologie des lichens

Le thalle est l'appareil végétatif du lichen qui assure sa nutrition, sa survie et sa croissance. Il va présenter une morphologie spécifique, différente de celle des algues et des champignons libres. Selon leur morphologie, on peut distinguer plusieurs grands types de thalles, les 3 principaux étant : les thalles crustacés, foliacés et fruticuleux. La distinction de ces principales morphologies permet, par l'observation à l'œil nu ou à la loupe, de suivre les premiers critères des clés de détermination.

a. **Thalles crustacés** forment des thalles ressemblant à des croûtes, ils adhèrent au support sur toute leur surface ; ils ne peuvent en être détachés.



b. **Thalles foliacés** forment des thalles en forme de lames ou de feuilles, ils sont faiblement appliqués au substrat et sont facilement détachables par endroits.



c. **Thalles fruticuleux** présentent des formes barbues ou en lanière et sont fixés en un seul point au support.



3. Organes particuliers du thalle

Le thalle porte différents types d'organes à sa surface (figure 1). Ces organes ont différentes fonctions. Nous les découvrirons ci-dessous car ils aident à la détermination des différentes espèces de lichens.

3.1. LES ORGANES VÉGÉTATIFS

- Les cils : prolongements des hyphes se trouvant sur la **face supérieure** du thalle.
- Les rhizines : organes de fixation des lichens formés par un prolongement d'hyphes à la **surface inférieure** du thalle.
- Pseudocyphelles : petites ouvertures à la surface du thalle. Elles permettent les échanges gazeux avec l'atmosphère.

3.2. LES ORGANES DE LA MULTIPLICATION VÉGÉTATIVE ET DE LA REPRODUCTION.

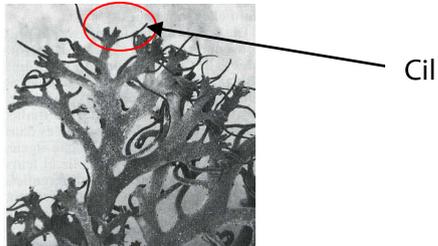
Les lichens sont des organismes **reviviscents**. Ils sont capables de subsister longtemps à l'état sec, c'est-à-dire qu'ils sont capables de passer de l'état de vie active à une vie ralentie quand ils ne sont plus hydratés. Ils deviennent cassants. Piétinés, les débris du lichen se fixent à la plume, au poil ou à la semelle. Les fragments dispersés par le vent ou les animaux et réhydratés, peuvent engendrer de nouveaux individus.

Des organes plus spécialisés vont également participer à ce mode de dispersion nommé **multiplication végétative**. Les **isidies** et les **soralies** sont de petites excroissances détachables formées d'algues et d'hyphes. Ce sont des clones du lichen « parent » qui ont tout ce qu'il faut pour former un nouveau lichen (le champignon et l'algue ou cyanobactérie associée). Ces excroissances sont légères et sont facilement transportées par le vent, la pluie, les insectes et permettent la dissémination de l'espèce.

Certains hyphes, sexuellement différenciés, fusionnent et donnent, à la surface du thalle, des **apothécies** ou des **périthèces**. Ce sont des boutons ou coupes arrondies sur le thalle, qui contiennent les spores nécessaires à la reproduction sexuée du champignon constituant le lichen. Elles peuvent être enfouies dans le thalle ou portées par un petit pied. Les **périthèces** se différencient des **apothécies** par leur structure, ce sont des coupes plus ou moins fermées. Les apothécies et les périthèces contiennent des spores (8 en général) agglomérées les unes aux autres au fond des coupes. Après leur libération, les spores germent et donnent des hyphes qui devront capturer des algues (ou cyanobactéries) pour pouvoir redonner un nouveau thalle lichénique.

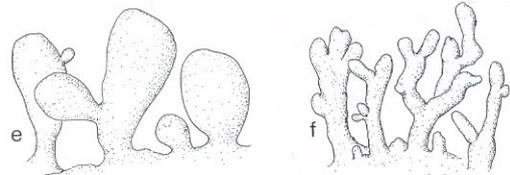
Toutefois, le champignon a généralement besoin d'une espèce d'algue (ou cyanobactérie) bien précise pour sceller son union et former à nouveau un thalle lichénique. Les différentes espèces de lichens vont donc développer différentes astuces pour pallier à ce problème. Certaines espèces auront leurs spores agglutinées avec quelques cellules de l'algue ou de la cyanobactérie de manière à avoir plus de chances de se développer qu'une spore isolée. D'autres peuvent survivre dans un premier temps grâce à d'autres algues ou encore, peuvent insinuer leurs hyphes dans un lichen voisin pour lui dérober quelques algues.

Figure 1: Organes particuliers du thalle.



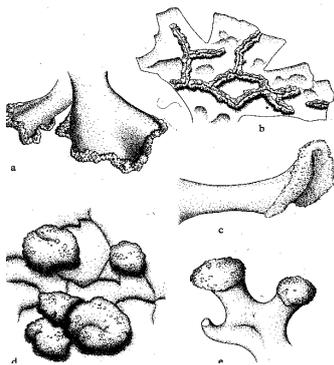
(d'après Kirschbaum et Wirth, 1997)

Isidies



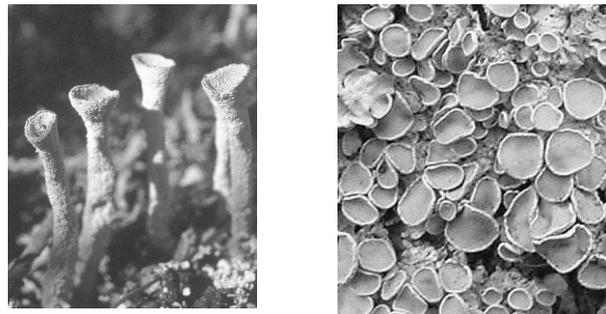
(d'après Wirth, 1995)

Soralies



(d'après Kirschbaum et Wirth, 1997)

Apothécies



(d'après G. oz, in Perrot, 2002)

4. L'écologie des lichens

Chaque espèce de lichen a besoin, pour se développer, de conditions écologiques particulières. Certains lichens poussent uniquement sur un substrat acide (roche, écorce, ...). D'autres ne pousseront que sur un substrat neutre ou basique. Certains exigeront des conditions de luminosité très élevée, d'autres non. L'humidité, la sécheresse, la température (déserts polaires ou déserts chauds), la présence d'azote (rochers fréquentés par les oiseaux), de calcaire (roches calcaires), de sel (rochers en bord de mer), de certains métaux, etc., sont autant de facteurs écologiques influençant le développement des différentes espèces de lichens. On trouve même des lichens capables de coloniser des matières plastiques ou de vieux pneus!

