

Séquence: notre air est-il de qualité?



**Projet de diagnostic et
de cartographie de la
pollution de l'air :**

« AI-JE L'AIR MALADE ? »

**Philippe DELFOSSE
Alain DELPORTE
L'équipe pédagogique
du CDPA LA ROSERAIE
7600 PERUWELZ**

Table des matières

1 INTRODUCTION			
Une pédagogie de projet pour une pédagogie de compétence	3		
Présentation du projet	3		
2 STRUCTURE DE LA SÉQUENCE			
Phase 1 : expression	4		
Phase 2 : implication dans le projet	4		
Phase 3 : présentation de l'outil « les lichens bioindicateurs de la qualité de l'air »	5		
Phase 4 : participation au projet « diagnostic et cartographie de la qualité de l'air »	5		
Phase 5 : engagement	6		
Phase 6 : questionnement	7		
3 LE MONDE DES LICHENS			
Morphologie des thalles	8		
Nature et structure des lichens	9		
Principaux organes portés par les thalles	10		
Le lichen : un mariage réussi	11		
Sensibilité des lichens à la pollution	12		
4 LA BIOINDICATION LICHENIQUE			
Notion de bioindicateur	13		
Historique	13		
Principe	14		
5 NOTRE MÉTHODE DE DIAGNOSTIC			
Vers une méthode accessible à tous	16		
Passage de la méthode VH-L à la notre	17		
Confirmation du diagnostic	18		
6 NOTRE MÉTHODE DE CARTOGRAPHIE			
Code des couleurs et symboles	20		
Notion de station	20		
Notion de maille	21		
7 NOTRE MÉTHODE : ETUDE D'UNE STATION			
Travail sur le terrain		22	
Travail en classe		22	
Exemple de diagnostic		23	
Confirmation du diagnostic		24	
8 NOTRE MÉTHODE : ETUDE D'UNE MAILLE			
Diagnostic du niveau de pollution dans une maille			25
Exemple			25
9 NOTRE MÉTHODE : COMMUNICATION DES RÉSULTATS			26
10 POLLUTION ATMOSPHERIQUE			
Vision globale en Belgique			27
Pour actualiser les données			28
Concept de pollution			28
Pollution détectée par les lichens			28
La pollution par le dioxyde de soufre			28
11 ANALYSE ET CLARIFICATION DES VALEURS			31
12 BIBLIOGRAPHIE			32

1. Introduction



Séquence :
notre air est-il de
qualité ?

Une pédagogie du projet pour une pédagogie des compétences

Il existe dans le milieu scolaire une multitude de types de projets : des projets techniques (installation d'une mini-déchetterie dans l'école), des projets de communication (publication d'un journal, correspondance, ...), des projets artistiques (création d'une pièce de théâtre), ...

John DEWEY (1858 - 1952), considéré comme le « père » de la pédagogie du projet, conçoit l'enseignement comme « une action organisée vers un but déclaré ». Cette pédagogie propose aux élèves des réalisations concrètes qui mobilisent leurs activités en leur donnant l'occasion de s'approprier des savoirs et des savoir-faire.

En Communauté française, le décret Missions (1997) définit le terme compétence comme : « une aptitude à mettre en œuvre un ensemble de savoirs, de savoir-faire et d'attitudes permettant d'accomplir un certain nombre de tâches ».

Comme on le constate pédagogie de projet et pédagogie des compétences contiennent les mêmes ingrédients : appropriation de savoirs et savoir-faire et savoir-être c'est-à-dire la capacité d'agir vers un objectif préalablement défini (projet) ou la capacité de mener à bien une tâche (compétences).

Par une démarche de projet on peut poursuivre les objectifs suivants :

- entraîner la mobilisation de savoirs et de savoir-faire ;
- construire de nouveaux savoirs ;
- provoquer l'apprentissage de nouveaux savoir-faire ;
- stimuler les attitudes de travail en relevant un défi et par la satisfaction du travail accompli (effet mobilisateur du projet);
- développer la coopération, la solidarité, la responsabilité (aspect social du projet) ;
- ...

Présentation du projet

L'objectif du projet est de cartographier la qualité de l'air en Communauté française et de publier les cartes sur un site internet.

Le diagnostic de qualité, basé sur la bioindication lichénique, est réalisé par des élèves encadrés de leurs professeurs. La gestion du site est confiée au CDPA La Roseraie à Péruwelz.

Bien qu'accessible aux élèves du dernier degré de l'enseignement primaire, cette séquence s'adresse principalement aux élèves du premier degré de l'enseignement secondaire.

Dans l'enseignement de la Communauté française, elle entre, par exemple, dans le cadre du programme « Activités scientifiques » des 1^{ère} année A et 2^{ème} année commune et plus particulièrement dans le module : « le nez en l'air ».

2. Structure de la séquence



Séquence :
notre air est-il de
qualité ?

Voici une structure de la séquence. C'est un exemple, une suggestion de structure parmi tant d'autres possibles et peut-être tout aussi valables. Ce qui suit ne doit donc, en aucun cas, être considéré comme la seule solution, à suivre scrupuleusement, pour aborder le thème de la qualité de l'air.

Phase 1 : EXPRESSION

Les conflits cognitifs internes (dans la tête de chacun) sont le moteur même de la connaissance. Ils surgissent lorsqu'on confronte les conceptions de différentes personnes. L'apprenant est alors amené à reconsidérer, en même temps, ses propres représentations et celles des autres pour construire un nouveau savoir.

PIAGET et VYGOTSKY (« pères » du socio-constructivisme).

Au cours d'un atelier d'écriture individuel, les élèves répondent aux questions :

- L'air que vous respirez est-il de bonne qualité ?
- Comment le savoir ?

Ils sont ensuite amenés à présenter leur point de vue et à le discuter.

Cette phase initiale est très importante car elle permet :

- à l'élève d'exprimer sa propre explication au problème proposé, de la comparer à celles des autres et, peut-être, de la remettre en question ;
- à l'enseignant d'estimer le niveau de conception des élèves qu'il faudra améliorer ou corriger, d'organiser sa séquence en profitant de l'une ou l'autre piste proposée par les élèves.

Phase 2 : IMPLICATION DANS LE PROJET

« Les stratégies de motivation sont primordiales, tant au départ qu'en cours de route »

L. SAUVE

Après un rapide contact avec le problème de la qualité de l'air, il faut amener les élèves vers le projet. Cette phase est capitale.

Comment savoir si l'air que je respire est de bonne qualité ?
Et ailleurs comment est l'air ?

La curiosité est éveillée, le moment est propice à la présentation du projet :
cartographier la qualité de l'air en utilisant la bioindication

Phase 3 : PRÉSENTATION DE L'OUTIL « LES LICHENS BIOINDICATEURS DE LA QUALITÉ DE L'AIR »

Les lichens se comportent comme des « organismes sentinelles » capables de réagir à de très faibles taux de polluants, ils se raréfient sous l'effet d'une concentration croissante en SO₂.

Tous les lichens ne sont pas également sensibles à la pollution, certains ne supportent pas la moindre trace de SO₂ tandis que d'autres résistent mieux. Ce sont de véritables bioindicateurs de la qualité de l'air.

Phase 4 : PARTICIPATION AU PROJET « DIAGNOSTIC ET CARTOGRAPHIE DE LA QUALITÉ DE L'AIR »

Tu me dis, j'oublie. Tu m'enseignes, je me souviens. Tu m'impliques, j'apprends.

B. BRANKLIN

La participation au projet se déroule en plusieurs moments.

○ **Préparation**

Avant d'aller sur le terrain, les élèves doivent être capables de :

- reconnaître l'existence de lichens sur les troncs d'arbres
 - ⇒ approche du monde des lichens (exemplaires, herbiers, photos), que les élèves peuvent observer, trier, classer en fonction de leur morphologie.
- utiliser un plan, une carte sur le terrain pour se localiser.
 - ⇒ exercices pratiques autour de l'établissement.

○ **Travail de terrain : enquête**

- Principe de base : un élève « fait » une ou des stations près de chez lui (motivation). Une station est l'endroit où l'élève trouve et récolte des lichens.

