

L'air, l'atmosphère et la pollution



• *Activité*

*Extrait de la nouvelle « La tour Eiffel »
de Dino Buzzati*

**Découvrir et étudier l'air,
pour sensibiliser les enfants à une prévention de la pollution atmosphérique.**

Extrait de la nouvelle La tour Eiffel

Dino Buzzati



Les quatre gigantesques pieds une fois solidement rivés en terre, la charpente de fer s'éleva pourtant à vue d'œil. Au-delà de l'enclos, autour du vaste chantier, la foule stationnait jour et nuit pour nous contempler tandis que nous joutions là-haut, minuscules insectes suspendus à notre toile d'araignée.

Les arches du piédestal furent solidement soudées, les quatre colonnes vertébrales se dressèrent presque à pic et puis se fendirent pour n'en former qu'une seule qui s'amincissait au fur et à mesure qu'elle s'élevait. Le huitième mois, on arriva à la cote 100 et un banquet fut offert à tout le personnel dans une auberge des bords de la Seine.

Je n'entendais plus de paroles de découragement. Un étrange enthousiasme au contraire s'était emparé des ouvriers, des chefs d'équipe, des techniciens, des ingénieurs, comme si on avait été à la veille d'un événement extraordinaire. Un matin, c'étaient les premiers jours d'octobre, nous nous trouvâmes plongés dans le brouillard.

On pensa qu'une couche de nuages bas stagnait sur Paris, mais ce n'était pas ça. Tout autour l'air était serein. « Hé ! vise un peu ce tube-là », me dit Claude Gallumet, le plus petit et le plus débrouillard de mon équipe qui était devenu mon ami. D'un gros tube de caoutchouc fixé à la charpente de fer sortait de la fumée blanchâtre. Il y en avait quatre, un à chaque coin de la tour. Il en sortait une fumée dense qui peu à peu formait un nuage qui ne montait ni descendait, et sous ce grand parasol d'ouate, nous, nous continuions à travailler. Mais pourquoi ? A cause du secret ?

Un autre banquet nous fut offert par les constructeurs quand on arriva à la cote 200, et même les journaux en parlèrent. Mais autour du chantier la foule ne stationnait plus, ce ridicule chapeau de brouillard nous cachait complètement à leurs regards. Et les journaux louaient l'artifice : cette condensation de vapeurs - expliquaient-ils - empêchait les ouvriers travaillant sur les structures aériennes de remarquer l'abîme qui était au-dessous d'eux ; et cela leur évitait d'avoir le vertige. Grosse sottise : tout d'abord parce que nous étions désormais parfaitement entraînés au vide ; et même en cas de vertige, il ne nous serait pas arrivé malheur car chacun de nous portait une solide ceinture de cuir qui était rattachée, au fur et à mesure, par une corde, aux charpentes environnantes.

250, 280, 300... deux ans avaient passé. Etions-nous à la fin de notre aventure ? Un soir on nous réunit sous la grande voûte en croix de la base et l'ingénieur Eiffel nous parla. Notre engagement - dit-il - touchait à sa fin, nous avons donné des preuves de ténacité, de bravoure, de courage et l'entreprise nous remettait une prime spéciale. Celui qui le désirait pouvait partir. Mais lui, l'ingénieur Eiffel, espérait qu'il se trouverait des volontaires disposés à continuer. Continuer quoi ? L'ingénieur ne pouvait pas nous l'expliquer, qu'on lui fasse seulement confiance, cela en valait la peine.

Comme beaucoup d'autres, je restai. Et ce fut une sorte de folle conjuration qu'aucun étranger ne soupçonna parce que chacun de nous resta plus que jamais fidèle au secret.

Et c'est ainsi qu'à la cote 300, au lieu d'ébaucher la charpente de la coupole terminale, on dressa de nouvelles poutres d'acier les unes au-dessus des autres en direction du zénith. Barre sur barre, fer sur fer, poutrelle sur poutrelle, et des boulons et des coups de marteau, le nuage tout entier en résonnait comme une caisse harmonique. Nous autres, nous étions au septième ciel.

Jusqu'au moment où, à force de monter, nous émergeâmes de la masse du nuage qui resta au-dessous de nous, et les gens de Paris continuaient à ne pas nous voir à cause de ce bouclier de vapeurs, mais en réalité nous planions dans l'air pur et limpide des sommets. Et certains matins venteux, nous apercevions au loin les Alpes couvertes de neige.



Approche de l'atmosphère par un extrait de « La tour Eiffel »

MATÉRIEL ET PRODUITS



- Illustration de la tour Eiffel (carte postale par exemple).
- Photocopies de l'extrait de « La tour Eiffel ».
- Dictionnaire(s) de la langue française.

OBJECTIFS >>

- > Introduire le thème de l'air par la découverte de l'atmosphère.
- > Comprendre la composition d'un nuage à partir de sa formation.

DÉROULEMENT >>

DURÉE : 1h à 1h30

1 Présentation et lecture de l'extrait de « La tour Eiffel »

- Introduire le texte auprès des élèves en précisant le contexte de l'extrait :
 - donner quelques informations sur la tour Eiffel et sa construction, à partir de son illustration ;
 - présenter succinctement la nouvelle et son auteur, situer le contexte de l'extrait. *C'est une fiction sur la construction de la tour Eiffel racontée par un ouvrier imaginaire. (voir ressources)*
- Distribuer à chacun des élèves une photocopie de l'extrait. Lire jusqu'à « À cause du secret ? ».
- Expliquer le texte. Au besoin, faire rechercher les mots difficiles dans le dictionnaire.

2 Distinction entre « fumée » et « vapeur »

- Faire relire le dernier paragraphe et demander aux élèves :
 - qu'est-ce qui sort des tubes ? « une fumée blanchâtre », « une fumée dense qui peu à peu formait un nuage... »
 - d'où peut provenir cette « fumée » ? Comment peut-elle être produite ? (voir ressources)
- Définir le terme « fumée » dans le langage courant.
- Élargir le champ de la définition au nuage : un nuage est-il une fumée ? Comment se forme-t-il ?
- Mettre en évidence les différences entre les définitions scientifiques de « vapeur » et « fumée ». (voir ressources)
- Demander aux élèves d'imaginer deux procédés simples : l'un pour produire de la fumée, l'autre de la vapeur.
- Éventuellement, concevoir les deux protocoles expérimentaux correspondant et, si les conditions de sécurité le permettent, réaliser les deux expériences.

3 Réflexion autour de la formation des nuages

- Déterminer de façon collective, le mécanisme de formation des nuages.
- Mettre en évidence la nécessité d'un abaissement de la température de l'air à mesure que l'on s'éloigne du sol. (voir ressources)
- Poursuivre la lecture de l'extrait de la nouvelle « La tour Eiffel » jusqu'à « ... aux charpentes environnantes ». S'assurer de la compréhension du texte auprès des élèves. Au besoin, l'expliquer.
- S'arrêter sur les termes « condensation de vapeurs » et évaluer leur compréhension par les élèves.
- Conclure que la « fumée blanchâtre » semble constituée de fines gouttelettes d'eau, comme un nuage.



ÉVALUATION DE LA SÉQUENCE >>

Demander aux élèves d'imaginer le dispositif expérimental employé pour former la « fumée blanchâtre » à la sortie des tuyaux. Leur faire représenter la scène de la construction de la tour Eiffel avec le nuage artificiel.

SUGGESTIONS DE PROLONGEMENTS >>

Les états de la matière. Les changements d'état de l'eau.
Montage d'un dispositif expérimental pour expliquer la formation des nuages.
Les différents nuages. Notions de météorologie.
Le cycle naturel de l'eau.

