



Précisions scientifiques

L'air est un mélange

Il comporte deux constituants principaux : 78 % d'azote (appelé diazote au collège et au lycée pour des raisons pédagogiques) et 21 % d'oxygène (appelé dioxygène). Il reste 1 % constitué d'un mélange de gaz (néon, argon...) parmi lesquels le gaz carbonique, ou dioxyde de carbone. Le pourcentage de ce dernier est très faible (0,037 %), mais suffisant pour entraîner d'importantes conséquences sur la nutrition des végétaux chlorophylliens et sur l'effet de serre, que nous détaillerons plus loin dans ce chapitre.

L'air contient aussi de la vapeur d'eau

Il y a toujours de la vapeur d'eau dans l'air. Mais sa quantité varie énormément, à tel point qu'il n'est pas possible de la préciser dans la composition de l'air.

Les météorologues utilisent couramment le degré hygrométrique (encore appelé taux d'humidité relative) : rapport entre la masse de vapeur d'eau présente dans un certain volume d'air et celle qu'il pourrait y avoir au maximum dans ce même volume (qui correspond à la saturation). Par exemple, dire qu'il y a 65 % d'humidité relative signifie que la quantité de vapeur d'eau est égale à 65 % de sa valeur à saturation.

L'air est pesant

À la température de 20 °C, et lorsqu'il n'est pas comprimé, sa masse volumique est de l'ordre de 1,3 g/L. C'est peu, mais suffisant pour qu'il soit possible de le mettre en évidence en réalisant l'expérience présentée dans le manuel (→ enquête 19, document 2, p. 56).

Conseil expérimental

Il est important de procéder avec un ballon à enveloppe rigide, quasiment indéformable. La même expérience, réalisée avec un ballon de baudruche, est fautive dans son principe et donne des résultats aléatoires. En effet, un ballon de baudruche gonflé est plus lourd que non gonflé. Mais il est aussi plus volumineux, donc il subit la poussée de l'air (il a tendance à « flotter » sur l'air).

Il est nécessaire d'opérer en utilisant un unique ballon : bien gonflé, puis mal gonflé. En comparant deux ballons différents, fussent-ils du même modèle, la masse de l'enveloppe peut ne pas être identique et fausser l'expérience.

Les pollutions de l'air

Qu'est-ce qu'un air pollué ?

Un air est pollué lorsqu'il contient des substances qui peuvent nuire à la santé et à l'environnement. Les polluants que l'on retrouve dans l'air proviennent principalement des activités humaines.

Polluants	Sources	Effets sur la santé
Dioxyde de soufre	Combustion de matière fossile : chauffage, centrales thermiques...	Irritation de la peau et des voies aériennes supérieures (sinusite, asthme).
Oxydes d'azote	Combustion : transports, industries, agriculture...	Irritation des bronches. Aggrave la fréquence et la sévérité des crises d'asthme.
Monoxyde de carbone	Transport, mauvaise combustion des appareils de chauffage.	Maux de tête, difficulté de concentration. Toxicité cardiovasculaire (hypertension, infarctus).
Particules fines	Véhicules diesel, incinération des déchets...	Irritation des voies respiratoires inférieures. Effets cancérigènes.
Composés organiques volatils (COV)	Pétrochimie, solvants, transports...	Irritation respiratoire. Effets cancérigènes.
Métaux toxiques (plomb, mercure...)	Incinération, sidérurgie...	Accumulation dans l'organisme et effet toxique (système nerveux, fonctions rénales, hépatiques, respiratoires)
Ozone troposphérique ¹ (entre 0 et 10 km d'altitude)	Provient de la réaction chimique dans l'air entre les oxydes d'azote, les composés organiques volatils et le rayonnement solaire	Irritation des muqueuses (larynx, bronches). Irritation oculaire.

On peut trouver un air pollué dans l'environnement extérieur, mais aussi dans les habitations, principalement par les COV après utilisation de peintures, colles, solvants...

La quantité d'air que nous respirons

À chaque cycle respiratoire (une inspiration et une expiration), un certain volume d'air pénètre dans nos poumons (le volume respiratoire courant, un peu inférieur à 0,5 L en moyenne chez l'enfant → guide du maître p. 7 pour le mesurer). En multipliant ce volume par la fréquence respiratoire (nombre de cycles respiratoires par minute), on obtient le volume d'air transitant par les poumons en 1 minute. Cette mesure permet de calculer que nous inspirons plusieurs milliers de litres d'air en 24 h, ce qui peut sensibiliser les élèves à l'importance de maintenir sa qualité.

Volume d'air inspiré en 1 min = volume respiratoire courant x fréquence respiratoire

La fréquence respiratoire varie en fonction de l'âge...