○ **Travail de retour en classe : étude d'une station**

- C'est un travail individuel : chaque élève étudie sa ou ses stations.

○ **Travail de synthèse : diagnostic de la qualité de l'air par maille**

- La maille est un carré de 1 km x 1 km, c'est l'unité choisie pour le diagnostic et la présentation des diagnostics sur le site.
- C'est un travail collectif, les résultats de tous les élèves sont regroupés.

○ **Présentation des résultats**

Dans chaque école, on peut présenter l'ensemble des résultats (diagnostics par station) sur une même carte.

Pour ce faire, on peut utiliser des pastilles aux couleurs des indices de qualité de l'air (voir page 13).

Cette carte présente le bilan de la qualité de l'air dans votre région, elle met en évidence des « micro-climats ». Elle peut être la base d'une réflexion sur les polluants, les sources de pollution, etc.

○ **Communication des diagnostics par maille**

La présentation des résultats sur un site Internet est non seulement l'objectif final du projet mais elle constitue une nouvelle source de motivation chez l'élève. En vue d'enrichir le site de vos résultats, il faut nous les communiquer !

Phase 5 : ENGAGEMENT

« Quelle terre laisserons-nous à nos enfants ? »

SAINT-EXUPÉRY

« Avant de tenter de résoudre des problèmes environnementaux à l'échelle planétaire, favorisons les petits gestes qui ont un sens pour nos jeunes et qu'ils peuvent poser dans leur propre milieu »

L. SAUVE

Cette phase peut se résumer par la question : « que puis-je faire pour améliorer la qualité de l'air que nous respirons? »

Il ne s'agit pas de réaliser une compilation de préceptes, ni de dresser une liste d'attitudes à suivre mais bien de clarifier ses valeurs, c'est-à-dire :

- de prendre conscience de ses actes ;
- d'évaluer leur incidence sur l'environnement (au sens global du terme c'est-à-dire en tenant compte de ses composantes naturelles, sociales, économiques,... ;
- d'acquérir de nouveaux comportements (c'est-à-dire choisir ses valeurs et veiller à ce que ses actions soient en accord avec les valeurs choisies).

Éduquer l'élève, c'est, développer chez lui des valeurs et une capacité de réflexion lui permettant de poser des actes responsables maintenant et pour demain.

Phase 6 : QUESTIONNEMENT

« Les élèves s'arrêtent très souvent dans leur construction car ils ne se posent pas (ou plus) de questions »

A. GIORDAN

Tout au long de la réalisation de ce projet, les élèves posent ou sont amenés à se poser des questions. Ces questions sont le point de départ de la construction de nouveaux savoirs.

Panel de questions et savoirs s'y rapportant

□ Questions concernant les lichens

- Qu'est-ce qu'un lichen ?
 - ⇒ L'observation microscopique nous permet de découvrir la dualité de sa composition et sa structure.
- Pourquoi les lichens sont-ils particulièrement sensibles à la pollution atmosphérique ?
 - ⇒ Comparaison lichen / végétal supérieur vis-à-vis des polluants atmosphériques.
- Qu'observe-t-on à la surface du thalle ?
 - ⇒ L'observation à la loupe binoculaire nous permet de découvrir des organes (qui constituent des indices d'identification des lichens).
- Quelle relation existe-t-il entre l'arbre porteur et le lichen ?
 - ⇒ Notion d'épiphyte.
- Comment se nourrit un lichen ?
 - ⇒ Notion de symbiose.

□ Questions concernant la pollution

- Quelles sont les origines du SO_2 ?
 - ⇒ Travail de recherche sur l'origine et les sources de SO_2 .
 - ⇒ Notion de pluies acides
- D'où proviennent les polluants ?
 - ⇒ Recherche des sources de pollution possibles.
- Comment les polluants voyagent-ils ?
 - ⇒ Etude du transport des polluants.

3. Le monde des lichens



Morphologie des thalles

Les lichens sont dépourvus de tiges, de feuilles, de racines et de système vasculaire, l'appareil végétatif du lichen est constitué d'un thalle.

On distingue plusieurs grands types morphologiques :

- les thalles crustacés (voir ci-dessous) ;
- les thalles squamuleux (petites écailles fortement appliquées au substrat) ;
- les thalles foliacés (voir ci-dessous) ;
- les thalles fruticuleux ((voir ci-dessous) ;
- les thalles complexes (formés de deux parties bien distinguées, l'une plus ou moins adhérente au substrat, l'autre dressée) ;
- les thalles gélatineux (aspect variant avec l'humidité, secs ils sont durs et cassant, humides ils sont mous et gélatineux).

Seuls trois types de thalle sont retenus dans la séquence :

- **Les thalles crustacés**

Les thalles crustacés sont entièrement soudés au support. Il est impossible de les soulever du support sans les détériorer.

Le thalle crustacé (de loin le plus répandu) à l'aspect d'une « croûte » parfois fendillée, compartimentée ou lobée au pourtour.

Une variante particulière du thalle crustacé est le thalle lépreux, où la croûte est entièrement formée de petits granules farineux.

- **Les thalles foliacés**

Les thalles foliacés se présentent sous la forme de « feuilles » le plus souvent divisées en lobes.

Ils sont faiblement appliqués au substrat (par des organes particuliers : rhizines, ombilic,...) et sont facilement détachables.

- **Les thalles fruticuleux**

Les thalles fruticuleux sont constitués de « branches » le plus souvent ramifiées formant de petits buissons.

Les thalles sont soit pendants, ce sont les lichens « en barbes » ou dressés, ce sont les lichens « en arbustes ».

On distingue en fonction de la forme des branches :

- les thalles fruticuleux à branches aplaties ;
- les thalles fruticuleux à branches cylindriques.

Remarque :

Les élèves doivent être capables de trier et classer les lichens selon leur morphologie (voir fiche élève). Ce savoir-faire très spécifique est indispensable à la réalisation du projet.

Nature et structure des lichens

Observation microscopique d'une coupe dans un lichen.

Placer le morceau de lichen foliacé imbibé d'eau, entre deux lames légèrement décalées.
Couper avec une lame de rasoir.

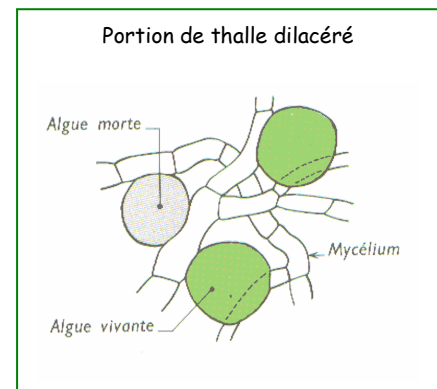
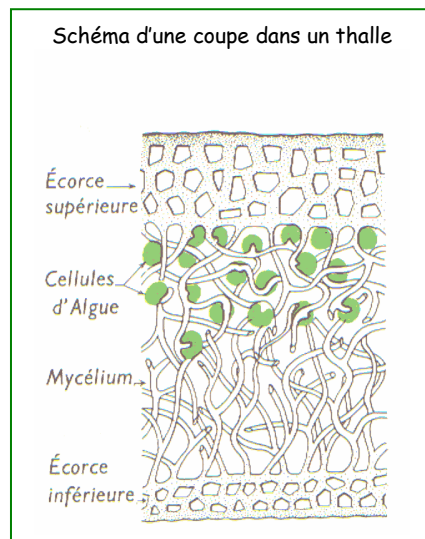


Observer la coupe entre lame et lamelle (le rouge congo ammoniacal rend les hyphes plus visibles).

On distingue le cortex supérieur, la couche algale de la médulle, le cortex inférieure et parfois des rhizines.

Ce qu'il faut retenir...

La véritable nature des lichens est seulement connue depuis 1869, date des travaux de SCHWENDENER. Ce qui apparaissait comme un unique végétal est en fait une communauté vivante constituée d'une algue et d'un champignon.