L'atmosphère et ses couches principales

MATÉRIEL ET PRODUITS



- Photocopies de l'extrait de « La tour Eiffel ».
- Thermomètre.

OBJECTIFS >>

- > Définir l'atmosphère et ses couches principales.
- > Définir le gradient naturel de température de l'air.

DÉROULEMENT >>

DURÉE : 1h30 à 2h

1 Définir l'atmosphère et ses couches principales

- Acheter la lecture de l'extrait. S'assurer de la compréhension du texte auprès des élèves. Au besoin, l'expliquer.
- Tracer au tableau un axe vertical pour représenter l'altitude. Définir le mot « altitude ». Graduer l'axe de 0 à 20 000 en précisant son nom et l'unité (m).
- Placer l'altitude de Paris : 25 m au niveau de la Seine. Tracer une ligne horizontale.
- Demander aux élèves de calculer l'altitude de la cote « 300 » citée dans le texte. 325 m.
- Représenter la tour Eiffel sur la ligne horizontale en respectant l'échelle choisie.
- Proposer aux élèves de suivre l'élévation de la tour à mesure de la relecture des derniers paragraphes. Noter le repère « Alpes » par l'altitude du Mont Blanc (4 808 m).
- Poursuivre le voyage d'éloignement de la terre. Noter l'altitude de l'Everest (8 848 m).
- À 12 000 m, tracer une ligne pour délimiter la « troposphère ». La définir. (voir ressources)
- Au-dessus, définir la « stratosphère ». (voir ressources)
- Définir ainsi l'atmosphère en évoquant l'existence de couches supérieures jusqu'à environ 500 km de la Terre.
- Faire reproduire sur papier ce schéma des couches de l'atmosphère par chacun des élèves. Prendre soin de donner son titre, de nommer l'axe de l'altitude et de préciser l'unité employée.

2 Présentation du gradient naturel de température de l'air

- Poser les questions suivantes : pouvez-vous me rappeler comment les nuages se forment-ils ?
- Pourquoi l'eau se condense-t-elle à une certaine altitude ?
- Présenter le gradient naturel de température : à mesure que l'on s'éloigne du sol, la température de l'air s'abaisse d'environ 7 °C par kilomètre. Faire remarquer que ce gradient n'existe que dans la troposphère.
- Reprendre le schéma élaboré précédemment et y placer l'altitude de la commune de l'école.

3 Calcul et représentation du gradient naturel de température

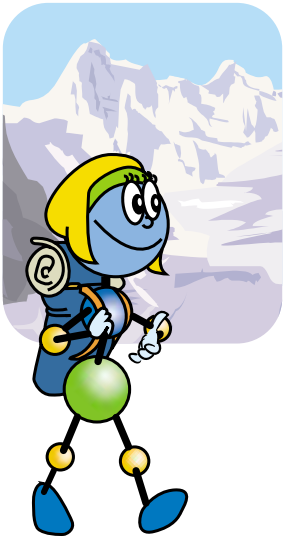
- Tracer un nouvel axe vertical pour représenter la température. Prendre soin d'inscrire son nom ainsi que l'unité de température. « Température en °C » (degré Celsius).
- Mettre en évidence la différence logique entre les échelles d'altitude et de température : à 100 m d'altitude, la température ne peut pas être 100 °C !
- Demander aux élèves de trouver la valeur de température à noter au niveau de l'altitude de la commune de l'école. Les laisser réfléchir, discuter pour comprendre qu'il est nécessaire de mesurer la température extérieure à l'aide d'un thermomètre. Faire effectuer la mesure, noter son heure.
- Demander aux élèves de façon collective de calculer la température théorique de l'air à 1 km au-dessus de leur tête, puis à 2 km, puis à 3 km. Reporter les valeurs calculées sur le schéma du tableau.
- Laisser les élèves continuer les calculs jusqu'à la limite entre la troposphère et la stratosphère.
- Leur faire compléter leur schéma respectif en prenant soin d'annoter le lieu, la date et l'heure de ce gradient.

ÉVALUATION DE LA SÉQUENCE >>

Faire calculer la température de l'air traversé par un avion à 9000 m d'altitude survolant Paris (altitude au niveau de la Seine : 25 m) un matin où l'on mesure au thermomètre 14 °C.

SUGGESTIONS DE PROLONGEMENTS >>

La mesure de température, l'utilisation d'un thermomètre. Visite de la tour Eiffel.



L'air et la notion de pollution

MATERIEL ET PRODUITS



- Photocopies de l'extrait de « La tour Eiffel ».
- Dictionnaire(s) de la langue française.
- Photocopie de la définition légale de la pollution de l'air.

OBJECTIFS >>

- > Présenter l'air, ses caractéristiques, son rôle, sa composition.
- > Introduire la notion de pollution de l'air.

DÉROULEMENT >>

DURÉE : 2h à 2h30

1 Mise en évidence de l'air

- Introduire la séquence par un rappel du contenu de l'extrait.
- En évaluation de la séquence précédente, demander aux élèves dans quelle couche de l'atmosphère les ouvriers se situent-ils durant la construction ? *Les ouvriers se situent dans la troposphère.* Leur faire remarquer qu'ils ne peuvent pas être très haut dans la troposphère. Sinon, ils auraient travaillé dans des conditions extrêmes, notamment en terme de température... Rappeler au besoin la notion de gradient naturel de température.
- Relire le dernier paragraphe et s'arrêter sur la proposition « *mais en réalité, nous planions dans l'air pur et limpide des sommets* ». Demander aux élèves ce que signifie « l'air pur et limpide ». Au besoin, chercher la définition de « limpide » dans le dictionnaire. *Limpide : clair et transparent.*
- Questionner les élèves sur l'air : qu'est-ce que l'air ? Comment est-il ? À quoi sert-il ? Où le trouve-t-on ?
- Définir collectivement les caractéristiques de l'air, si possible en réalisant quelques expériences pour le matérialiser. Au besoin, faire un rappel préalable sur l'état gazeux. (*voir ressources*)
- Expliquer le rôle essentiel de l'air en exposant le mécanisme de la respiration. (*voir ressources*)
- En déduire qu'il est présent partout où il y a de la vie et donc dans toute une partie de la troposphère.

2 Etude de la composition de l'air et introduction à la notion de pollution

- Reprendre l'expression « l'air pur » et demander aux enfants ce qu'elle signifie.
- En arriver progressivement à la composition chimique de l'air. (*voir ressources*)
- Faire alors réagir les élèves en leur demandant : l'air n'est-il pas toujours pur ?
- Laisser les élèves citer des situations dans lesquelles l'air n'est pas « pur ». Les noter pour les exploiter ultérieurement.
- Demander aux élèves les conséquences de ces situations sur la composition chimique de l'air.
- Étendre le débat sur les conséquences de ces situations sur notre santé.
- Parvenir à parler de « pollution » et de « substances polluantes ».

3 Définition de la pollution de l'air

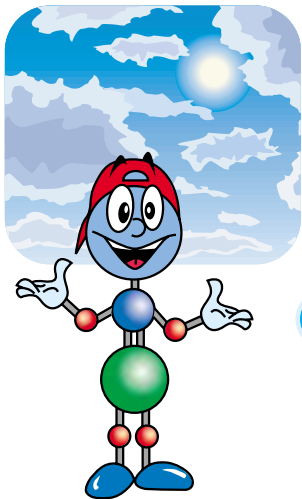
- Donner la définition légale de la pollution atmosphérique (éventuellement la distribuer à chacun).
- La lire collectivement et l'expliquer mot à mot. Au besoin, la formuler plus simplement, dans le langage des enfants.
- Reprendre les situations citées par les élèves précédemment. Les étudier et déduire si, au sens de la définition légale, elles sont sources de pollution.
- Compléter éventuellement par d'autres exemples, notamment de pollution intérieure comme la poussière, les fumées de cuisine,...