La diversité de ces exigences et les propriétés des différentes espèces de lichens telles que la reviviscence et la résistance aux températures extrêmes entraîne qu'ils sont répandus à travers presque toutes les régions du monde. On les trouve des zones les plus extrêmes (pôles, sommets des montagnes jusqu'à la limite des neiges éternelles, déserts rocheux,...), aux zones les plus communes (dans les bois, sur les murs, etc.).

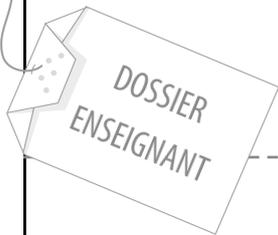
Par ailleurs, on peut considérer les lichens comme des espèces pionnières. Ils sont les premiers, avec les mousses, à coloniser des substrats nus tels que la roche.



Les lichens sont donc présents dans le monde entier et en fonction de certains critères tels que la nature du substrat on peut les classer :

- Les **lichens saxicoles** se développent sur la roche.
- Les **lichens corticoles** se développent sur l'écorce des arbres.
- Les **lichens lignicoles** se développent sur le bois mort.
- Etc.

Dans le cadre de ce travail, ce sont les **lichens corticoles** qui vont nous intéresser.



5. L'intérêt des lichens

Les lichens ont été utilisés depuis l'Antiquité comme plantes médicinales et pour de multiples autres usages alimentaires ou artisanaux.

Voici quelques usages :

- Usages alimentaires : certains lichens constituent un fourrage pour des animaux comme par exemple, les rennes de Laponie. D'autres peuvent également être source de glucose et dans certaines régions ils sont consommés comme aliment pour l'homme (Japon, Canada).
- Usages médicaux : aujourd'hui, le principal intérêt des lichens en médecine est leur potentiel antibiotique. Ils sont également utilisés en homéopathie pour la fabrication de sirops et de pastilles.
- Usages industriels : les huiles essentielles de certaines espèces de lichens sont utilisées pour la fabrication de parfums et de savons. Les lichens sont également connus pour la fabrication artisanale de teintures. Enfin, d'autres utilisations telles que la décoration des tables, la confection des maquettes (où ils représentent des arbres) et celle de couronnes funéraires sont courantes dans certains pays.
- Usage en bio-indication : de nombreuses espèces de lichens ont une écologie très précise (cf. p. 8), de sorte que leur présence est susceptible de donner des indications sur les caractères physiques ou chimiques du milieu considéré. L'utilisation des lichens permet donc d'étudier, par exemple, la chimie et la stabilité des sols, la hauteur moyenne de l'enneigement (certaines espèces ne supportent pas l'humidité permanente due à la couverture nivale), le degré de pureté de l'atmosphère, etc.

6. Les lichens et la pollution atmosphérique

Le choix des lichens comme **bio-indicateurs** s'explique par de nombreuses particularités de ces végétaux et notamment par quelques différences fondamentales avec les végétaux supérieurs :

- Le ratio surface/volume est très élevé et ils n'ont pas de cuticule, les lichens sont donc particulièrement en contact avec les polluants présents dans l'air.
- Les lichens ne possèdent pas de stomates qui permettent de réguler les entrées et sorties de gaz et d'eau dans le thalle. Ils possèdent des pseudocyphelles (cf. p. 7), qui sont dépourvus d'un mécanisme de contrôle des échanges avec l'atmosphère. Dans cette situation, seuls l'air, le vent, la pluie et le brouillard leur apportent les éléments minéraux et l'eau nécessaires à leur croissance. Les lichens absorbent indistinctement, par leurs pseudocyphelles, l'ensemble des substances qui leur parviennent, les substances nutritives tout comme les substances qui leur sont toxiques. Ainsi, dans un environnement où l'air est pollué, les lichens sont particulièrement exposés à la pollution et ils en subissent les effets (diminution de l'activité photosynthétique, modification des voies métaboliques, etc.).
- Les lichens sont des végétaux dont l'activité est continue quelle que soit la saison car ils sont capables de réaliser la photosynthèse à des températures inférieures à -10°C . En hiver, ils sont alors soumis à une pollution très importante résultant de l'augmentation des émissions de polluants (entre autres par le chauffage domestique). Cette activité hivernale est un élément essentiel permettant d'expliquer leur sensibilité à la pollution atmosphérique.
- Les lichens ont un métabolisme lent (car la proportion d'algues est très faible) qui se traduit par une vitesse de croissance faible et par une longévité qui permet de suivre l'évolution de la pollution (certains lichens peuvent vivre plus de 100 ans !). Les mesures par l'observation des lichens seront très différentes de celles réalisées par des méthodes chimiques. En effet, contrairement aux mesures biologiques, les mesures chimiques sont ponctuelles, elles ont lieu à un endroit précis, à un moment donné. Elles sont également plus précises pour analyser un type de polluant et la quantité de chacun des polluants testés. Toutefois, des variations dans le temps des facteurs de l'environnement se traduisent assez rapidement par des variations détectables de la végétation lichénique. C'est ainsi, par exemple, que près de Maubeuge, une nette régression de l'industrie sidérurgique s'est accompagnée d'un développement rapide de la flore lichénique. Les mesures biologiques ont donc l'avantage d'intégrer le temps.
- Les lichens sont très diversifiés et leur sensibilité à divers polluants (ozone, métaux lourds, azote, etc.) est différente en fonction des espèces et leur inventaire peut fournir une réponse très nuancée aux divers agents polluants se trouvant dans l'air. Ceci implique une grande prudence dans l'interprétation des résultats.

Les méthodes biologiques sont intéressantes par leur simplicité, leur rapidité et leur coût nettement moins élevé que celui des méthodes chimiques. Les méthodes biologiques sont complémentaires des méthodes chimiques : en général, les deux méthodes sont conseillées pour évaluer la qualité d'un environnement avec précision.

- Les lichens ont un grand pouvoir d'accumulation. Ils accumulent de façon sélective des quantités très importantes de substances prélevées dans l'atmosphère comme le soufre, le plomb, le fluor, les éléments radioactifs, etc. Cette propriété permet d'utiliser les lichens comme bio-indicateurs d'une pollution spécifique.