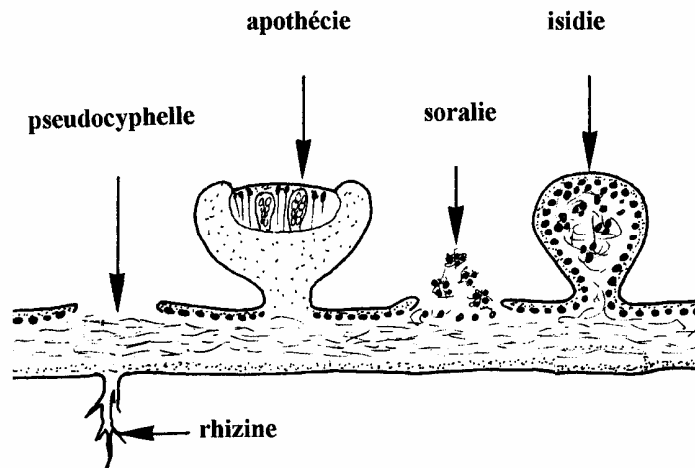


Schémas extraits de « Sciences naturelles 5^e »
Pierre VINCENT chez VUIBERT

Lorsqu'on effectue une coupe dans le thalle foliacé d'un lichen, on remarque sous le microscope :

- des filaments formés de cellules mises en file, ils forment des enchevêtrements assez lâches ou fortement serrés, cela correspond à ce que l'on trouve chez la plupart des champignons, ce sont les hyphes.
Remarque : le partenaire fongique est pratiquement toujours un ascomycète (champignon à mycélium cloisonné dont les spores mûrissent à l'intérieur d'un asque en forme de massue).
- des petits amas de cellules vertes, elles contiennent un noyau et des chloroplastes, ce sont des algues vertes unicellulaires.
Remarque : le partenaire chlorophyllien n'est pas toujours une algue verte mais parfois une algue bleue (cyanobactérie) contenant des pigments assimilateurs vert bleuâtre.

Principaux organes portés par le thalle



J.P. GAVERIAUX Les lichens et la bioindication de la qualité de l'air
CRDP de l'Académie d'Amiens

- **Pseudocyphelle**
La pseudocyphelle est une ouverture, une fente ou une fissure dans l'épiderme supérieur du thalle. Elle joue un rôle dans les échanges gazeux avec l'atmosphère.
- **Rhizine**
La rhizine est constituée d'un faisceau d'hyphes, elle peut être simple ou ramifiée. Elle est un organe de fixation à la face inférieure des thalles foliacés.
- **Apothécie**
L'apothécie a une structure de coupe, de cratère. L'apothécie est la fructification la plus courante, elle produit des spores (uniquement le champignon).
- **Soralie**
La soralie présente l'aspect d'un amas granuleux le plus souvent d'une couleur différente de celle du thalle (absence de cortex). Elle est constituée de petites « boules » (sorédies), véritables lichens miniatures. Très légères, les sorédies sont facilement transportées par le vent, la pluie ou les insectes et permettent une dissémination lointaine de l'espèce.
- **Isidie**
L'isidie est une excroissance dressée, simple ou ramifiée de même couleur que le thalle (car recouverte de cortex). Plus lourdes que les soralies, les isidies ne peuvent pas être transportées au loin par le vent. Ce sont de petites boutures qui assurent la colonisation du substrat.
- **Cil**
Le cil est une excroissance filiforme souvent d'une coloration différente du thalle. Les cils protègent le thalle des radiations, ils limitent l'évapotranspiration, et retiennent l'humidité (rosée et eau de pluie) mais n'ont aucune fonction de nutrition.

Remarque :

L'identification de ces organes est la base de la détermination des lichens.

Le lichen : un mariage réussi

Les partenaires :

Le champignon

- constitué de fins filaments enchevêtrés, pas de racines, pas de tiges, pas de feuilles ;
- dépourvu de chlorophylle : incapable d'utiliser l'énergie solaire ;
- reproduction sexuée par spores.

L'algue

- constituée de petites cellules sphériques isolées ou en colonies ;
- pourvue de chloroplastes contenant de la chlorophylle, elle peut utiliser l'énergie solaire pour élaborer des constituants organiques à partir du CO₂ de l'air, de l'eau et de sels minéraux ;
- multiplication par division végétative.

Leurs relations

A l'intérieur du lichen, les hyphes sont en contact étroit avec les algues qu'elles entourent ou pénètrent même avec des prolongements spéciaux (haustoria). Cette structure facilite les échanges intimes entre les deux êtres vivants et chaque partenaire profite de cette « relation mutualiste » ou symbiose.

Dans ce couple :

- l'algue fabrique par photosynthèse des matières organiques indispensables qu'elle transfère partiellement vers le champignon ;
- le champignon remplit de multiples missions :
 - il fixe le lichen sur le support ;
 - il retient - pour lui et pour l'algue - l'eau et des matières dissoutes ;
 - il protège l'algue contre la sécheresse mais aussi contre la lumière trop vive.

L'association lichénique

L'association lichénique apporte des propriétés qu'on ne trouve pas chez l'un ou l'autre des partenaires :

- la reviviscence : la capacité de passer rapidement, réversiblement et répétitivement de l'état sec à hydraté ;
- la résistance aux températures extrêmes, l'assimilation est encore active à -40°C ;
- l'originalité des voies métaboliques avec élaboration de substances spécifiques appelées acides lichéniques.

Sans racines ni stomates, ces organismes ont un pouvoir absorbant particulier. Ils se comportent en véritables « éponges », capables d'absorber des composés dissous et entraînés par les eaux de ruissellement pour leur approvisionnement en éléments minéraux indispensables. Cela explique pourquoi ils peuvent accumuler des quantités extrêmes de substances (notamment de polluants).

Ainsi armés, les lichens rencontrent un tel succès qu'ils vont conquérir à peu près tous les milieux, un peu partout dans le monde.

Sensibilité des lichens à la pollution

Le SO_2 , composant majeur de la pollution urbaine et industrielle, est particulièrement actif vis-à-vis des lichens. Il se dissout facilement dans l'eau atmosphérique, pénètre dans les thalles et agit sur le lichen en modifiant :

- sa morphologie (couleur, forme, nécrose des extrémités) ;
- sa physiologie (réduction de l'activité photosynthétique, destruction de la chlorophylle, limitation de la reproduction,...).

Comparaison lichen / végétal supérieur

Lichen	Végétal supérieur
- l'eau et les minéraux proviennent exclusivement de l'air et de l'eau de pluie	- l'eau et les sels minéraux sont puisés dans le sol
- absence de système de régulation des entrées et des sorties	- les feuilles sont recouvertes d'une cuticule protectrice et imperméable, les stomates sont capables de se fermer à certains polluants
- actif toute l'année après la pluie	- pas d'activité hivernale
- croissance lente	- croissance rapide

Pourquoi une hypersensibilité des lichens ?

Plusieurs raisons cohabitent, en voici le détail.

- Les lichens sont dépourvus de système de contrôle des entrées et des sorties, ils n'ont pas de stomates pour contrôler les échanges avec l'atmosphère. Ils fonctionnent «en éponge», ils absorbent tous les constituants de l'air polluants compris.
- Les lichens sont, pour leur nutrition, entièrement dépendants de l'atmosphère qui leur apporte l'eau et les sels minéraux. A la suite d'une pluie, le champignon stocke l'eau dans ses hyphes et permet le fonctionnement des deux partenaires pendant un certain temps. Le lichen peut alors développer son thalle. En période de sécheresse, le lichen devient inactif, mais capable de survivre jusqu'à la prochaine pluie où il redeviendra actif (phénomène de reviviscence).
- Les lichens subsistent en hiver lorsque les pollutions atmosphériques sont les plus aiguës du fait du peu de mouvement de l'air et du fonctionnement intense des appareils de chauffage.
- Enfin, les lichens poussent très lentement et vivent très longtemps (plusieurs centaines d'années !!!) : la quantité de produits toxiques accumulés par rapport à leur propre masse est très grande.

Pour une information plus complète sur les lichens en général, nous vous conseillons de consulter :

- C. VAN HALUWYN et M. LEROND - *Guide des lichens* - ÉDITIONS LECHEVALIER - 1993
- JP. GAVERIAUX - *Les lichens et la bioindication de la qualité de l'air* - CRDP DE L'ACADÉMIE D'AMIENS - 1996
- KIRSCHBAUM et WIRTH - *Les lichens bioindicateurs* - ULMER - 1997
- P. TIEVANT - *Guide des lichens* - Les guides du naturaliste chez DELACHAUX et NIESTLE

4. La bioindication lichénique



Séquence :
notre air est-il de
qualité ?