ÉVALUATION DE LA SÉQUENCE >>

Demander aux élèves si les éléments suivants constituent des sources de pollution de l'air au sens de la définition légale : émanations d'un volcan, musique, fumée de cigarette, graffitis.

SUGGESTIONS DE PROLONGEMENTS >>

Etude de la respiration. Etude de la photosynthèse.



La pollution atmosphérique, ses sources et la prévention

MATÉRIEL ET PRODUITS



- Schémas des couches de l'atmosphère.
- De quoi réaliser des affiches (feuilles grand format, feutres, etc).

OBJECTIFS >>

- > Introduire la notion de pollution atmosphérique.
- > Exposer le phénomène d'inversion de température.
- > Définir les sources de pollution atmosphérique.

DÉROULEMENT >>

DURÉE : 1h30 à 2h

1 Présentation de la pollution atmosphérique

- Reprendre le schéma des couches de l'atmosphère.
- Mettre en évidence que l'air chaud est plus léger que l'air froid, et que chauffé par le rayonnement de la Terre, il va monter transportant alors toute pollution dans les couches plus élevées de la troposphère. On arrive progressivement à une pollution atmosphérique.
- Faire remarquer que la météorologie peut jouer en faveur de la dispersion des polluants, notamment s'il y a du vent.
- Présenter l'inversion de température, phénomène naturel qui aggrave la pollution. *Les polluants se concentrent dans les masses d'air froid restées bloquées au sol.*
- Préciser que ce phénomène est souvent l'origine des pics de pollution dans les zones à forte densité de sources de pollution.

2 Présentation des sources de pollution atmosphérique

- À partir des situations citées lors de la séquence précédente, établir une classification des sources de pollution en « sources fixes » et « sources mobiles ».
- Prendre l'exemple de l'automobile et demander aux élèves pourquoi constitue-t-elle une source de pollution atmosphérique.
- Rappeler le fonctionnement d'une automobile et exposer brièvement le principe de combustion d'un carburant comme force motrice. (*voir ressources*)
- Attirer l'attention des élèves sur le fait que plus une automobile roule, plus elle roule vite, plus elle est lourde, plus elle consomme du carburant et plus elle rejette des produits d'échappements.
- Citer les noms des substances polluantes pouvant être émises par une automobile. (*voir ressources*)

3 Elaboration de moyens pour réduire la pollution atmosphérique

- Laisser les élèves réfléchir par groupe de 4 ou 5 à des solutions pour limiter la pollution atmosphérique, notamment celle liée à la circulation automobile.
- Mettre en commun les réflexions.
 - Proposer de trouver des solutions sur les quatre thèmes d'actions suivants :
 - changer les comportements de conduite automobile ;
 - réduire les quantités de produits d'échappements ;
 - limiter la circulation automobile ;
 - modifier les voitures.
 - Demander aux élèves d'illustrer chacun des thèmes de prévention par une ou plusieurs affiches.
 - Préciser le rôle de l'industrie chimique dans ces actions.



ÉVALUATION DE LA SÉQUENCE >>

Faire dessiner une ville en demandant d'y représenter des sources de pollution fixes et mobiles.

SUGGESTIONS DE PROLONGEMENTS >>

Exposition sur l'air à présenter aux parents d'élèves.
Présentation de la notion de développement durable.

La tour Eiffel (séquences 1, 2 et 3)

Dino Buzzati, auteur de *La tour Eiffel*

Dino Buzzati, écrivain et peintre italien, est né en 1906 à Belluno et mort en 1972 à Milan. Après des études de droit, il consacre sa vie à la littérature et à la peinture, dans lesquelles il témoigne de la même inspiration fantastique mêlée au réalisme. Son unique roman, *Le Désert des Tartares*, paru en 1940 et traduit en français en 1949, rencontre un très grand succès. Il écrit également des pièces de théâtre, parmi lesquelles *Un cas intéressant*, jouée à Paris en 1956 selon une adaptation d'Albert Camus. Le *K* est un recueil de 50 nouvelles dont *La tour Eiffel*. Il a été publié en 1966.

La tour Eiffel, Le K, 1966

La nouvelle *La tour Eiffel* est le récit fictif de la construction du célèbre monument parisien. Le narrateur emprunté par Dino Buzzati est un ouvrier imaginaire.

André Lejeune, ouvrier mécanicien aux ateliers Rungis, reçoit une proposition de l'ingénieur Gustave Eiffel pour participer à la construction d'une tour la plus haute du monde, plus haute encore - et tel est le secret - que les 300 mètres convenus avec le gouvernement... Il s'engage à tenir la promesse de ne parler à personne du travail entrepris et signe le contrat qui triple son ancien salaire.

La construction de la tour commence. Un matin, les ouvriers se trouvent plongés dans le brouillard. Une épaisse fumée blanche sort de quatre tubes de caoutchouc fixés à la charpente. Tenus par le secret, ils poursuivent leur travail dans ce nuage artificiel.

Après deux ans passés, la cote 300 est atteinte. Eiffel rassemble les ouvriers et propose aux volontaires de poursuivre l'élévation de la tour. André Lejeune accepte. Les montées et descentes sont devenues tellement longues qu'il est décidé d'installer des baraquements en haut du chantier pour y faire vivre le personnel.

Mais un jour, les ouvriers comprennent que la tour ne se terminera pas, qu'elle est vouée à s'élever à jamais, que l'ingénieur Eiffel les a destinés à devenir des héros. Ils comprennent également que le gouvernement ne devra pas tarder à s'en apercevoir...

En effet, peu de temps plus tard, ils entendent des bruits de fusillades sous le nuage. Ils descendent et se rendent aux forces de police. Quelqu'un avait trahi le secret. C'est ainsi que la flèche fût amputée à 300 m et affublée d'un horrible chapeau que l'on peut encore voir aujourd'hui...

La tour Eiffel et sa vraie construction !

La tour Eiffel, monument métallique, a été érigée par l'ingénieur Gustave Eiffel sur le Champ-de-Mars, à Paris, pour l'exposition universelle de 1889. Sa hauteur est de 324 m hors tout, 300 m à l'origine.

La construction a débuté en janvier 1887 pour se terminer le 31 mars 1889. Cinq mois ont été nécessaires aux fondations, vingt-et-un mois à la réalisation du montage de la partie métallique. Les quatre piles de la tour reposent sur des fondations en béton installées à quelques mètres sous terre.

18 000 pièces constituent la partie métallique. Elles ont été préparées et assemblées par élément d'environ 5 m dans les ateliers de l'entreprise Eiffel à Levallois-Perret. Toutes ont été fixées par des rivets, chacun posé à chaud par une équipe de 4 hommes. Des échafaudages en bois et de petites grues à vapeur fixées sur la tour elle-même en ont permis le montage. 150 à 300 ouvriers ont travaillé en permanence sur le site.

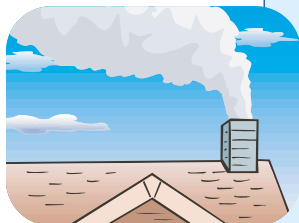
Prouesse technique pour l'époque, cinq ascenseurs ont été installés dès l'origine par 3 entreprises différentes : deux reliant le rez-de-chaussée au premier étage dans les piliers est et ouest, deux reliant directement le deuxième étage dans les piliers nord et sud, et un vertical atteignant le sommet.