Un exemple connu d'accumulation d'éléments par les lichens est celui des rennes de Laponie. Après l'explosion de Tchernobyl, les lichens ont accumulé une série d'éléments radioactifs. Or, les lichens contribuent au régime alimentaire des rennes qui ont continué de se nourrir de ces lichens gorgés d'éléments radioactifs. Les rennes ont donc été éliminés afin qu'ils ne contaminent pas à leur tour les hommes.

Il est à noter que les espèces crustacées, aux échanges faibles et à la croissance plus lente que les espèces foliacées et fruticuleuses, sont moins affectées par la pollution atmosphérique et résistent mieux à l'environnement industriel et urbain. Ainsi, lors d'une première observation de la flore lichénique d'un environnement, un premier diagnostic de la qualité de l'air peut être avancé en fonction des types de thalles majoritairement présents sur les troncs d'arbres.

7. Quelques mots sur la pollution de l'air

La pollution atmosphérique recouvre un ensemble de phénomènes complexes et divers. La pollution peut être d'origine naturelle (éruptions volcaniques, ...) ou d'origine humaine (rejets des industries, des voitures, aérosols, ...).

Aux principaux constituants de l'atmosphère (tableau 1), viennent s'ajouter d'autres composés d'origine naturelle et/ou d'origine humaine tels que le dioxyde de soufre, l'acide fluorhydrique, l'acide chlorhydrique et l'acide sulfhydrique et les composés organiques volatils (COV). Certains de ces différents composés seront à l'origine des diverses pollutions atmosphériques.

Tableau 1 : Composition actuelle de l'atmosphère près de la surface

Nom du gaz	% présent
Azote (N ₂)	78 %
Oxygène (O ₂)	21 %
Argon (A)	0,93 %
Vapeur d'eau (H ₂ O)	0 - 4 %
Gaz carbonique (CO ₂)	0,0395 %
Néon (Ne)	0,0018 %
Krypton (Kr)	0,000114 %
Hydrogène (H)	0,00005 %
Oxyde d'azote (N ₂ O)	0,00005 %
Xénon (Xe)	0,0000087 %
Ozone (O ₃)	0 - 0,000001 %

Source: <http://www.ffme.fr/technique/meteorologie/theorie/atmosphere/composition.htm>
http://www.cnrs.fr/cnrs-images/sciencesdelaterreaulycee/contenu/dyn_ext1-1.htm

On parlera de pollution lorsque « la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de constituants de l'air est susceptible de créer une gêne ou de provoquer un effet nuisible, compte tenu des connaissances scientifiques du moment » (Conseil de l'Europe, 1967).

Les sources naturelles d'émission de polluants atmosphériques sont :

- Les volcans (lors des éruptions) diffusent les oxydes d'azote et du dioxyde de soufre.
- Les océans et la décomposition biologique vont produire des oxydes d'azote et du dioxyde de soufre.
- Les éclairs engendrent des oxydes d'azote.
- Les feux de forêt vont émettre du dioxyde de soufre.

- Les dégagements de gaz naturels issus des volcans ou de l'activité de certaines bactéries vont diffuser les *acides fluorhydrique, chlorhydrique et sulfhydrique*.
- Les réactions chimiques avec les radiations solaires vont former l'*ozone*.

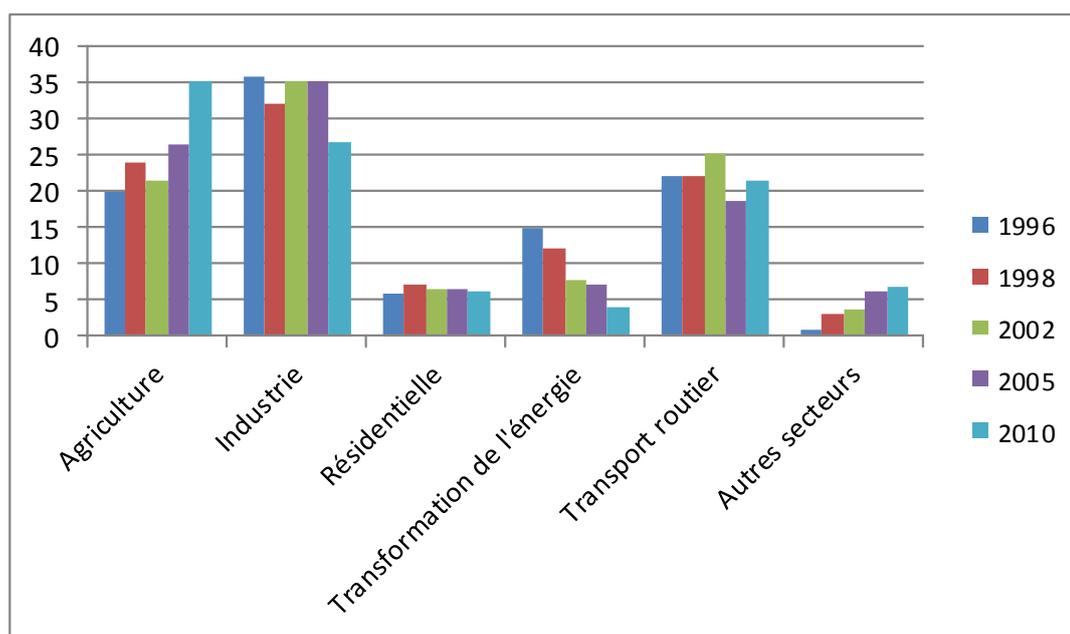
La pollution de l'air due aux activités humaines concerne le même type de polluants et provient essentiellement de trois types d'activités (figure 2):

- Des industries (chimiques, pétrochimiques, cimenteries, métallurgies, usines d'incinération, ...)
- Des transports (circulation automobile, aérienne, ...)
- Du chauffage, des centrales thermiques, ...

En Wallonie, les substances acides principales sont le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote (NO et NO₂). Les transports routiers et l'industrie sont les principaux émetteurs de ces substances alors que l'agriculture est essentiellement responsable des émissions d'ammoniac (NH₃). Voir figures 2 et 3 ci-dessous.