Notion de bioindicateur

Les bioindicateurs sont des organismes capables de traduire de façon évidente des modifications de leur milieu de vie. Ce sont de véritables « sentinelles » capables de réagir à de très faibles taux de contamination.

Actuellement certains bioindicateurs sont couramment utilisés : les invertébrés comme indicateurs de la qualité des eaux de rivière, les lichens comme indicateurs de la qualité de l'air.

Historique

- ❑ Vers 1750, Erasmus DARWIN constatait la disparition des « lichens en lanière de cuir » (parlait-il de *Lobaria pulmonaria* ?) autour des usines de traitement du minerai de cuivre.
- ❑ En 1866, le botaniste finlandais NYLANDER déclarait : « la plupart des lichens semblent fuir les villes, et ceux qu'on y rencontre n'y arrive souvent qu'à un développement incomplet ».
- ❑ 1970, HAWKSWORK et ROSE élaborent en Grande-Bretagne une technique d'évaluation du degré de pureté de l'air en fonction des lichens corticoles présents sur les troncs des stations ouvertes (c'est-à-dire à l'exclusion des forêts et des grands parcs).
A partir de la répartition de 80 lichens épiphytes, ils définissent 11 zones de qualité différente, numérotées de 0 à 10 (selon un gradient croissant de pureté). Cette méthode fut la plus utilisée jusqu'aux années 80.
- ❑ 1986, VAN HALUWYN et LEROND propose, pour la Normandie et le Nord de la France, une nouvelle technique : l'évaluation de la pollution de l'air par l'étude des associations de lichens.
Cette technique sélectionne un petit nombre d'espèces (42) caractéristiques d'une région donnée à une époque donnée et permet de mettre au point une échelle comprenant 7 zones de pollution notées de A à G (selon un gradient décroissant de pollution).
L'échelle d'estimation a été remise à jour en 1997.
Parallèlement à cette méthode scientifique, C. VAN HALUWYN a mis au point une méthode destinée au jeune public des écoles : la méthode FOMOFa (FOrte, MOyenne et FAible) d'estimation du degré de pollution de l'air.
- ❑ En Allemagne, la Directive VDI (1995) propose de calculer un indice de qualité de l'air par addition des fréquences moyennes des différentes espèces observées.

Principe

L'évaluation du degré de pollution de l'air se base sur l'étude des lichens épiphytes présents sur des arbres dans des stations ouvertes.

Ils sont étudiés à une hauteur approximative de 1,5 m pour éviter l'influence de pulvérisations ou le développement de microclimats.

Tous les lichens ne sont pas égaux devant la pollution

Si tous les lichens sont sensibles à la pollution, ils n'y réagissent pas tous de la même façon. Certaines espèces sont particulièrement tolérantes et résistent mieux que d'autres aux agressions polluantes.

Voici pour exemple un tableau des sensibilités de divers au SO₂ (mesures faites en laboratoire).

Seuil de sensibilité au SO ₂ Moyenne journalière hivernale en µg /m ³	Dénomination des lichens
30	Ramalina fraxinea Usnea articulata Usnea florida
35	Parmelia perlata Ramalina fastigiata
40	Lobaria pulmonaria Physcia aipolia Physconia pulverulacea Usnea rubiconda Usnea subtioridana
50	Anaptychia ciliaris Parmelia pastillifera Pseudevernia furfuracea
55	Parmelia caperata Parmelia glabratula
60	Lecanora chlorotera Parmelia acetabulum Ramalina farinacea Xanthoria farinacea
70	Evernia prunastri Physcia adscendens
80	Lecidella elaeochroma Parmelia sulcata
90	Hypogymnia physodes
100	Buellia punctata Lecanora dispersa Lepraria incana
125	Lecanora expallens
150	Lecanora conizaeoides

En première approche, on peut dire que :

- les espèces les plus résistantes à la pollution sont des lichens crustacés (en rouge dans le tableau) ;
- les lichens fruticuleux (en bleu dans le tableau) sont, en général, fort sensibles à la pollution, leur présence indique que l'air n'est pas trop pollué ;
- les nombreuses espèces de lichens foliacés (en vert dans le tableau) présentent des sensibilités différentes à la pollution, certaines résistent à une pollution forte, d'autres ne supportent pas la moindre trace de pollution.

Les lichens sont donc de bons bioindicateurs

Cette infériorité des lichens par rapport aux autres végétaux ainsi que la différence de résistance entre les diverses espèces permet de les utiliser comme bioindicateurs de la pollution de l'air.

Le passage d'un milieu sain à un milieu pollué s'accompagne de la diminution du nombre d'espèces (appauvrissement de la flore) et de la disparition des espèces les moins tolérantes. Le contraire se produit également.

En bioindication, ce sont les lichens les plus sensibles à la pollution qui indiquent le niveau de pollution de l'endroit où ils sont trouvés. En effet si des lichens sensibles à la pollution sont présents c'est que celle-ci n'est pas forte car la moindre pollution les aurait fait disparaître.

Pour une information plus complète, nous vous conseillons de consulter :

- C. VAN HALUWYN et M. LEROND - *Guide des lichens* - ÉDITIONS LECHEVALIER - 1993
- JP. GAVERIAUX - *Les lichens et la bioindication de la qualité de l'air* - CRDP DE L'ACADÉMIE D'AMIENS - 1996
- KIRSCHBAUM et WIRTH - *Les lichens bioindicateurs* - ULMER - 1997
- Le site: <http://www2.ac-lille.fr/lichen>
- Le site : <http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/biologie/ress/environnement/lichen.html>

5. Notre méthode de diagnostic de la pollution de l'air



Séquence :
notre air est-il de
qualité ?

La technique que nous vous proposons a pour base les travaux de C. VAN HALUWYN, et de M. LEROND. Leur technique porte sur la recherche de groupements de lichens épiphytes bioindicateurs. Pour établir l'échelle de correspondance entre lichens et pollution, les techniques de la phytosociologie ont été utilisées : une communauté de lichens apporte plus de renseignements qu'un seul individu pris isolément.

Deux raisons ont guidé notre choix : la simplicité (utilisation d'un petit nombre d'espèces) et la proximité (mise au point dans la moitié Nord de la France).

Notre pratique et celle des participants nous ont amené à simplifier la méthode pour rendre la rendre plus « praticable » par les élèves et plus « abordable » aux yeux des enseignants.

Vers une méthode accessible à tous

La réticence à participer à un projet d'utilisation de la bioindication lichénique reposait sur des obstacles majeurs :

- la méconnaissance du monde des lichens et en particulier de leur détermination ;
- la lourdeur apparente de la cartographie avec l'inévitable problème en milieu scolaire : aller sur le terrain avec les élèves.

C'est pourquoi, ces dernières années, notre travail a été dirigé vers la simplification.

L'expérience nous a montré que le tri et le classement des lichens en fonction de leur morphologie ne présentaient aucune difficulté pour les élèves. Il en allait de même pour la détermination des lichens fruticuleux. Comme, d'autre part, il nous est apparu qu'il était possible d'établir un diagnostic plus ou moins valable en n'utilisant que :

- les grands types de lichens (crustacés, foliacés et fruticuleux) ;
- le simple dénombrement des espèces foliacées ;
- la détermination simplifiée des lichens fruticuleux.

Au niveau de la cartographie, le principe « un élève, une station près de chez lui » s'est avéré motivant pour l'élève et plus facilement gérable par l'enseignant responsable.

Notre méthode simplifiée prenait forme !!!