Fumée et vapeur (séquence 1)

Fumée et vapeur : définitions et distinction

Les termes « fumée » et « vapeur » prêtent souvent à confusion. Dans le langage courant, ils sont le plus généralement employés pour désigner un amas visible mais impalpable en suspension dans l'air : on voit de la fumée sortir d'une cheminée d'usine et de la vapeur d'une casserole d'eau bouillante. Les définitions scientifiques apportent précision.



- La **fumée** résulte d'une combustion avec dégagement de chaleur. La combustion est la combinaison d'un corps avec du dioxygène. Elle est dite « complète » lorsqu'elle aboutit à la formation unique de deux gaz, le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau. Elle est dite « incomplète » lorsque, en plus de ces deux gaz, d'autres substances sont libérées. La fumée est donc constituée inévitablement de dioxyde de carbone et de vapeur d'eau et, généralement, de gaz divers, de fines gouttelettes liquides et de minuscules particules solides. Ces dernières diffusent la lumière et confèrent ainsi à la fumée un aspect visible bien qu'impalpable.



- La **vapeur** est le nom donné à l'état gazeux d'un corps. Elle est obtenue par changement d'état de ce corps - vaporisation si celui-ci est liquide, sublimation s'il est solide - dans des conditions de température et de pression définies. Elle est toujours impalpable et le plus souvent invisible, comme la vapeur d'eau connue de tous. L'évaporation correspond à une vaporisation lente d'une substance liquide (ou à une sublimation lente d'une substance solide). Elle se produit constamment en surface du liquide par équilibre entre les phases liquide et gazeuse. Ainsi, de l'eau s'évapore des mers comme des glaces, bien que celles-ci ne soient pas portées à ébullition ! De même, l'alcool pharmaceutique dégage à température ambiante une vapeur à l'odeur caractéristique.

Il peut être intéressant d'étudier les termes employés par D. Buzzati dans l'extrait de *La tour Eiffel*. Les ouvriers voient « une fumée dense qui peu à peu formait un nuage ». Ne connaissant pas son origine - combustion ou changement d'état - l'ouvrier narrateur qualifie la masse blanchâtre de « fumée » et ce, à juste titre, puisqu'elle est visible. Notons que le terme générique « nuage » signifie tout ce qui forme une masse légère et en suspension ; on peut donc parler de « nuage de fumée ».

Les expressions qui suivent - « ce ridicule chapeau de brouillard », « cette condensation de vapeurs », « ce boucliers de vapeurs » - incitent à penser que cette « fumée » ne résulte pas d'une combustion, mais d'un changement d'état de l'eau, comme lors de la formation d'un nuage au sens météorologique.

Cependant, le pluriel employé pour « vapeurs » ne confirme en rien cette hypothèse. Si la fumée résulte d'une formation similaire à celle des nuages en météorologie, elle serait constituée uniquement d'eau, et « vapeur » devrait être employée au singulier. Mais alors, si cette fumée blanchâtre provient d'une combustion, qu'en serait-il de la santé des ouvriers qui la respirent ? Une bonne introduction à la pollution de l'air...

Comment obtenir de la fumée et de la vapeur ?

- Pour obtenir de la fumée, une combustion est nécessaire. Pour qu'elle soit visible, il faut qu'elle libère des gouttelettes liquides et /ou des particules solides de taille suffisamment importante pour permettre la réflexion de la lumière : craquer une allumette, brûler du papier, fumer une cigarette, ...

- Pour obtenir de la vapeur, une vaporisation est nécessaire (ou une sublimation pour les solides). Selon la substance, elle peut se réaliser d'elle-même à température ambiante par évaporation, mais ne concerne alors que le liquide en surface. C'est le cas des solvants comme l'eau, l'éthanol, l'acétone, etc. Marquer le niveau du liquide placé dans un récipient et constater son abaissement après quelques temps.

Si l'on souhaite accélérer la vaporisation du liquide, il faut élever sa température. Par exemple, chauffer de l'eau dans un récipient adapté. L'évaporation s'intensifie avec le chauffage jusqu'à parvenir à l'ébullition où la vaporisation s'effectue en tout point du liquide. Des bulles de vapeur d'eau se forment dans le récipient. Le niveau du liquide s'abaisse alors rapidement. Notons que la traînée blanche que l'on observe au-dessus du récipient n'est pas de la vapeur d'eau. Elle est constituée de fines gouttelettes d'eau liquide. La vapeur d'eau produite en chauffant l'eau s'est élevée au-dessus du récipient et une partie s'est condensée au contact d'un air plus froid ; c'est cette dernière que l'on voit.

Nuages et gradient de température dans l'atmosphère (séquences 1 et 2)

Les nuages

Les nuages sont un ensemble de minuscules gouttelettes d'eau ou de cristaux de glaces en suspension dans l'air. Ils résultent de l'évaporation de l'eau, principalement des mers et des océans qui couvrent 71 % de la surface de la Terre.

On distingue trois principaux groupes de nuages en fonction de leur altitude : les nuages bas (altitude inférieure à 2 000 m), les nuages moyens (altitude comprise entre 2 000 et 5 000 m) et les nuages élevés (altitude supérieure à 5 000 m).

La combinaison de cinq termes latins suffit à les nommer : nimbus signifie nuage de pluie, cumulus, nuage en forme d'amas, stratus, en forme de strate, cirrus, en forme de filament, et le préfixe alto précise leur altitude élevée.

Les nuages bas sont les stratus, les nimbostratus, les cumulus, les strato-cumulus. Les altostratus et les altocumulus caractérisent la moyenne altitude et les cirrus, cirrocumulus, cirrostratus, l'altitude élevée. Les nimbo-cumulus, gros nuages d'orage, se répartissent dans toute la troposphère.

La température de l'air dans l'atmosphère, notion de gradient

Notre planète restitue une partie de la chaleur qu'elle reçoit du soleil, si bien que l'air en basse altitude est plus chaud que celui en altitude plus élevée. Le phénomène se constate aisément en montagne : à mesure que l'on grimpe, il fait de plus en plus froid !

Par ailleurs, l'air chaud étant plus léger que l'air froid, il se crée des mouvements d'air ascendants et descendants à l'origine des vents.

Jusqu'à peu près 12 000 m d'altitude (limite de la troposphère), on constate ainsi que la température de l'air décroît avec l'altitude d'environ 7 °C par kilomètre.

Au-dessus, ce gradient naturel est inversé, car la couche d'ozone située à une quarantaine de kilomètres de la Terre, provoque le réchauffement de l'air en arrêtant les rayonnements ultraviolets.

La formation des nuages

La formation des nuages est étroitement liée au gradient naturel de température de l'air.

Grâce au réchauffement induit par le soleil, l'eau s'évapore à la surface de notre planète. Elle passe d'un état liquide (lacs, mers, océans, ...) ou d'un état solide (banquise, glaciers, calottes glaciaires, ...) à un état gazeux appelé « vapeur d'eau ».

La vapeur d'eau charge l'air environnant. Elle est invisible, mais on peut en mesurer la quantité à l'aide d'un hygromètre ou d'un psychromètre et définir ainsi l'humidité de l'air.