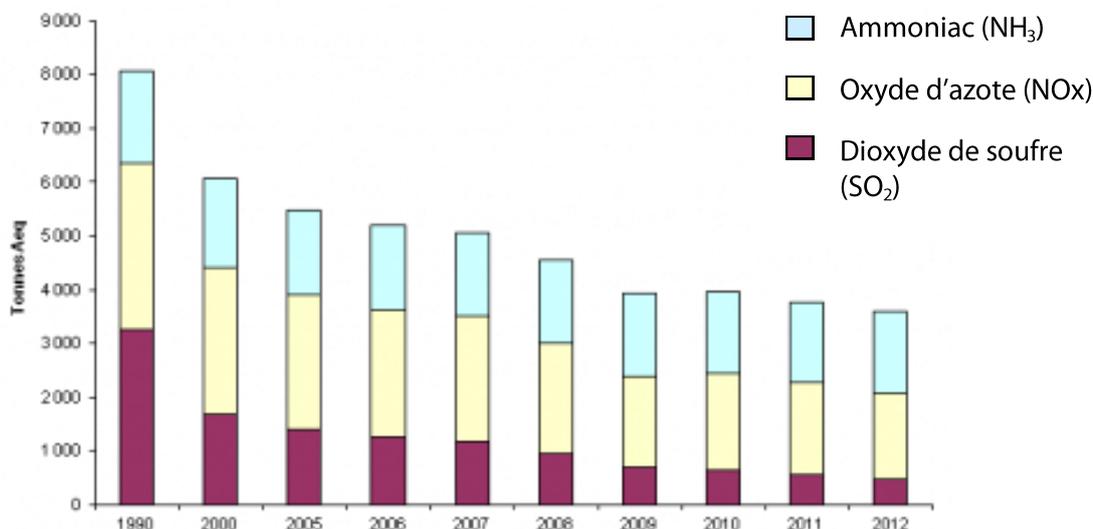
L'évolution des émissions de substances acidifiantes s'explique principalement par les nouvelles législations plus strictes en matière d'émanations industrielles dans l'environnement, de l'utilisation de technologies et de techniques telle que le pot catalytique, des chaudières plus performantes, de l'abaissement de la teneur en soufre du diesel et du fuel lourd et l'utilisation plus abondante du gaz naturel.

Figure 2 : Graphique de l'évolution du pourcentage d'émission de substance acidifiante de l'air en Wallonie dans les différents secteurs d'activités.



Source : <http://etat.environnement.wallonie.be/>

Figure 3 : Graphique de l'évolution des émissions de substance acidifiante en tonnes Aeq (unité équivalent acide)

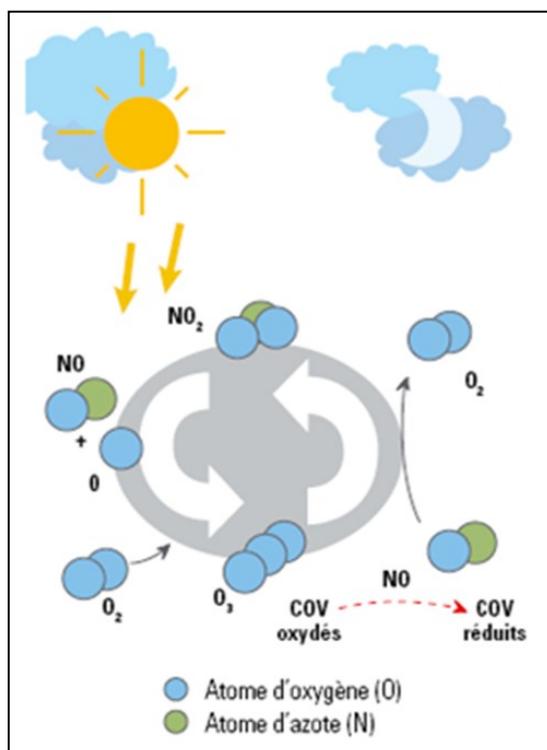


Source : <http://www.iweps.be/evolution-des-emissions-de-substances-acidifiantes>

Au début des années nonante, le principal polluant, le **SO₂**, provenait essentiellement des industries et du chauffage. De nos jours, la pollution par le **SO₂** a nettement diminué. En contrepartie, les composés azotés issus du trafic routier et des industries (essentiellement les oxydes d'azote) sont devenus les principaux polluants touchant à la fois la campagne et les régions urbaines. En effet, malgré une diminution des concentrations en oxydes d'azote dans l'atmosphère on ne remarque pas de véritable amélioration en termes de NO₂ (Rapport de l'état de l'environnement Wallon 2010). Il y a donc moins de risques de pluies acides mais pas d'eutrophisation.

La complexité de la pollution de l'air vient des réactions en chaîne que les polluants acidifiants provoquent :

Les oxydes d'azote sont les précurseurs de la formation de l'ozone troposphérique et le SO₂ et le NH₃ participent à la formation de particules secondaires qui, selon les endroits et les conditions météorologiques, peuvent constituer une fraction importante des particules présentes dans l'air ambiant.



Les réactions photochimiques conduisant à la formation d'ozone sont extrêmement complexes. De manière simplifiée, on considère que la réaction de formation de l'ozone troposphérique est initiée par la photodissociation d'une molécule de dioxyde d'azote (NO_2) par des radiations solaires UVA ou UVB, formant ainsi un radical oxygène (O) et un radical de monoxyde d'azote (NO). Le radical oxygène se combine avec une molécule d'oxygène (O_2) pour former une molécule d'ozone (O_3), qui est une molécule très instable.

La destruction de l'ozone est due à sa réaction avec le monoxyde d'azote (NO) pour reformer du dioxyde d'azote. Cependant, cette destruction est partiellement inhibée par les COV, qui réagissent avec le radical NO , empêchant donc celui-ci de réagir avec l' O_3 et de le détruire.

Source: Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007 p. 322

8. Effet de la pollution de l'air sur la santé :

Le SO₂ entraîne une inflammation des bronches avec un spasme qui provoque une altération de la fonction respiratoire.

Le NO₂ est toxique (40 fois plus que CO, 4 fois plus que NO). Il pénètre profondément dans les poumons. Les pics de concentrations sont plus nocifs qu'une même dose sur une longue période. Le NO est un gaz irritant pour les bronches, il réduit le pouvoir oxygénateur du sang.

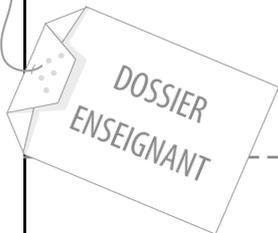
Le NH₃ est un gaz incolore et odorant, très irritant pour le système respiratoire, la peau et les yeux. Son contact direct peut provoquer des brûlures graves. A forte concentration, ce gaz peut entraîner des œdèmes pulmonaires. L'ammoniac est un gaz mortel à très forte dose. Une tolérance aux effets irritants de l'ammoniac peut aussi être développée.