Passage de la méthode VAN HALUWYN-LEROND à notre méthode simplifiée

VAN HALUWYN - LEROND		NOTRE METHODE
Zone A et B - 2 espèces de lichens exclusivement crustacés	➔	Zone TF - Crustacés
Zone C et D - Apparition de foliacés, 2 espèces à petites feuilles parmi quelques nouveaux crustacés (+5)	➔	Zone Fo - Foliacés (< 3 espèces)
Zone E - Apparition de quelques autres foliacés (6) et d'un fruticuleux	➔	Zone Mo - Foliacés (> 3 espèces) - <i>Evernia prunastri</i> ou <i>Pseudevernia furfuracea</i>
Zone F - La richesse en lichens devient significative : foliacés (+ 12), fruticuleux (+ 2)	➔	Zone Fa - Foliacés (> 5 espèces) - Les <i>Ramalina</i>
Zone G - Les troncs sont fortement recouverts de nombreuses espèces de foliacés (+ 6) et de fruticuleux (+ 1)	➔	Zone QN - Les <i>Usnea</i> (fruticuleux à branches rondes) <i>Non repris chez VAN HALUWYN - LEROND</i>

Notre méthode simplifiée était née, nous pouvons vous la présenter.

Type de lichen	Indication du niveau de pollution	Code de couleur pour la cartographie
Pas de lichen ou lichens en « croûte »	Très forte (TF)	Noir
1 ou 2 espèces de lichens en « feuilles »	Forte (Fo)	Rouge
3 ou 4 espèces de foliacés + <i>Evernia prunastri</i> ¹	Moyenne (Mo)	Jaune
5 à 7 espèces de foliacés + genre <i>Ramalina</i>	Faible (Fa)	Vert
+ de 8 espèces de foliacés + genre <i>Usnea</i>	Quasi nulle (QN)	Bleu

¹: ou *Pseudevernia furfuracea*

Confirmation du diagnostic établi par notre méthode simplifiée

La méthode que nous vous proposons ne constitue qu'une première approche, il y a toujours moyen de faire mieux, de vérifier la validité du diagnostic.

Nous proposons alors d'utiliser la méthode proposée par VAN HALUWYN et LEROND.

Légende du tableau ci-dessous : vert = algue ; rouge = les lichens crustacés ; bleu = les lichens fruticuleux ; noir = les lichens foliacés.

VAN HALUWYN-LEROND		Lichens recensés	NOTRE MÉTHODE
ZONE	POLLUTION		
A	Extrême	<i>Pleurococcus viridis</i> (algue)	Très forte
B	Très forte	<i>Buellia punctata</i> <i>Lecanora conizaeoides</i>	
C	Forte	<i>Lecanora expallens</i> <i>Lepraria incana</i>	Forte
D	Assez forte	<i>Diploicia canescens</i> <i>Lecidella elaeochroma</i> <i>Phaeophyscia orbicularis</i> <i>Physcia tenella</i> <i>Xanthoria polycarpa</i>	
E	Moyenne	<i>Candelariella xanthostigma</i> <i>Evernia prunastri</i> <i>Hypogymnia physodes</i> <i>Parmelia sulcata</i> <i>Physcia adscendens</i> * <i>Physconia grisea</i> <i>Pseudevernia furfuracea</i> <i>Xanthoria parietina</i>	Moyenne
F	Faible	<i>Parmelia acetabulum</i> <i>Parmelia caperata</i> <i>Parmelia glabratula</i> <i>Parmelia pastillifera</i> <i>Parmelia soredians</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>Ramalina farinacea</i> <i>Ramalina fastigiata</i> <i>Xanthoria candelaria</i>	Faible
G	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>	Quasi nulle

Pour la détermination des lichens récoltés nous vous proposons trois outils :

- Notre clé de détermination des lichens fruticuleux (voir dossier détermination)
- Notre clé informatique de détermination des lichens foliacés (voir dossier détermination) à utiliser avec l'ouvrage « les lichens bioindicateurs » de KIRSCHBAUM et WIRTH -- ULMER - 1997 (pour les photos)
- La clé de détermination sur le site de l'académie de Lyon :
http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/biologie/ress/environnement/deter_lichen.html

6. Notre méthode de cartographie



Séquence :
notre air est-il de
qualité ?

Code des couleurs et symboles

Niveau de pollution	Symbole	Code de couleur
Très forte	T F	Noir
Forte	Fo	Rouge
Moyenne	Mo	Jaune
Faible	Fa	Vert
Quasi nulle	Q N	Bleu

Notion de station

Une station est un biotope homogène où se trouvent un ou plusieurs arbres porteurs de lichens.

Principe

Chaque élève étudie une station (ou plusieurs) à proximité de son domicile (motivation).

Choix d'une « bonne » station

On évitera les situations particulières qui risquent de ne pas refléter l'ambiance générale de pollution. Forêts ou grands parcs en sont de bons exemples, ils jouissent souvent d'un microclimat particulier.

Il convient donc de donner la préférence aux stations ouvertes :

- arbres isolés ;
- arbres alignés ;
- arbres de jardins, de petits parcs ou de vergers ;
- lisières de bois et de bosquets bien exposés aux vents ;
- ...

Choix des arbres porteurs

Tous les arbres ne font pas l'affaire, c'est bien dommage !

- Seuls les arbres dont le diamètre est supérieur à 20 cm peuvent être pris en considération. Il faut laisser aux lichens le temps de se développer, ils le font très lentement.
- Toutes les espèces ne se valent pas non plus, il faut tenir compte des qualités de l'écorce (son acidité naturelle, sa structure plus ou moins crevassée, ...).

Les meilleurs porteurs, ceux qu'il faut rechercher en premier lieu, sont le frêne, le peuplier et le tilleul. Le chêne, l'érable sycomore ou les arbres fruitiers (pommier, noyer, cerisier) sont également de bons porteurs.

Si les saules, les bouleaux ou les platanes ne portent que très rarement des lichens, c'est à cause de leur écorce (acide ou détachable) et non parce que l'air est pollué.

En pratique : parmi les arbres d'une station, on choisit celui qui est le plus riche en lichens.

Les cartes pour l'étude d'une station

Toutes les cartes et plans font, en principe, l'affaire. Comme ce document doit être utilisé sur le terrain par l'élève, pensons à ce qu'il soit « pratique ».

Quelques suggestions :

- Cartes IGN 1/10000.
- Plan de l'entité (avec le nom des rues).
- Plan extrait d'un logiciel (DE ROECK, par exemple).

Notion de maille

La maille est un carré d'un kilomètre de côté, c'est l'unité choisie pour le diagnostic et la cartographie des résultats des différents diagnostics sur le site.

Pour pouvoir réaliser un diagnostic d'une maille, il faut disposer du résultat de 5 stations contenues dans cette maille.

La carte générale pour le diagnostic par maille

Cette carte est essentielle, elle sert à la présentation des résultats sur le site, elle doit être commune à tous.

Nous utilisons à cet effet le logiciel IGN Belgique

« LES CARTES D'ÉTAT MAJOR DE BELGIQUE SUR CD-ROM »

Comment obtenir la « bonne » carte ?

- BARRE DESSOUS → ECHELLE → 1/40 000
- BARRE DESSUS → AFFICHAGE → CARTE → BARRE DES TÂCHES
- BARRE DES TÂCHES : cliquer
 - TOP 50 R
 - CARROYAGE
 - GPS
- BARRE DESSUS → FICHER → PREFERENCES → OPTIONS → CARROYAGE → FIXER LE PAS À → 1000 m

Cette carte de votre région peut être obtenue en achetant le logiciel IGN Belgique « LES CARTES D'ÉTAT MAJOR DE BELGIQUE SUR CD-ROM ».

Site de référence : « <http://www.lanno.com/cd-rom> »

7. Notre méthode : étude d'une station



Séquence :
notre air est-il de
qualité ?

C'est un travail individuel, chaque élève « fait » sa ou ses stations. C'est la phase durant laquelle la responsabilisation de l'élève est extrême.
Il se déroule en deux phases, l'une sur le terrain, l'autre en classe.

Le travail de terrain (enquête)

Rappelons le principe : chaque élève étudie une station près de chez lui.