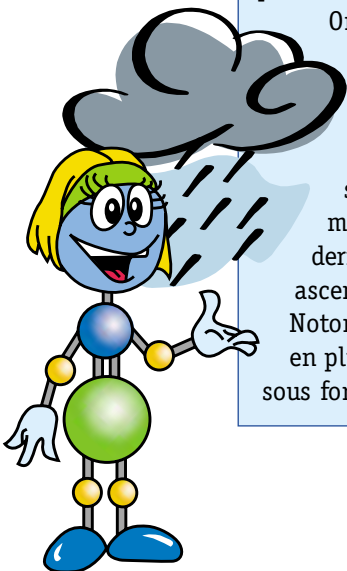
À une température donnée, l'humidité de l'air ne peut pas dépasser un certain seuil appelé « seuil de saturation ». En d'autres termes, la quantité de vapeur d'eau dans un volume d'air ne peut pas augmenter. Si le seuil de saturation est atteint, la vapeur d'eau se « condense », c'est-à-dire qu'elle passe de l'état gazeux à l'état liquide ou solide.

Or, le seuil de saturation diminue lorsque la température de l'air s'abaisse. On comprend alors le rôle du gradient naturel de température de l'air dans la formation des nuages.

L'air chargé de vapeur d'eau est chauffé par la Terre qui restitue la chaleur reçue du soleil.

Plus léger, il s'élève en altitude et rencontre des masses d'air plus froid. À leur contact, le seuil de saturation s'abaisse jusqu'à provoquer la condensation de la vapeur d'eau en minuscules gouttelettes d'eau (ou en cristaux de glaces sous la température de 0 °C). Ces dernières tendent à tomber, mais la résistance à l'air lors de leur chute et les mouvements d'air ascendants permettent de les maintenir en suspension, formant ainsi un nuage.

Notons que, si la condensation devient intense, les gouttelettes et les cristaux deviennent de plus en plus gros donc de plus en plus lourds. Leur suspension n'est alors plus possible et ils précipitent sous forme de pluie, de neige ou de grêle. En météorologie, on parle ainsi de précipitations.



L'atmosphère et ses couches principales (séquence 2)

L'atmosphère, ses couches principales

L'**atmosphère terrestre** est une couche de gaz d'environ 500 km d'épaisseur qui enveloppe notre planète. Bien que très fine par rapport au diamètre de la Terre (6 730 km), elle la protège des particules cosmiques circulant à toute vitesse dans l'espace, et qui, sans son existence, pourraient venir s'y écraser.

Elle s'est formée, il y a environ 3,5 milliards d'années, à partir des gaz exhalés par le magma qui constituait la Terre, et a largement contribué à l'apparition de la vie, permettant par la rencontre des différentes substances qui la composait, l'élaboration progressive de molécules de plus en plus complexes. L'atmosphère comporte plusieurs couches. En partant du sol, on trouve la troposphère, la stratosphère, la mésosphère, la thermosphère et enfin la magnétosphère. 99 % de la masse de l'atmosphère est concentrée dans les 50 premiers kilomètres.

La **troposphère** est située entre la surface de la Terre et 10 à 15 km d'altitude. Elle comprend la majorité de l'air et de la vapeur d'eau qui compose l'atmosphère globale et est ainsi le sein du développement de la vie. Elle est également le lieu de formation des nuages et des vents.

La **stratosphère** est située au-delà, jusqu'à environ 50 km de la surface de la Terre. Son activité est beaucoup plus calme que la troposphère. Elle comprend dans sa partie supérieure la couche d'ozone qui arrête une grande partie des rayonnements ultraviolets dangereux pour la vie.

Pour information, précisons que, sous certaines latitudes et à certaines saisons, cette couche a été détruite créant le fameux « trou d'ozone ». Les recherches scientifiques ont montré qu'une des causes a été l'utilisation de composés chlorofluorocarbonés (ou CFC) dans les circuits de refroidissement et comme gaz propulseur dans des bombes aérosol. Aussi, depuis 1996, ces composés ont été substitués.

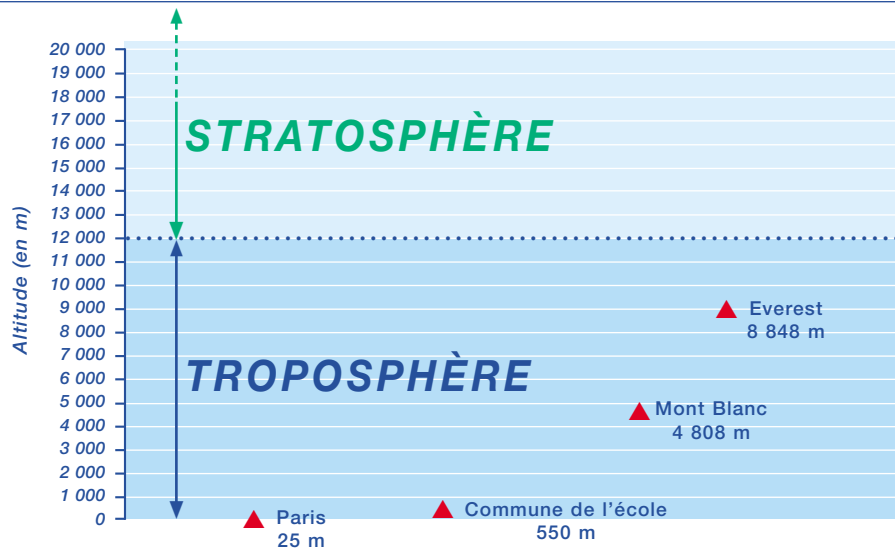


Définition

L'**altitude** correspond à l'élévation verticale d'un point au-dessus du niveau moyen des mers, qualifié d'altitude « zéro ». C'est une distance, elle se mesure en mètres (m) ou en kilomètres (km).

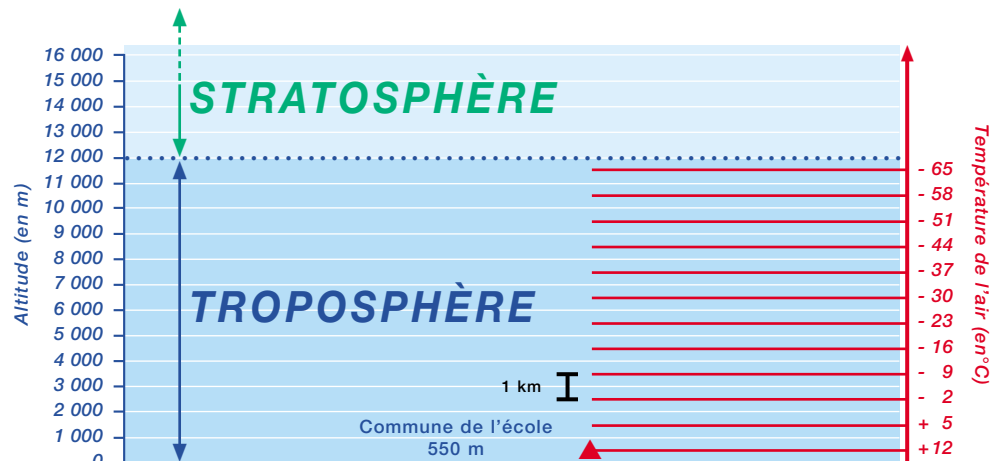
Schéma

L'atmosphère et ses couches principales : la troposphère et la stratosphère



Schéma

Le gradient de température de l'air dans la troposphère au-dessus d'une commune située à 550 m, le 19 octobre 2003 à 14h30



L'air (séquence 3)



Remarque

L'eau est la substance idéale pour permettre de matérialiser l'état gazeux, car ses changements d'état s'observent dans des conditions aisément reproductibles dans une classe. La vaporisation de l'eau conduit à la formation d'un gaz, la vapeur d'eau, invisible et inodore. Son origine - l'eau liquide - et son éventuelle condensation sur les vitres froides de la salle de classe, prouvent à l'enfant son existence. Notons qu'à une température voisine de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$, l'air devient également liquide.