Décret n° 98-360 du 6 mai 1998, de la Commission Européenne.

Ce décret définit des objectifs de qualité de l'air, des seuils d'alerte et les valeurs limites des différents polluants atmosphériques. Voici, à titre d'information, un tableau reprenant ces valeurs.

Polluant	Valeurs limites Protection santé	Valeurs limites Protection végétation	Mesure moyenne sur :	Condition supplémentaire A remplir
Dioxyde de soufre (SO ₂)	125 µg/m ³ 350 µg/m ³	20 µg/m ³	24h 1h Année civile	A ne pas dépasser plus de 24 fois par an A ne pas dépasser plus de 3 fois par an
Dioxyde d'azote (NO ₂)/(NOx)	200 µg/m ³ 40 µg/m ³	30 µg/m ³	1h Année civile Année civile	À ne pas dépasser plus de 18 fois par an
Ozone (O ₃)	110 µg/m ³	200 µg/m ³	8h 1h	
Monoxyde de carbone (CO)	10 mg/ m ³		8h	
Particules fines PM10	50 µg/m ³		24h	A ne pas dépasser plus de 35 fois par an

Source : http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/200181_progr_fr.pdf



9. Guide sortie terrain

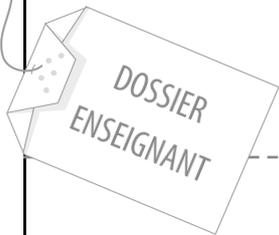
L'expérimentation suivante utilise des êtres vivants (**les lichens**) comme indicateurs de pollution. Cette expérimentation permettra aux élèves de prendre conscience du lien qui existe entre « qualité » d'un environnement et « diversité » de ce dernier. En effet, si dans un premier temps, les élèves devront s'approprier la notion de lichen et de pollution (cf. première partie), dans un deuxième temps, ils devront observer la quantité et la diversité de lichens présents sur les arbres. Cette partie est celle qui est développée dans le guide de l'enseignant.

Il est important de suivre pas à pas les différentes étapes présentées dans ce guide afin d'obtenir des résultats analysables. Le temps nécessaire à cette partie est estimé à environ 1h30 par site étudié. Cette démarche devrait mener les élèves à prendre conscience du travail fourni par les scientifiques ainsi que de la nécessité de se forger un esprit critique nécessaire à l'analyse des résultats.

Un tel travail tente d'être en accord avec les programmes scolaires où le savoir, savoir faire et savoir être font partie des compétences essentielles à faire acquérir aux élèves.

Les fiches fournies aux élèves leur permettront d'organiser les connaissances acquises, leurs observations, les analyser, émettre des hypothèses et enfin, émettre des conclusions en utilisant des classifications établies sur base de critères scientifiques.

Le sujet traité fait quant à lui, partie intégrante de l'éducation à l'environnement aujourd'hui intégrée à la plupart des programmes scolaires.



Le travail à effectuer sur le terrain est divisé en plusieurs parties.

Dans un premier temps, un site d'étude, ou station, sera choisi par l'enseignant ou par l'enseignant et ses élèves. Ensuite, après observation des lichens, les fiches élèves seront complétées. Enfin, des hypothèses seront formulées quant à la qualité de l'air de l'endroit étudié.

1. *Choix de la station (site d'étude)*

Ce premier travail est à préparer, avant la sortie, par l'enseignant.

Critères à respecter :

1. Les arbres choisis doivent appartenir à la catégorie « Arbres à écorce acide » du tableau 1 (p. 20). En effet, tous les arbres n'ont pas le même type d'écorce. En fonction de l'acidité et du type d'écorce (crevassée, lisse, acide, neutre, etc.), on trouvera différentes espèces de lichens. Or, pour obtenir des résultats représentatifs de la qualité de l'air, il est important d'éliminer tout facteur qui n'est pas lié à la qualité de l'air et qui influence la présence ou l'absence de certaines espèces de lichens. Pour ce travail, le critère principal qui sera retenu pour classer les arbres en groupe est le pH de l'écorce (niveau de mesure de l'acidité de l'écorce).

Pour vous aider à identifier les arbres de votre station, un livre « Arbres et arbrisseaux de Belgique et du nord de la France » est fourni dans la mallette.

2. La présence d'un minimum de 6 arbres de la même espèce ou du même groupe, soumis à de mêmes conditions et, si possible, compris dans un carré de 1 km de côté est nécessaire.

3. Les arbres choisis doivent être isolés, ainsi ils sont soumis à des mouvements d'air homogènes. Ils seront donc plus représentatifs d'une pollution éventuelle qu'un groupe d'arbres dans un parc ou dans un bois. Par exemple : un arbre dans un fossé ne sera pas soumis aux mêmes conditions qu'un arbre en bordure du parc ou encore, l'arbre au centre du groupe n'est pas soumis aux mêmes conditions que les arbres à la périphérie.

Remarque : Sur le terrain, les élèves identifieront eux-mêmes les différents arbres de la station.

4. Le diamètre des arbres doit être de plus de 20 cm. En effet, la croissance des lichens est tellement lente que seuls les arbres âgés possèdent des colonies de lichens suffisamment développées.

Une corde permettant de mesurer le périmètre des arbres est fournie dans la mallette.

Tableau 1 : Différents groupes d'arbres utilisables

Arbres à écorce sub-neutre	Arbres à écorce modérément acide	Arbres à écorce acide
Erable plane (Acer planatoides)	Erable sycomore (Acer pseudoplatanus)	Aulne glutineux (Alnus glutinosa)
Frêne (Fraxinus excelsior)	Poirier (Pyrus communis)	Bouleau (Betula sp.)
Noyer (Juglans regia)	Robinier (Robinia pseudoacacia)	Merisier (Prunus avium)
Pommier (Malus sp.)	Tilleul à petites feuilles (Tilia cordata)	Prunier (Prunus domestica)
Peuplier (Populus sp.)	Tilleul à grandes feuilles (Tilia platyphyllos)	Chêne pédonculé (Quercus robur)
Orme (Ulmus sp.)		Chêne sessile (Quercus petraea)
		Châtaigner (Castanea sativa)
		Charme (Carpinus betulus)
		Cerisier (Prunus padus)
		Aubépine (Crataegus sp.)