- Rechercher une station (arbres porteurs de lichens dans un endroit bien ventilé).
- Localiser la station sur la carte de terrain (carte ou plan de la zone à investiguer).
- Décrire la station (prendre des notes)
Exemples : arbres alignés le long d'une route fortement fréquentée, arbre isolé au milieu d'un jardin, arbre au bord d'un étang au milieu d'un petit parc urbain, ...
- Choisir l'arbre meilleur porteur de lichen (quantité et variété de lichens, diamètre du tronc supérieur à 20 cm).
- Déterminer le diamètre de l'arbre porteur.
- Prélever un exemplaire de chaque espèce de lichen.
- Couper un bout de rameau de l'arbre porteur (facultatif).

Le travail en classe

Utiliser la fiche - élève : « estimation de la pollution atmosphérique : étude d'une station ».

- Localiser la station dans l'espace et dans le temps. Compléter la fiche.
- Situer la station sur la carte générale (important !!!).
- Décrire la station. Compléter la fiche.
- Déterminer l'espèce de l'arbre porteur. Ce point est facultatif !!!
- Trier et classer les lichens récoltés selon leur morphologie (voir fiche élève).
- Inventorier les lichens récoltés. Compléter la fiche.
- Estimer la qualité de l'air de la station (voir directive sur la fiche).

Exemple de diagnostic par station par notre méthode simplifiée

Liste des lichens réellement récoltés pour traiter l'exemple :

Buellia punctata (C), Candelariella xanthostigma (C), Evernia prunastri, Hypogymnia physodes (F), 3 sortes de Lecanora (C), Parmelia acetabulum (F), Parmelia glabrata (F), Parmelia sulcata (F), Physcia adscendens (F), Physcia tenella (F), Ramalina farinacea, Xanthoria candelaria (F)

Inventaire des lichens récoltés

TYPES DE LICHENS	Lichens récoltés
Lichens en « croûte » ¹	5
Lichens en « feuille » ¹	7
<i>Evernia prunastri</i> ²	x
Lichen du genre <i>Ramalina</i> ¹	1
Lichen du genre <i>Usnea</i> ¹	

¹ : dénombrer les différentes espèces de ce type.

² : ou *Pseudevernia furfuracea* dans certaines régions

Estimation du niveau de pollution atmosphérique de la station

Principe de la bioindication : le niveau de pollution est donné par l'association qui indique le plus faible niveau de pollution, puisque les lichens les plus sensibles à la pollution peuvent survivre c'est que ...

Nombre d'espèces de foliacés		0	1 2	3 4	5 6 7	8 et +
Autres lichens	Absents ou crustacés	TF	Fo			
	<i>Evernia prunastri</i>			Mo		
	<i>Ramalina</i>				Fa	
	<i>Usnea</i>					QN

Estimation du niveau de pollution de l'air de la STATION :

Fa

Remarque : il est possible que la récolte n'entraîne pas une estimation aussi évidente.

Imaginons, dans notre exemple, une récolte sans *Ramalina* : on procéderait alors comme ci-contre...
Le diagnostic : Mo.

Nombre d'espèces de foliacés		0	1 2	3 4	5 6 7	8 et +
Autres lichens	Absents ou crustacés	TF	Fo			
	<i>Evernia prunastri</i>			Mo		
	<i>Ramalina</i>				Fa	
	<i>Usnea</i>					QN

Confirmation de ce diagnostic

	LICHENS RÉCOLTÉS	DEGRÉ DE POLLUTION
<p>Associations présentes</p> <p>Association la plus sensible indicatrice du niveau de pollution</p>	<i>Pleurococcus viridis</i> (algue) <i>Buellia punctata</i> <i>Lecanora conizaeoides</i>	Très forte
	<i>Lecanora expallens</i> <i>Lepraria incana</i> <i>Diploicia canescens</i> <i>Lecidella elaeochroma</i> <i>Phaeophyscia orbicularis</i> <i>Physcia tenella</i> <i>Xanthoria polycarpa</i>	Forte
	<i>Candelariella xanthostigma</i> <i>Evernia prunastri</i> <i>Hypogymnia physodes</i> <i>Parmelia sulcata</i> <i>Physcia adscendens</i> <i>Physconia grisea</i> <i>Pseudevernia furfuracea</i> <i>Xanthoria parietina</i>	Moyenne
	<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>Ramalina farinacea</i> <i>Ramalina fastigiata</i> <i>Xanthoria candelaria</i>	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>	Quasi nulle

8. Notre méthode : étude d'une maille



Séquence :
notre air est-il de
qualité ?

La maille est un carré d'un kilomètre de côté, c'est l'unité choisie pour le diagnostic et la cartographie des résultats des différents diagnostics sur le site.

Le diagnostic de la qualité de l'air dans une maille

C'est un travail collectif, les résultats de tous les élèves sont regroupés.

Pour réaliser un diagnostic dans une maille, il faut :

- Localiser toutes les stations étudiées sur la carte générale.
- Sélectionner les mailles à diagnostiquer, elles doivent contenir au moins 5 stations !!!
- Pour chaque maille sélectionnée, remplir la fiche « diagnostic de la qualité de l'air dans une maille »
 - Date du relevé.
 - Maille (renseignements à lire sur la carte générale).
 - Stations (renseignements figurant sur les fiches « Etude d'une station » des stations sélectionnées).
 - Niveaux de pollution dans la maille.
 - Estimer la qualité de l'air dans la maille (voir directives dans l'exemple ci-dessous).

Exemple de diagnostic par maille

Inventaire des lichens récoltés dans la maille

Niveau de pollution	Stations étudiées dans la maille							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Très forte								
Forte	X				X			
Moyenne		X	X	X		X		
Faible								
Quasi nulle								

Niveau de pollution le plus faible trouvé dans au moins 3 stations

Estimation du niveau de pollution atmosphérique de la maille

Le niveau de pollution de l'air dans la maille est le niveau de pollution le plus faible trouvé dans au moins 3 stations.

Estimation du niveau de pollution de l'air de la MAILLE :

Mo

9. Notre méthode : communication des résultats



Séquence :
notre air est-il de
qualité ?

Pour présenter vos résultats sur le site nous avons besoin :

- des coordonnées GPS de la maille ou d'une copie de la carte de synthèse ;
- de la liste des lichens trouvés dans chaque station (une fiche : « étude d'une station » par station étudiée dans la maille) ;
- de la liste des participants (école, classe, professeur responsable, nom et prénom des élèves).

Adresses utiles :

CDPA LA ROSERAIE
Opération « LICHENS »
Boulevard Léopold III, 58
7600 PERUWELZ

10. La pollution atmosphérique



Séquence :
notre air est-il de
qualité ?