Les caractéristiques et la composition chimique de l'air

L'air « pur » est un mélange de gaz **inodores** et **incolores**, principalement le diazote (N_2) et le dioxygène (O_2). Les gaz se caractérisent par le fait qu'ils sont **impalpables** et qu'ils occupent tout l'espace qu'on leur offre.

L'enfant ne peut donc ni toucher l'air, ni le voir, ni le sentir, ni même l'entendre ou le goûter... Aussi, si aucun de ses cinq sens ne permet de le percevoir, il a vite tendance à dire qu'il n'existe pas !

Pourtant, il ignore rarement qu'il le respire, il sait utiliser la force de ses déplacements (éventail, sarbacane, cerf-volant,...), il connaît sa capacité à transporter les substances (parfum, mauvaises odeurs, eau, pollen,...) et les sons (musique, écho). Autant de bases sur lesquelles il faut s'appuyer pour approcher cet élément abstrait.

Composition chimique de l'air	
Diazote (N_2)	78,10 %
Dioxygène (O_2)	20,90 %
Argon (Ar)	0,90 %
Dioxyde de carbone (CO_2)	0,03 %
Autres gaz, dits rares	0,07 %
Total	100,00 %

Le rôle de l'air dans la vie

L'air est présent dans toute l'atmosphère, mais il se concentre essentiellement dans la troposphère.

Il joue un rôle essentiel dans la vie en permettant la respiration des êtres vivants, c'est-à-dire l'échange gazeux qui fournit aux organismes le dioxygène nécessaire au fonctionnement des cellules et les débarrasse du dioxyde de carbone qu'ils produisent.

Chez l'Homme, à l'inspiration, l'air pénètre dans l'organisme par le nez ou la bouche et rejoint les poumons par la trachée. Là, au niveau des alvéoles pulmonaires, un échange gazeux s'effectue à travers une membrane très fine en contact avec des capillaires sanguins. Du dioxygène diffuse dans le sang. Il est ensuite transporté à travers tout le corps par le système sanguin, jusqu'à chacune des cellules. Ces dernières l'utilisent comme énergie pour leur fonctionnement et rejettent du dioxyde de carbone qui est conduit, de nouveau grâce au sang, jusqu'aux alvéoles pulmonaires au niveau desquelles il diffuse dans l'air.

Notons que, contrairement aux autres éléments essentiels à la vie, comme l'eau par exemple, le dioxygène ne peut être stocké dans l'organisme. Afin d'assurer nos besoins, il est donc nécessaire d'inspirer et d'expirer 25 000 fois par jour !

	Composition chimique de l'air inspiré	Composition chimique de l'air expiré
Diazote (N_2)	78,10 %	78,10 %
Dioxygène (O_2)	20,90 %	16,50 %
Dioxyde de carbone (CO_2)	0,03 %	4,50 %

Pour satisfaire les besoins énergétiques de nos cellules, il est nécessaire que l'air inspiré contienne un taux suffisant de dioxygène. La réduction de ce taux en haute altitude peut provoquer des troubles graves sur l'organisme surtout lorsque celui-ci est soumis à une activité poussée. C'est pourquoi les alpinistes qui se lancent dans l'ascension des hauts sommets emportent des réserves de dioxygène.

L'air inspiré ne doit également pas ou très peu véhiculer de substances polluantes. Les particules solides risquent d'encombrer les circuits respiratoires (bronches, bronchioles et alvéoles) et gêner la diffusion du dioxygène et du dioxyde de carbone. Les gaz toxiques peuvent altérer les poumons, voire passer dans le sang et générer des troubles plus ou moins importants.

Notons toutefois que notre système respiratoire est doté d'un certain nombre de filtres. Mais une pollution régulière et excessive abuserait de leur efficacité et pourrait engendrer des pathologies chez les sujets exposés.



La pollution de l'air (séquences 3 et 4)

Qu'est-ce que la pollution ?

Quelle qu'elle soit, la pollution est un concept assez abstrait qu'il est difficile de définir. Doit-on l'envisager par ses causes en répertoriant des polluants et en réglementant les émissions ? Mais, qu'est-ce qu'un « polluant » ? Peut-il s'agir d'une substance naturelle ? Pourquoi les nitrates indispensables à la vie sont-ils sources de pollution des eaux ? D'ailleurs, l'homme est-il toujours en mesure de connaître l'origine d'une pollution ?

Peut-être serait-il alors mieux adapté de définir une pollution par ses conséquences, en listant ses effets et en mesurant leur importance ? Mais, comment distinguer les effets ? Sont-ils toujours facilement repérables ? Peut-on attendre les catastrophes pour les connaître ? Comment juger de leur importance ? Doivent-ils être considérés par rapport au milieu naturel ? À la santé de l'Homme ? À son bien vivre ? À l'avenir de la planète ?

La loi sur l'air adoptée le 30 décembre 1996, propose une définition de la pollution de l'air. Cette dernière a été choisie comme base pédagogique dans la séquence 3, parce que c'est elle, notamment, qui permet la réglementation en matière d'émission de polluants et la distinction des sources de pollution. Cependant, comme toute loi, elle reste arbitraire et mérite d'être discutée avec les élèves pour en déceler les limites.

Définition légale de la pollution

Article 2 de la « loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie », dite « loi Lepage » du 30 décembre 1996 :
« Constitue une pollution atmosphérique, l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives. »

Quelques remarques sur la définition :

- La pollution atmosphérique résulte d'une « introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances » ; les causes d'origine naturelle en sont donc exclues, par exemple, les émissions volcaniques.
- La définition englobe la pollution dite « intérieure », puisqu'elle prend en considération « les espaces clos ». Une salle de classe est un espace clos dans lequel l'air est peu brassé. La pollution s'y accumule ; il est important de renouveler l'air en ouvrant les fenêtres durant les récréations, d'autant plus que les élèves et l'enseignant y sont exposés jusqu'à 8 heures dans une journée !
- Les effets cités par la définition ne concernent pas uniquement l'homme, mais également « les ressources biologiques », « les écosystèmes », « les changements climatiques » et « les biens matériels » (bâtiments historiques par exemple).
- Contrairement aux nuisances olfactives, les nuisances sonores et lumineuses sont absentes de la définition. Bien qu'étant propagées par l'air, les ondes ne sont en effet pas des « substances ».

Quelques mots sur la pollution intérieure

La pollution intérieure de l'air ne doit pas être négligée car, pour la plupart d'entre nous, c'est celle à laquelle nous sommes le plus longtemps exposés dans une journée... Du fait d'un « espace clos », pour reprendre les termes de la définition légale, l'air est peu brassé. Il en résulte d'une part, une humidité croissante propice au développement des bactéries et des moisissures, d'autre part, une accumulation de polluants divers.

Les sources de pollution intérieure émettent des polluants variés : matériaux de construction ou d'isolation (amiante, fibres de verre, ...), revêtements (colles, vernis,...), appareils de chauffage et climatisations mal entretenus (particules, ...), animaux (poils, squames,...), poussières dans les moquettes ou tapis (acariens), activités de ménage (produits en bombe aérosol, solvants, ...), bricolage, cuisine, et surtout fumées de tabac. Les hommes constituent aussi une source de pollution en raison du dioxyde de carbone qu'ils expirent, des microbes qu'ils véhiculent, des squames qu'ils déposent, ..., surtout s'ils sont trop nombreux dans un volume donné.