Âge	Fréquence respiratoire (cycles/min)
< 1 an	30 à 60
enfant	20 à 30
adulte et adolescent	12 à 20

... et du type d'activité

Type d'activité (chez un adulte)	Fréquence respiratoire (cycles/min)
repos	12 à 20
marche	30 à 40
montée d'escaliers	60 à 80
course d'endurance	120 à 200

La qualité de l'air

Il existe dans la plupart des agglomérations, et dans quelques zones rurales, des stations de surveillance de la qualité de l'air. La concentration de différents polluants y est mesurée. Un chiffre indicateur de la qualité de l'air est donné selon les résultats des analyses. Ce chiffre varie entre 1 et 10: 1 indiquant une qualité de l'air excellente et 10 une qualité de l'air exécutable.

La qualité de l'air dépend aussi des conditions météorologiques (vent, pluie, température, pression atmosphérique...). Par exemple, sous l'influence de hautes pressions (anticyclone), d'un vent faible ou nul, les polluants ont tendance à se concentrer au niveau du sol et à engendrer une qualité de l'air médiocre à mauvaise.

1. L'ozone est aussi présent à une altitude comprise entre 20 et 30 km (ozone stratosphérique) où il joue un rôle protecteur contre le rayonnement solaire ultraviolet nocif pour les organismes vivants.

En zone urbaine, les principaux polluants mesurés sont les particules fines, les dioxydes d'azote, le dioxyde de soufre, l'ozone troposphérique.

En zone rurale, le polluant mesuré est principalement l'ozone troposphérique, qu'on peut retrouver dans un rayon de plusieurs kilomètres autour des centres urbains. On retrouve même des quantités d'ozone à des concentrations significatives en haute altitude, comme à l'Aiguille du Midi par exemple (3 842 m), ou dans le parc de la Vanoise.

Les lichens, indicateurs de pollution de l'air

Les lichens sont particulièrement sensibles à la présence, dans l'air, d'oxydes de soufre, d'oxydes d'azote, de fluorures ou de plomb (ce fut aussi le cas des radioéléments rejetés après l'explosion de Tchernobyl en 1986). En effet, selon leur concentration, ces polluants atmosphériques semblent nuire aux lichens, surtout ceux qui présentent de plus grandes surfaces de contact (usnée par exemple). Les lichens n'ayant pas de racines, ils absorbent les sels minéraux et l'eau dont ils ont besoin par cette surface d'échange avec l'atmosphère, ce qui les rend particulièrement sensibles à la pollution.

Il y a une grande diversité de lichens. Les informations données dans le manuel (→ enquête 20, p. 59) sont suffisantes pour mener à bien une première estimation de la qualité de l'air : plus il y a d'espèces variées de lichens dans un milieu donné (et notamment avec des excroissances en forme de feuilles ou de barbes), moins ce milieu est pollué.

L'effet de serre

Explication du phénomène

La planète Terre reçoit de l'énergie sous la forme du rayonnement solaire, essentiellement constitué de lumière visible. Simultanément, elle restitue de l'énergie en direction de l'espace, essentiellement sous forme de rayonnement infrarouge (noté parfois IR) (→ schéma ci-dessous).

L'atmosphère terrestre est largement transparente à la lumière visible mais, à cause de la présence de certains gaz, elle est relativement opaque au rayonnement infrarouge. Ces gaz sont appelés « gaz à effet de serre », et sont parfois notés « GES ». Il s'agit essentiellement de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone (CO₂), encore appelé gaz carbonique, dont la proportion est infime, mais suffisante pour donner lieu à des conséquences importantes.

Conséquences

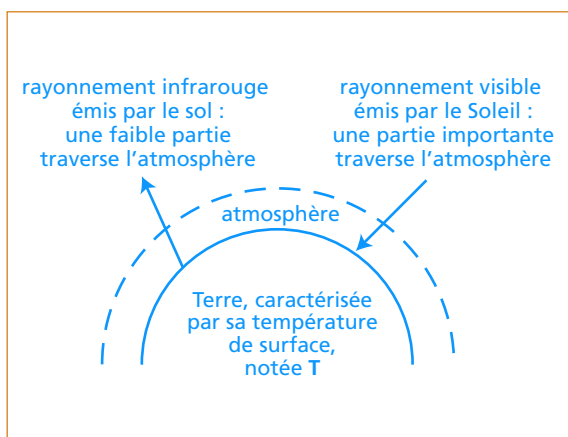
La présence des gaz à effet de serre dans l'atmosphère confère à notre planète une température moyenne plus élevée que s'il n'y en avait pas.