Vision globale en Belgique

Polluants	Origine en Belgique	• Effets sur la santé de l'homme	• Effets sur l'environnement
Oxydes d'azote (NO _x)	<ul style="list-style-type: none"> Véhicules motorisés (70%) Chauffages domestiques et industriels (30%) 	<ul style="list-style-type: none"> Sous l'action du soleil, leurs réactions avec les hydrocarbures produisent de l'ozone Se transforment en acides (HNO₂ et HNO₃) et en « pluies acides » Affections respiratoires 	<ul style="list-style-type: none"> Action directe sur les végétaux (aiguilles et feuilles)
Dioxyde de soufre (SO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> Combustion du mazout et du charbon (85%) Véhicules motorisés (15%) 	<ul style="list-style-type: none"> Se transforment en acides (H₂SO₃ et H₂SO₄) et en « pluies acides » Affections respiratoires 	<ul style="list-style-type: none"> Perturbe l'équilibre du sol et des eaux Action indirecte sur les végétaux (aiguilles et feuilles) Dégradation des immeubles et des monuments
Oxydes de carbone (CO et CO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> Véhicules motorisés Chauffages 	<ul style="list-style-type: none"> Asphyxie Troubles neurologiques (CO) 	<ul style="list-style-type: none"> Responsable à 50% de l'effet de serre (CO₂)
Hydrocarbures (C _n H _m)	<ul style="list-style-type: none"> Véhicules motorisés (60%) Evaporation des solvants et de l'essence 	<ul style="list-style-type: none"> Sous l'action du soleil, leurs réactions avec les oxydes d'azote produisent de l'ozone Troubles nerveux et sanguins à forte dose Pour certains, effet cancérigène 	
Plomb (Pb)	<ul style="list-style-type: none"> Véhicules motorisés à essence avec Pb (85%) Industries (15%) 	<ul style="list-style-type: none"> Bio-accumulable Troubles du développement chez les jeunes enfants 	<ul style="list-style-type: none"> Concentration dans les plantes et contamination des chaînes alimentaires
Autres métaux lourds	<ul style="list-style-type: none"> Industries métallurgiques Incinération de certains déchets (piles, colorant, thermomètres, ...) 	<ul style="list-style-type: none"> Bio-accumulable Perturbent le fonctionnement des reins et du foie Pour certains, effet cancérigène 	<ul style="list-style-type: none"> Toxiques pour la faune et la flore
Ozone atmosphérique (O ₃)	<ul style="list-style-type: none"> Réactions entre NO_x et C_nH_m sous l'action du soleil 	<ul style="list-style-type: none"> Affections respiratoires et oculaires 	<ul style="list-style-type: none"> Action directe sur les végétaux (aiguilles et feuilles) Action sur la croissance des végétaux Participe à de l'effet de serre
Méthane (CH ₄)	<ul style="list-style-type: none"> Décomposition bactérienne Elevage Exploitation du charbon et du gaz naturel 		<ul style="list-style-type: none"> Responsable à 15% de l'effet de serre
Chlorofluorocarbones (CFC)	<ul style="list-style-type: none"> Mousses (61%) Bombes aérosols (27%) Réfrigérateurs et climatiseurs (8%) Extincteurs (4%) 	<ul style="list-style-type: none"> Indirectement, en détruisant l'ozone stratosphérique, ils laissent arriver au sol une forte quantité d'ultraviolets Cancers de la peau Troubles oculaires 	<ul style="list-style-type: none"> Destruction du plancton Perturbation de la croissance des plantes Participent à l'effet de serre
Hémioxyde d'azote (N ₂ O)	<ul style="list-style-type: none"> Agriculture intensive par utilisation d'engrais azotés 	<ul style="list-style-type: none"> Surexcitation du système nerveux central (gaz hilarant) 	<ul style="list-style-type: none"> Destruction de la couche d'ozone Participe à l'effet de serre
Ammoniac (NH ₃)	<ul style="list-style-type: none"> Lisier provenant des élevages intensifs 	<ul style="list-style-type: none"> Irritation des muqueuses Nuisances olfactives 	<ul style="list-style-type: none"> Acidification des pluies par transformation en NO₂

D'après PANDA n°55 « Quand la Terre a le mal de l'air » Déc. 93

Pour actualiser les données

- <http://www.ffme.fr/technique/meteorologie/theorie/atmosphere/composition.htm>
- <http://www.environnement.gouv.fr/actua/cominfos/dosdir/DIRPPR/air/polluorigines.htm>
- http://www.irceline.be/~celinair/french/homefr_java.html

Concept de pollution

Si le vocable pollution désigne sans aucune ambiguïté les effets de l'ensemble des composés toxiques que l'homme libère dans la biosphère, en revanche, son emploi paraît moins évident lorsqu'il se rapporte à des substances peu dangereuses ou inoffensives pour les êtres vivants mais exerçant une influence perturbatrice sur l'environnement du seul fait de leur concentration (le CO_2 par exemple).

Pollution détectée par les lichens

Les lichens sont sensibles à la pollution atmosphérique et plus particulièrement à de faibles concentrations de SO_2 .

Les lichens ne présentent pas la même sensibilité vis-à-vis des autres polluants :

- l'ozone semble peu nocif pour les thalles (forte concentration en été lorsque les lichens sont peu actifs ?) ;
- les thalles semblent accumuler les métaux lourds (plomb), le fluor et les radioéléments ;
- l'effet de la dioxine n'est pas traité dans la littérature actuelle (?).

La pollution par le dioxyde de soufre

Le SO_2 est le polluant le plus commun, il est d'ailleurs souvent choisi comme indicateur de l'ensemble de la pollution atmosphérique. Il est responsable de nécroses aux feuilles des arbres, de la corrosion des édifices en pierre calcaire et des aggravations des maladies respiratoires chez l'homme. Les végétaux les plus sensibles au SO_2 sont les mousses et les lichens.

Sources de SO_2

	en Europe	dans le Monde
origine naturelle	10%	40%
origine « humaine »	90%	60%

• Origine naturelle

Les sources naturelles du dioxyde de soufre sont le volcanisme et les décompositions bactériennes de matières organiques en milieu anaérobie.

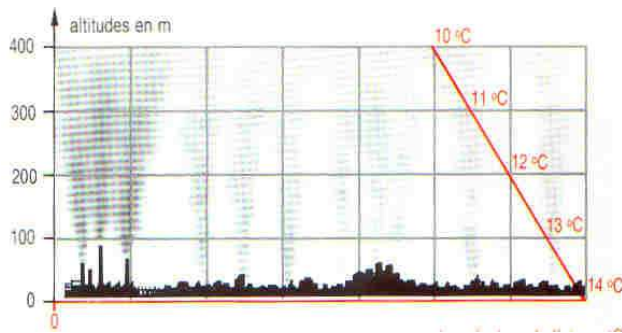
• Origine anthropique

On peut répartir les sources « humaines » du dioxyde de soufre en :

- 28.7 % provenant des transformations d'énergie (production d'électricité, chauffage urbain,..)
- 19.7 % provenant des combustibles utilisés pour le chauffage des secteurs résidentiel et tertiaire
- 43.0 % provenant des combustions industrielles
- 3.7 % provenant des procédés de production industriels
- 4.4 % provenant des moyens de transport.

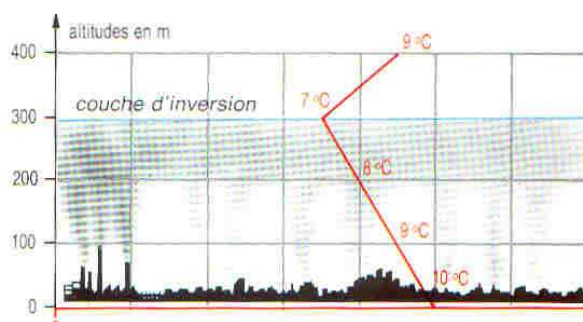
Transport du SO₂ dans l'atmosphère

- Le phénomène de convection



La montée de l'air chaud et la descente de l'air froid participent activement à la diffusion verticale des polluants. Dans des conditions normales, les gaz chauds émis par les cheminées domestiques ou industrielles montent d'autant plus haut qu'ils rencontrent au cours de cette ascension des masses d'air plus froides, ils entraînent avec eux les différents polluants qu'ils transportent.

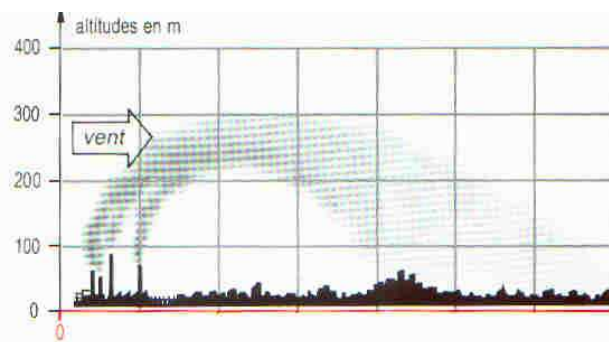
- L'inversion thermique



Dans certaines conditions, en particulier après une journée chaude, la température, à quelques centaines de mètres d'altitude, est supérieure à celle du sol. Les gaz pollués sont alors freinés dans leur ascension et en quelque sorte bloqués sous la couche d'air plus chaud appelée « couche d'inversion » et jouant le rôle d'un couvercle.

Les polluants s'accumulent, « piégés » dans les couches inférieures et les teneurs au sol augmentent de manière importante. La pollution est généralisée à l'ensemble des zones urbaines et industrielles. Seul un vent fort pourrait chasser ces gaz chauds et pollués.