Les substances polluantes et les sources de pollution (séquences 3 et 4)

Les substances polluantes et les sources de pollution

La définition légale de la pollution de l'air permet de qualifier les substances polluantes : ce sont celles qui ont « des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives ».

Les substances polluantes, également appelées « polluants » sont issues de « sources de pollution ». Par abus de langage, les sources de pollution sont souvent assimilées aux polluants qu'elles émettent. D'ailleurs, lorsqu'on demande aux enfants ce qui pollue l'air, ils répondent, par exemple, une voiture. Or, ce n'est pas une voiture qui pollue l'air, mais une partie de ses produits d'échappements. Il convient de prêter attention à cette confusion, car en matière de prévention, la nuance est nécessaire. En effet, si l'on considère la voiture comme polluant, il faut tendre à la faire disparaître, ce qui semble inconcevable de nos jours. Alors que si l'on considère ses produits d'échappements, on peut imaginer des solutions pour les améliorer, les réduire, voire les supprimer.

À l'exclusion des sources naturelles qui ne sont pas prises en compte par la définition légale (volcans, rayonnement solaire, organismes vivants, ...), les sources de pollution sont essentiellement concentrées dans les zones urbanisées et industrialisées. Elles peuvent être classées en deux catégories : les « sources fixes » et les « sources mobiles ». L'activité agricole constitue également une source de pollution, mais aux émissions moindres.

Les sources fixes sont les unités thermiques de chauffage individuel ou collectif, les centrales électriques au charbon ou au fuel, les usines d'incinération de déchets et toutes les installations industrielles (usines en tout genre).

Les polluants qu'elles émettent, sont principalement les composés résultant des combustions des combustibles utilisés pour les activités thermiques et industrielles (type fuel, charbon, bois, carburants, etc.) : dioxyde de soufre (SO_2), particules solides (poussières, suies, cendres volantes), oxydes d'azote (NO et NO_2 dits NO_x), oxydes de carbone (CO et CO_2), acide chlorhydrique (HCl),... D'autres polluants sont issus d'activités spécifiques : solvants pour les imprimeries ou les teintureries, fluor pour l'industrie de l'aluminium, particules métalliques pour la sidérurgie et la métallurgie, composés organiques pour l'industrie chimique, ...

Les sources mobiles sont tous les modes de transport motorisés qu'ils soient automobiles, ferroviaires, maritimes ou aériens.

Les polluants qu'elles émettent, résultent des combustions incomplètes des combustibles utilisés dans les moteurs thermiques : oxydes de carbone (CO et CO_2), oxydes d'azote (NO_x), particules solides, hydrocarbures imbrûlés et les composés organiques volatils.

Notons que certains polluants précités peuvent subir des transformations chimiques spontanées dans l'atmosphère par action du rayonnement solaire et produire des polluants dits « secondaires ». Ainsi, de l'ozone est formée à partir de la transformation des oxydes d'azote. Contrairement à son rôle bienfaiteur dans la couche stratosphérique du même nom, elle constitue un polluant dangereux dans la troposphère. D'ailleurs, comme tous les polluants, son taux est surveillé de près pour éviter le dépassement d'une valeur-limite définie par des normes européennes et françaises.



Remarque

Les polluants émis sont, d'une part, très nombreux, d'autre part, très différents. L'étude quantitative de tous donnerait un reflet idéal de la pollution de l'air, mais elle est impossible. Les scientifiques ont donc choisi des « polluants-tests », également appelés « indicateurs », dont la mesure permet une quantification approchée. Ainsi, les jours de pics de pollution en zone industrielle, on entendra parler principalement du dioxyde de soufre, car il constitue un des indicateurs des sources fixes. On supposera alors que d'autres polluants ont très certainement été émis en parallèle, mais leurs quantités respectives ne seront pas mesurées.

La pollution atmosphérique, situations et prévention (séquence 4)

Situations météorologiques et pollution atmosphérique

Les conditions météorologiques jouent un rôle essentiel dans la pollution atmosphérique. Elles ne sont pas l'origine d'une pollution, mais peuvent l'aggraver comme la réduire.

En effet, les polluants sont émis quelle que soit la situation météorologique. Par contre, ils peuvent se concentrer ou se disperser en fonction de cette situation. À émission identique, les conséquences engendrées seront donc très variables.

Ainsi, le mauvais temps peut permettre la dispersion des polluants dans l'atmosphère grâce aux vents forts et leur solubilisation ou leur lavage avec les précipitations. À l'inverse, le beau temps favorise plutôt leur concentration voire la production de polluants secondaires du fait de l'ensoleillement, la chaleur, l'absence de nuages, la faiblesse des vents, ...

Le phénomène d'inversion de température

Dans certaines situations, le gradient naturel de température de l'air troposphérique est inversé : sur une certaine hauteur, l'air est de plus en plus chaud à mesure que l'on s'éloigne du sol. Ce peut être le cas après une nuit calme sans nuages lorsque la chaleur emmagasinée par la Terre le jour précédent s'est rapidement dispersée en altitude, ou bien, lorsqu'il se produit un rapide refroidissement du sol.

De l'air froid se trouve alors piégé sous un véritable couvercle d'air chaud. Ce phénomène est appelé « inversion de température ». Il se produit le matin et prend fin dès lors que le soleil a suffisamment chauffé le sol pour qu'à son tour, celui-ci réchauffe l'air environnant et induise à nouveau un brassage d'air. Il s'observe sur une hauteur réduite de quelques centaines de mètres.

En montagne, il se repère facilement par des mers de nuages coincées dans les vallées. Le phénomène peut cependant se produire dans n'importe quelle région.

L'inversion de température et la pollution atmosphérique

Lors d'une inversion de température, les polluants émis à la surface du sol restent bloqués dans l'air froid piégé sous l'air chaud. L'absence de brassage d'air ne permet pas leur dispersion verticale, et donc leur dilution dans l'atmosphère. En cas d'émission prolongée, les polluants se concentrent jusqu'à parfois dépasser les seuils de risque définis pour préserver la santé humaine. Des mesures sont alors adoptées pour limiter les émissions et ainsi protéger les citoyens exposés.

L'inversion de température, phénomène naturel, est ainsi souvent à l'origine des pics de pollution constatés dans les lieux à forte émission de polluants comme les grosses agglomérations ou les zones industrielles. Elle n'est en rien responsable de la pollution, mais représente une situation qui l'aggrave.

L'automobile, source de pollution

L'automobile a été choisie dans la séquence 4 comme sujet de réflexion autour de la pollution atmosphérique pour les raisons suivantes :

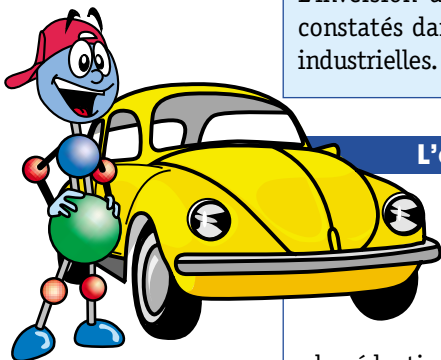
- elle est connue des élèves, elle touche le quotidien de la plupart ;
- elle représente une des premières sources de pollution en France en termes de quantité de polluants émis ;

- la réduction de ses émissions et donc de ses conséquences dépendra en partie, de l'attitude et des comportements des citoyens d'aujourd'hui et de demain, soit des élèves actuels.