2. Le matériel

Le matériel mis à votre disposition dans la mallette est le suivant :

- loupes
- livrets de détermination
- grilles de relevé et punaises
- fiches élèves
- un fascicule enseignants

3. Les Fiches

Cette partie consiste à faire remplir les fiches terrain par les élèves. Pour cela, ils devront vérifier que l'ensemble des critères nécessaires au choix d'une station soient réunis (cfr. fiche 1 livret élève).

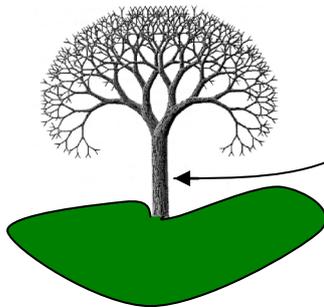
Ensuite, ils devront observer les lichens présents sur les 6 arbres de la station, les identifier si possible, et compléter les 6 fiches arbres (fiche n°2) correspondantes. Enfin, en classe ou sur le terrain, ils devront compléter la fiche station (fiche n°3), la fiche indice de pollution (fiche n°4) et la fiche synthèse (fiche n°5).

Comment faire le relevé et remplir les fiches ?

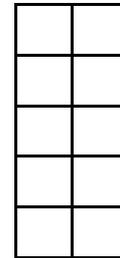
Une fois la station choisie, l'enseignant peut désigner différents groupes d'élèves pour chacun des 6 arbres. Le relevé peut alors commencer.

Des exemples sont proposés p. 23, 24 et 25 afin de suivre les différentes étapes ainsi que les calculs expliqués aux points suivants :

1. L'enseignant aide les groupes d'élèves à choisir la partie de l'arbre la plus colonisée par les lichens (environ à un mètre du sol). Ensuite, les élèves complètent le « nom de l'arbre » de leur fiche arbre (fiche n°2 p.23).
2. Les élèves appliquent la grille de relevé à environ 1m de haut sur le tronc de l'arbre (comme dans le schéma p.22). Ensuite, ils remplissent la « fiche arbre » en déterminant les espèces de lichens et en comptant le nombre de fois que ces espèces sont présentes dans chaque carré de la grille (voir exemple p. 22 et 23).



Grille de relevé



Numéroter chaque carré de la grille de relevé comme suit:

1	2
3	4
5	6
7	8
9	1

Identifier les lichens présents dans chaque carré.

Par exemple (cf. grille de relevé p. 23):

Carré 1 : *Physcia*, *X. parietina* et *E. prunasti*;

Carré 2 : *Physcia* et *P. sulcata*;

Carré 3 : *Physcia*, *P. sulcata* et une espèce indéterminée : X;

Etc.

Lorsque toutes les espèces ont été identifiées, il faut compter par exemple, combien de fois on trouve *Physcia* dans la grille entière. On obtient ainsi le total de *Physcia* sur cet arbre. Dans cet exemple, il est de 8.

Remarque:

Il n'est pas toujours possible d'identifier certaines espèces de lichens à partir de la clé fournie dans le livret de détermination. Il suffit alors de donner un nom quelconque à l'espèce non identifiée (espèce X, par exemple.).

Exemple : Grille de relevé de l'arbre 1

<i>Physcia</i> <i>X. parietina</i> <i>E. prunasti</i>	<i>Physcia</i> <i>P. sulcata</i>
<i>Physcia</i> <i>P. sulcata</i> Espèce X (indéterminée)	<i>Physcia</i> <i>P. sulcata</i>
<i>Physcia</i> <i>X. parietina</i>	<i>Physcia</i> <i>P. sulcata</i>
<i>X. parietina</i>	<i>Physcia</i> <i>X. parietina</i>
<i>Physcia</i>	Rien

Fiche n°2

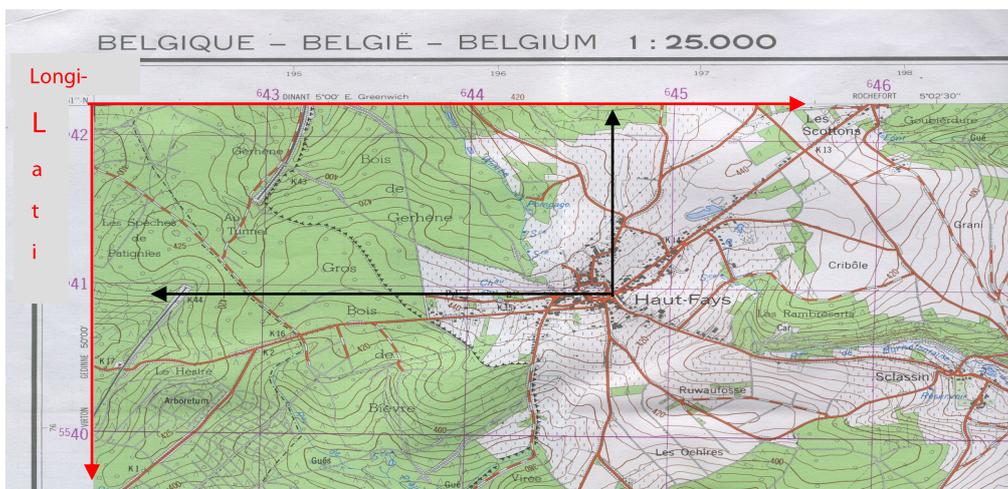
Fiche Arbre

Station 1 : *Arbre 1* : Chêne pédonculé

espèces identifiées ou non	carré 1	carré 2	carré 3	carré 4	carré 5	carré 6	carré 7	carré 8	carré 9	carré 10	Total
• <i>Physcia</i>	x	x	x	x	x	x		x	x		
• <i>Xanthoria parietina</i>	x				x		x	x			
• <i>Parmelia sulcata</i>		x	x	x		x					
• <i>Evernia prunasti</i>	x										
• Espèce X			x								
•											
•											

3. Commencer à remplir la « fiche station » (fiche n°3, p.25) par le cadre « **localisation** ». L'enseignant doit pouvoir aider les élèves à reporter les coordonnées des stations étudiées en s'inspirant de l'exemple suivant :

Pour lire les latitudes et longitudes, il s'agit de reporter la position de la station sur la carte I.G.N. et de projeter ce point sur l'échelle des longitudes et latitudes de la carte suivant des règles arithmétiques.