- Les vents



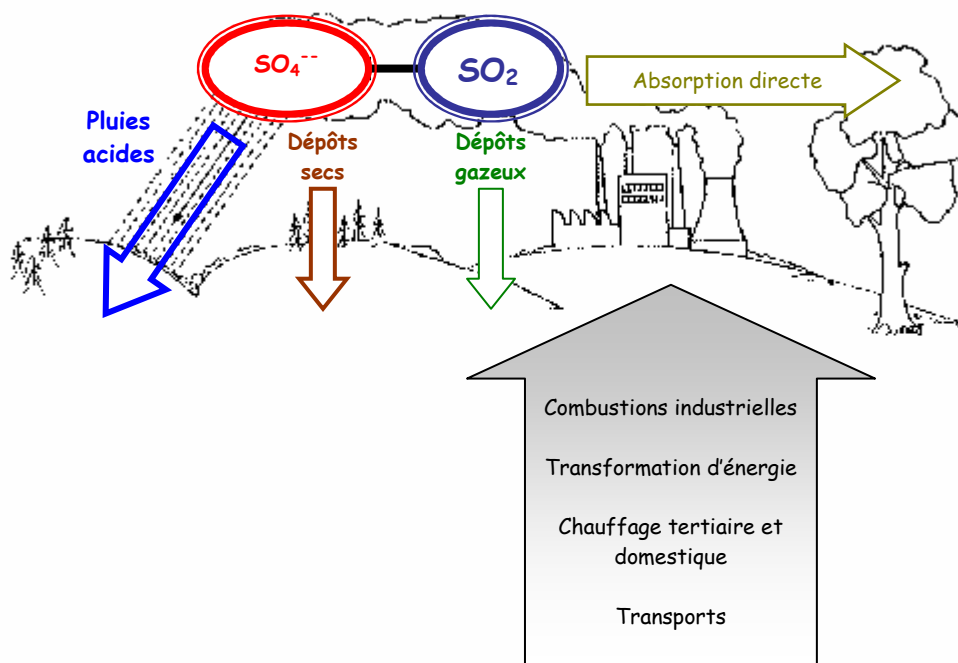
Les vents ont un pouvoir de dispersion à partir d'une vitesse de 7,2 km/h. Une retombée en panache se produit lorsque le vent est assez fort pour rabattre les fumées sur la ville. Dans ce cas, la pollution est plus souvent localisée et ne concerne que les secteurs proches de la cheminée. Quand on augmente la hauteur des cheminées on parvient à limiter les effets d'un tel phénomène.

Transformations chimiques du SO_2 dans l'atmosphère

Dans l'atmosphère les gaz peuvent subir des transformations chimiques (SO_2 en SO_4^{2-}).

Les dépôts de SO_2

- **Les dépôts secs**
Les polluants se fixent sur des particules solides (poussières, ...) qui sont piégées par la végétation, le sol ou les eaux de surface.
- **Les dépôts humides**
Les polluants sont incorporés aux précipitations humides (pluie, neige, brouillard, rosée, ...).
- **Absorption directe**
Les gaz sont absorbés directement par les végétaux, par certaines roches avec lesquelles ils peuvent réagir.



11. Analyse et clarification des valeurs



Séquence :
notre air est-il de
qualité ?

L'analyse des valeurs consiste à identifier et à évaluer les différentes valeurs qui sous-tendent les positions des divers acteurs impliqués dans une situation problématique.

La clarification des valeurs concerne le choix, l'expression et la « mise en actes » de nos propres valeurs.

L. SAUVE

Comment faire avec ses élèves ?

Etude de cas

Exemple : faut-il favoriser le transport en commun et restreindre l'usage de la voiture personnelle ?

Situer dans une échelle de valeur

Les enfants sont confrontés avec des opinions différentes, des comportements opposés. Ils vont rechercher, dans une grille d'analyse, les valeurs sur lesquelles chaque protagoniste s'appuie.

- Grille d'analyse des valeurs selon HUGERFORD (1992)
 - valeurs esthétiques (beau, agréable,...) ;
 - valeurs morales (responsabilité, droits, devoirs,...)
 - valeurs écologiques (respect des écosystèmes, biodiversité, ...)
 - valeurs économiques (niveau de vie, plein emploi, moindre coût, ...)
 - valeurs égocentriques (satisfaction personnelle, bien-être, moindre effort, ...)
 - valeurs sociales (respect, solidarité, tolérance, ...)
 - valeurs liées à la santé
 - ...

Clarifier les valeurs

Les enfants choisissent l'une ou l'autre valeur et imaginent le comportement qu'il faut adopter pour agir en fonction de cette dernière.

On peut refaire l'exercice avec d'autres valeurs.

Les élèves sont ainsi amenés à comprendre la difficulté de trouver un comportement conforme à certaines valeurs et qu'il faut souvent faire un choix.

Exemples de cas

À compléter !!!!

12. Bibliographie



Séquence :
notre air est-il de
qualité ?

Des sites :

- <http://www2.ac-lille.fr/lichen/default.htm>
- <http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/biologie/ress/environnement/qualite.html>
- <http://www.climat.be/index.html>

Des livres :

- Ch. VAN HALUWYN et M. LEROND
Guide des lichens - Editions LECHEVALIER (1993)
- J.-P. GAVERIAUX
Les lichens et la bioindication de la qualité de l'air - CRDP de l'Académie d'AMIENS
- U. KIRSCHBAUM et V. WIRTH
Les lichens bioindicateurs - Ulmer
- P. THEVANT
Guide des lichens - Guides du Naturaliste chez Delachaux et Niestlé
- WWF Panda 28 (1988)
Aux frontières de la vie : les lichens, avertisseurs naturels
- WWF Panda 55 (1993)
Quand la Terre a le mal de l'air
- P. JAMES
Lichens et pollution de l'air - British Museum BP Educational Services
- P. MALAISE
Des végétaux très originaux : les lichens
Dossier Education - Environnement Liège
- I. LACOMBLEZ
Transport et retombées des polluants atmosphériques - UCL
(Comité Interuniversitaire Francophone pour l'Année Européenne de l'Environnement 1987)
- E. SERUSIAUX, P. DIEDERICH, J. LAMBINON
Les macrolichens de Belgique, du Luxembourg et du nord de la France - FERRANTIA - 2004
- J. ESCALIER, J. MARTIN et J. SOLECTCHNIK
Ouvertures sur l'environnement - PIERRE BORDAS et FILS / ENVIRHONALPES
- S. FALLY, D. JOANNES, D. LEDUC et MF SCHARLL
La pollution atmosphérique, ses effets et ses coûts en région de Bruxelles-Capitale - ULB (Service Traitement des Eaux et Pollution)

	LICHENS	BIOINDICATION	POLLUTION
Ch. VAN HALUWYN et M. LEROND Guide des lichens - Editions LECHEVALIER (1993)	⊗	⊗	
J.-P. GAVERIAUX Les lichens et la bioindication de la qualité de l'air - CRDP de l'Académie d'AMIENS	⊗	⊗	
U. KIRSCHBAUM et V. WIRTH Les lichens bioindicateurs - Ulmer	⊗	⊗	
P. THEVANT Guide des lichens - Guides du Naturaliste chez Delachaux et Niestlé	⊗		
WWF Panda 28 (1988) Aux frontières de la vie : les lichens, avertisseurs naturels	⊗	⊗	
WWF Panda 55 (1993) Quand la Terre a le mal de l'air			⊗
P. JAMES Lichens et pollution de l'air - British Museum BP Educational Services	⊗	⊗	
P. MALAISE Des végétaux très originaux : les lichens Dossier Education - Environnement Liège	⊗		
I. LACOMBLEZ Transport et retombées des polluants atmosphériques - UCL (Comité Interuniversitaire Francophone pour l'Année Européenne de l'Environnement 1987)			⊗
E. SERUSIAUX, P. DIEDERICH, J. LAMBINON Les macrolichens de Belgique, du Luxembourg et du nord de la France - FERRANTIA - 2004	⊗		
J. ESCALIER, J. MARTIN et J. SOLECTCHNIK Ouvertures sur l'environnement - PIERRE BORDAS et FILS / ENVIRHONALPES			⊗
S. FALLY, D. JOANNES, D. LEDUC et MF SCHARLL La pollution atmosphérique, ses effets et ses coûts en région de Bruxelles-Capitale - ULB (Service Traitement des Eaux et Pollution)			⊗