Une automobile avance grâce à un carburant : essence, gazole, aquazole, GPL, ... Sa force motrice est obtenue par récupération de l'énergie produite lors de la combustion d'un carburant. Un carburant est une substance gazeuse, liquide ou solide qui a la propriété de se combiner avec un comburant en dégageant de la chaleur. Le moteur est le lieu de cette combinaison appelée combustion. Le carburant y réagit avec le dioxygène de l'air (comburant) et produit de l'énergie sous forme de chaleur. Cette énergie permet l'entraînement des roues et ainsi le déplacement de l'automobile.

Les produits de la réaction sont dégagés dans l'air par le pot d'échappement. Malheureusement, la combustion est incomplète et des substances polluantes sont libérées.

Bien évidemment, plus la voiture avance vite ou plus elle est lourde, plus son déplacement nécessite de l'énergie. Elle consomme alors plus de carburant et émet une quantité plus importante de polluants.



Les polluants de l'automobile

Les polluants des produits d'échappement des automobiles dépendent des carburants utilisés dont la majorité sont issus du pétrole raffiné.

- L'essence, mélange d'hydrocarbures d'origine minérale et de synthèse, émet par combustion des oxydes de carbone (CO et CO₂), des hydrocarbures, des oxydes d'azotes (NO_x). Le plomb, longtemps utilisé comme additif, y a été pratiquement supprimé.
- Le gazole, carburant du moteur Diesel, est un mélange d'hydrocarbures. En plus des mêmes polluants que ceux de l'essence bien qu'en moindre quantité, sa combustion émet du dioxyde de soufre (SO₂) et des particules de suie dont les effets sont très largement impliqués dans les maladies respiratoires et cardiaques, voire dans les cancers.
- L'aquazole est un mélange de gazole (80 à 90 %) et d'eau. Il réduit fortement les émissions de polluants par rapport à la combustion du gazole. Malheureusement, le mélange est instable. Son stockage d'une durée réduite le destine uniquement à des transports spécifiques pour lesquels les consommations peuvent être programmées (transport collectif par exemple).
- Le GPL ou gaz pétrole liquéfié est le carburant le moins polluant ; en particulier, il n'émet pas de particules. Il est composé de 50 % de propane et de 50 % de butane.
- Les carburants « verts » sont issus de la biomasse : forêt, déchets agricoles par exemple. Ils sont encore en cours de recherche pour en améliorer les performances et en mesurer l'impact de leur utilisation.



Comment réduire la pollution de l'air liée à la circulation automobile : quelques pistes de réflexion...

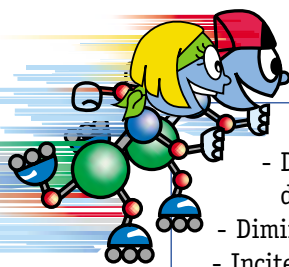
La réduction de la pollution de l'air liée au trafic automobile dépend d'une part, d'une prise de conscience générale de l'importance des conséquences engendrées, d'autre part, d'une volonté collective d'y contribuer. Les moyens à mettre en œuvre sont divers et nécessitent d'être menés conjointement ; ils concernent aussi bien les responsables politiques, les chercheurs, les industriels, que les utilisateurs de véhicule. Les actions proposées dans les paragraphes suivants sont organisées selon la démarche de la séquence 4. Elles relèvent des progrès technique et scientifique comme de la prévention à pratiquer par chaque citoyen. Elles sont parfois volontairement redondantes pour insister sur leurs interconnexions et mettre en évidence auprès des élèves, la nécessité d'une approche globale du problème. Elles ne prétendent pas être exhaustives et l'imagination des élèves saura certainement les compléter !

Changer les comportements de conduite

- Utiliser son véhicule à moteur à bon escient, sinon prendre les transports en commun (train, métro, bus, tramway,...) ou son vélo, sa trottinette, ses rollers, ses pieds !
- Accepter ou proposer du co-voiturage.
- Adopter une conduite souple, sans accélération abusive, sans excès de vitesse.
- Couper le moteur du véhicule dès que possible ; même pour un arrêt très court !
- Suivre les consignes des mesures adoptées lors des dépassements des seuils de pollution (éviter de prendre sa voiture, rouler moins vite, etc.)
- Éviter les stationnements en double file qui perturbent le trafic et augmentent les émissions de polluants des autres véhicules.
- Modérer l'usage de la climatisation qui consomme du carburant.

Réduire les quantités de produits d'échappements

- Utiliser des moteurs qui consomment moins de carburant.
- Améliorer les carburants pour permettre des combustions plus complètes.
- Modérer l'usage de la climatisation, améliorer ses performances.
- Développer les véhicules électriques.
- Modifier les voitures pour réduire leur consommation : alléger les matériaux de construction, optimiser leur aérodynamisme.
- Faciliter le trafic : réduire les lieux d'engorgements (voie rapide, autopont), aménager la voirie pour éviter le stationnement en double file, faciliter les livraisons, ...
- Lutter contre les comportements de conduite abusifs (vitesse et accélération excessives, stationnements sauvages, ...).



Limiter la circulation automobile

- Développer les transports en commun : améliorer les transports existants (vitesse, confort, voie de circulation distincte, tarifs), favoriser les transports ferroviaires, réhabiliter les tramways, ...
- Diminuer le trafic routier au profit du ferroviaire et du fluvial.
- Inciter au co-voiturage.
- Favoriser le stationnement résidentiel.
- Privilégier les déplacements non motorisés (pistes cyclables).
- Créer des zones piétonnières.

Modifier les voitures

- Employer des matériaux plus légers pour la construction des véhicules.
- Optimiser l'aérodynamisme des voitures.
- Améliorer les moteurs : réduire leur consommation en carburant, développer les moteurs hybrides (essence sur route, électrique en ville).
- Améliorer les systèmes d'échappement : utiliser des pots catalytiques qui permettent la dépollution des gaz d'échappement (par exemple, élimination de l'oxyde de carbone, des hydrocarbures et de l'oxyde d'azote sur les voitures à essence neuves depuis 1993), utiliser des filtres à particules notamment pour les moteurs Diesel, ...
- Améliorer et promouvoir les performances et le confort d'utilisation des véhicules à carburant vert (augmenter le nombre de stations GPL par exemple) et électriques.

Notons que, la chimie joue un rôle essentiel dans les actions relatives au progrès technique et scientifique. Sa recherche et son industrie contribuent à l'amélioration des carburants, des moteurs et des systèmes d'échappement, à l'allègement des matériaux employés dans la construction des véhicules, au développement de nouvelles sources d'énergie motrice.

Quelques ouvrages...



- FORBES S., *Le temps, climats et météo*, Larousse, « Larousse.explore », Paris, 2002.
 - BERTRAND I., *Jeux d'air*, Nathan, « Prêt. Jeux. Partez ! », Paris, 2002.
 - MICHEL F., *L'écologie à petits pas*, Actes Sud Junior, « À petits pas », Arles, 2000.
 - ASSOCIATION GRAINE DE CHIMISTE et al, *L'air au quotidien*, Odile Jacob, « Les amateurs de sciences », Paris, 2003.
 - FONTAN J., *Les pollutions de l'air, les connaître pour les combattre*, Vuibert, Paris, 2003.
 - GARREC J.-P, MONCHICOURT M.-O., *Sur un air de pollution*, Platypus Press, « Les enquêtes de Marie-Odile Monchicourt », Neuilly-sur-Seine, 2002.
-
- Site Internet de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) : « www.ademe.fr »