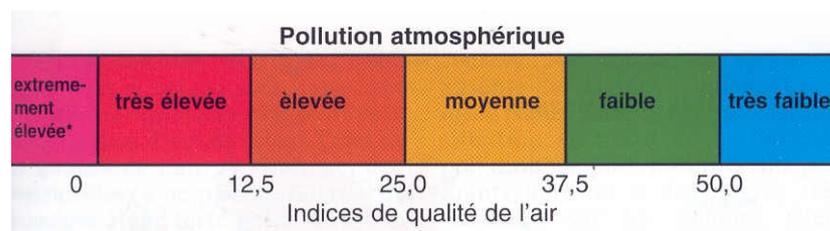
*Les coordonnées de ce point sont : **5°01'13"** de longitude et **50°00'47"** de latitude.*

4. Les élèves remplissent le cadre 3 de la « fiche station », puis l'ensemble de la fiche (exemple p. 25) par le nom et le total de chaque espèce de lichen observée sur les différents arbres.

5. La fréquence moyenne est calculée. Il s'agit de calculer la moyenne de la fréquence de chaque espèce sur l'ensemble des 6 arbres.

6. L'indice local de la qualité de l'air est calculé. Il est égal à la somme des fréquences moyennes de toutes les espèces.

7. L'indice local de la qualité de l'air est reporté sur l'échelle de l'évaluation de la pollution de l'air (exemple p. 27).



Echelle d'évaluation de la pollution de l'air pour l'Europe tempérée (Kirschbaum et Wirth, 1997)

Plus l'indice est élevé, moins l'air est pollué !

Fiche n°3

Fiche Station

Cadre 1

Cadre 2

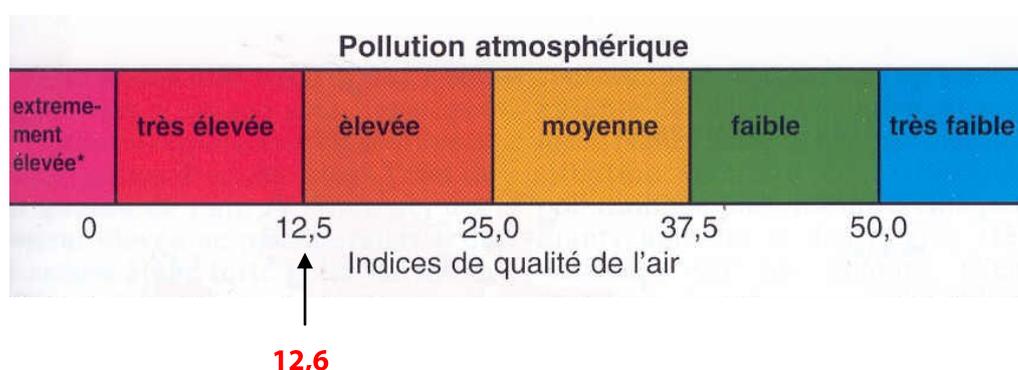
Station n° 1	Localisation:						
	Ville/village/Lieu dit/etc. : Haut-Fays, Rue de la source Nom et numéro de la carte : HAUT-FAYS – REDU, carte n°64/1-2 Longitude : 5°01'13" Latitude : 50°00'47"						
Espèces de lichens	Arbre 1: Chêne pédonculé	Arbre 2: Chêne pédonculé	Arbre 3: Chêne pédonculé	Arbre 4: Chêne pédonculé	Arbre 5: Chêne pédonculé	Arbre 6: Chêne pédonculé	Fréquence moyenne
Espèce : <i>Physcia</i>	8	5	6	7	10	7	$= (8+5+6+7+10+7)/6 = 7,2$
Espèce : <i>Xanthoria</i> <i>Parietina</i>	4	3	0	2	0	4	$= (4+3+2+4)/6 = 2,2$
Espèce : <i>Parmelia</i> <i>Sulcata</i>	4	0	0	2	0	2	$= 1,3$
Espèce : <i>Evernia</i>	1	0	1	2	0	0	$= 0,7$
Espèce : A	0	2	1	0	1	0	$= 0,7$
Espèce : B	0	0	2	0	0	0	$= 0,3$
Espèce : X	1	0	0	0	0	0	$= 0,2$
Indice local de la qualité de l'air (somme des fréquences)							$= 7,2+2+1,3+0,7+0,7+0,3+0,2$ $= 12,6$

Cadre 3

4. Analyse et synthèse des résultats

Une fois la fiche station remplie (fiche n°3 p. 25), il s'agit d'analyser le résultat obtenu et de le comparer aux résultats obtenus par les autres écoles.

Station	Indice de pollution	Pollution de l'air
STATION N° 1	12,6	Elevée



➔ La station étudiée se trouve dans une zone où la pollution de l'air est élevée voir très élevée !

Voici quelques pistes de réflexion :

- Le résultat obtenu permet-il d'émettre des conclusions sur l'étude de la station ?
- Y a-t-il des facteurs qui peuvent expliquer le résultat obtenu ?
- La localisation de la station a-t-elle un effet sur ce résultat ? Pourquoi ?
- Votre résultat est-il différent des autres écoles ? Pourquoi ?
- Etc.

Une fiche (fiche n°5, livret élève) est à la disposition des enseignants et des élèves pour noter les impressions et les difficultés de l'expérience.

10. Annexes

Annexe 1

Tableau : Les indices de toxicité des lichens

<i>Lepraria incana</i>	9	<i>Evernia prunasti</i>	5
<i>Lecanora expallens</i>	9	<i>Parmelia glabratula</i>	5
<i>Hypogymnia physodes</i>	8	<i>Ramalina farinacea</i>	5
<i>Parmelia sulcata</i>	8	<i>Parmelia caperata</i>	3
<i>Physcia adscendens</i>	8	<i>Anaptychia ciliaris</i>	2
<i>Xanthoria parietina</i>	7	<i>Ramalina fastigiata</i>	2
<i>Parmelia acetabulum</i>	6	<i>Ramalina fraxinea</i>	2
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	6		

A chaque espèce correspond un indice de toxicité. Moins cet indice est élevé plus le lichen est sensible à la qualité de l'air.

Ainsi, par exemple, si le lichen *Anaptychia ciliaris* est trouvé, l'air est sûrement de bonne qualité.

Par contre, si uniquement les lichens *Lepraria incana* et *Lecanora expallens* sont rencontrés, l'air est sûrement pollué.

Dans le cas où l'on rencontre les espèces *Lepraria incana* et *Lecanora expallens* et d'autres espèces telles que *Anaptychia ciliaris* et/ou, *Parmelia caperata* par exemple, l'air doit être de bonne qualité puisque *Anaptychia ciliaris* et *Parmelia caperata*, sont des espèces peu toxicotolérantes.

Annexe 2

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

ZONES	Teneur en SO ₂	LICHENS RECENSES
A	pollution extrêmement forte	<i>Pleurococcus viridis</i> (algue)
B	pollution très forte	<i>Buellia punctata</i> <i>Lecanora conizaeoides</i>
C	pollution forte	<i>Lecanora expallens</i> <i>Lapraria incana</i>
D	pollution assez forte	<i>Diploicia canescens</i> <i>Lecidella alaeochroma</i> <i>Phaeophyscia orbicularis</i> <i>Physcia tenella</i> <i>Xanthoria polycarpa</i>
E	pollution moyenne	<i>Candelariella xanthostigma</i> <i>Evernia prunastri</i> <i>Hypogymnia physodes</i> <i>Parmelia sulcata</i> <i>Physcia adscendens</i> <i>Pseudevernia furfuracea</i> <i>Xanthoria parietina</i>
F	pollution faible	<i>Parmelia acetabulum</i> <i>Parmelia caperata</i> <i>Parmelia glabratula</i> <i>Parmelia pastillifera</i> <i>Parmelia soledians</i> <i>Parmelia subaurifera</i> <i>Parmelia subrudecta</i> <i>Parmelia tiliacea</i> <i>Pertusaria amara</i> <i>Pertusaria pertusa</i> <i>Phlyctis argena</i> <i>Physconia grisea</i> <i>Ramalina fartigiata</i> <i>Ramalina farinacea</i> <i>Xanthoria candelaria</i>
G	pollution très faible	<i>Anaptychia ciliaris</i> <i>Parmelia perlata</i> <i>Parmelia reticulata</i> <i>Parmelia revoluta</i> <i>Physcia aipolia</i> <i>Physconia distorta</i> (= <i>pulverulacea</i>) <i>Ramalina fraxinea</i>

Annexe 3

PRINCIPAUX POLLUANTS CHIMIQUES

COMPOSÉS GAZEUX COURANTS

NO _x (NO, NO ₂) Oxydes d'azote	Foudre, installations de combustion, véhicules automobiles, engrais azotés participent à la formation de l'ozone polluant.
SO ₂ Dioxyde de soufre	Éruptions volcaniques, combustion du charbon, du fioul.
CO Monoxyde de carbone	Traffic routier, chauffage participent à la formation de l'ozone polluant.
O ₃ Ozone	Polluant secondaire, se forme à partir d'autres polluants.
COV Composés organiques volatils Vaste famille de polluants comprenant le benzène, le formaldéhyde, etc.	Forêts, transports, industrie chimique, chauffage individuel, traitements agricoles (pesticides, engrais) participent à la formation de l'ozone polluant.
POPs Polluants organiques persistants dont HAP Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Combustions incomplètes (incinération des ordures, métallurgie, incendies de forêt, moteurs Diesel). Souvent liés aux particules.
Métaux lourds : plomb, mercure, cadmium, nickel, zinc, etc.	Combustion du charbon, du pétrole, des ordures ménagères. Généralement liés aux particules.

PARTICULES

PM ₁₀ (particules inhalables < 10 µm) PM _{2,5} (particules fines < 2,5 µm)	Pollens, fumées, poussières provenant de l'érosion et des éruptions volcaniques, fumées des combustions, du trafic routier, des industries, poussières des carrières, des cimenteries. Servent souvent de véhicules à d'autres polluants.
---	---

Source : ADEME

Source : **La recherche**, « la qualité de l'air », décembre 2012, N°470, 79

11. Bibliographie

- ANONYME, 1988. Aux frontières de la vie : Les lichens, avertisseurs naturels. Panda, 28, 31 pp.
- DEBOT L., 1999. Arbres et arbrisseaux de Belgique et du nord de la France. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique. 269 pp.
- DERUELLE S., 1978. Les lichens et la pollution atmosphérique. Bull. Ecol. 9, 2, p. 87-128.
- DE SLOOVER J., 1964. Végétaux épiphytes et pollution de l'air. Revue des questions scientifiques, 25, p. 531-561.
- DESTINAY Ph., 1983. La pollution de l'air. Centre d'Education pour la Protection de la Nature. 8 pp.
- FOREY P. et FITZSIMONS C., 1988. Arbres. Gründ. 128 pp.
- GAVERIAUX J.P., 1999. Les lichens et la bioindication de la qualité de l'air. Presses du Centre régional de documentation pédagogique de l'Académie d'Amiens. 58 pp.
- GARREC JP et VAN HALUWYN, 2002. Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Ed. TEC & DOC.
- KAPPEN L., 1993. Plant activity under snow and ice, with particular reference to lichens. Artic, v. 46, 4, p. 297-302.
- KIRSCHBAUM et WIRTH, 1997. Les lichens bio-indicateurs, les reconnaître, évaluer la qualité de l'air. Eugen Ulmer, Paris, 128 pp.
- PERROT J., 2002. L'amour des lichens. La salamandre, 148, 52 pp.
- OZENDA P. et CLAUZADE G., 1970. Les Lichens, étude biologique et flore illustrée. Masson et compagnie. 801 pp.
- RICHARDSON D., 1975. The Vanishing lichens. David and Charles. 231 pp.
- TIEVANT P., 2001. Guide des lichens. Delachaux et Niestlé. 304 pp.
- WIRTH V., 1995. Flechtenflora, Verlag Ulmer. 580 pp.

<http://users.skynet.be/laroseaie/lichens/accueil.htm>

<http://www2.ac-lille.fr/lichen/default.htm>

<http://www.thebls.org.uk/projects/ma.doc>

<http://www.ffme.fr/technique/meteorologie/theorie/atmosphere/composition.htm>

http://www.environnement.gouv.fr/actua/cominfos/dosdir/DIRPPR/air/pollu_origines.htm

http://www.irceline.be/~celinair/french/homefr_java.html

<http://www.nhm.ac.uk/botany/lichen/twig/>

http://europa.eu/legislation_summaries/other/l28098_fr.htm

<http://users.skynet.be/laroseaie/lichens/accueil.htm>

<http://www.afl-lichenologie.fr/>

<http://www.britishlichensociety.org.uk/>