Une augmentation de la concentration des gaz à effet de serre augmente l'opacité de l'atmosphère au rayonnement IR et, ainsi, provoque une augmentation de la température moyenne de la Terre.

Inversement, une diminution de la concentration des gaz à effet de serre diminue cette opacité et provoque une diminution de la température moyenne de la Terre.

Ainsi, sans effet de serre atmosphérique, la température de la Terre serait beaucoup trop basse pour engendrer la vie telle qu'elle s'est développée. La présence de gaz à effet de serre dans l'atmosphère est, de ce point de vue, grandement bénéfique.

Mais, depuis la révolution industrielle, des quantités importantes de dioxyde de carbone ont été rejetées dans l'atmosphère, au-delà de ce que la planète est susceptible de réguler (on est passé d'un taux de 0,028 % en 1840 à 0,039 % maintenant). À cela s'ajoutent de nombreux rejets d'autres



gaz à effet de serre (méthane, dioxyde d'azote). Il semble acquis que cette augmentation des gaz à effet de serre est responsable de ce qu'on appelle le réchauffement climatique global.

Conseils pour organiser son enseignement

La matérialité de l'air

L'une des caractéristiques de la pensée enfantine est ce que les psychologues appellent « primat de la perception ». Cela signifie qu'un enfant éprouve des difficultés à concevoir ce qu'il ne perçoit pas et tout particulièrement ce qu'il ne voit pas. En conséquence, l'air, principalement lorsqu'il est immobile, n'est pas aisément reconnu comme de la matière.

Pourtant, l'air est bien une matière ! Mais que signifient ces mots ? De nombreux enfants sont capables d'affirmer que dans une bouteille « vide » il y a en fait de l'air, que l'air est partout, etc. Toutefois, au-delà des mots, comprendre que l'air est de la matière signifie :

- la pleine conscience que **l'air possède toutes les propriétés générales de la matière** ;
- l'aptitude à **mener des raisonnements engageant ces propriétés** pour expliquer certaines situations.

Quelles sont ces propriétés ?

À l'école, on peut avec profit travailler sur les propriétés suivantes :

- permanence de la matière (non apparition, non disparition) ;
- déplacement (l'air était ici, maintenant il est là) ;
- masse (l'air, comme toute matière, est pesant).

Les deux premières propriétés sont bien sûr liées : tout déplacement d'air se fait sans apparition ni disparition. **L'air, comme toute matière, obéit à une loi de conservation.**

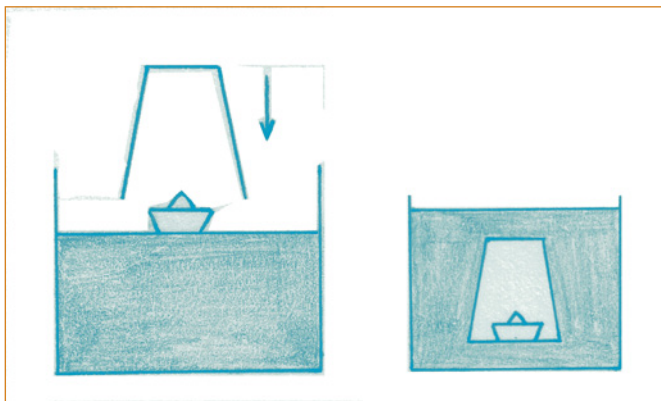
Quels raisonnements attend-on ?

L'objectif est de parvenir à ce que les élèves raisonnent comme ils le feraient avec une autre matière. Par exemple, les enfants maîtrisent parfaitement le raisonnement suivant dès l'école maternelle :

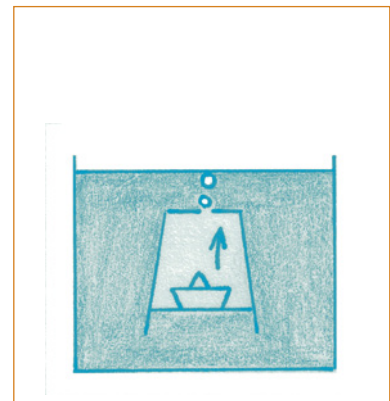
- *Ce récipient est plein de soupe. → Il n'y a plus de place pour ajouter du lait.*
- *Si j'enlève de la soupe... → alors il y aura de la place pour le lait.*

Le raisonnement ci-après est de même structure, pourtant les élèves ne l'acquièrent que plusieurs années après, du fait qu'il s'applique à une matière invisible :

- *Ce gobelet est plein d'air. → Il n'y a plus de place pour l'eau.*
- *Si j'enlève de l'air (par exemple en perçant le gobelet)... → alors il y aura de la place pour l'eau.*



Le gobelet est plein d'air : l'eau ne pénètre pas.

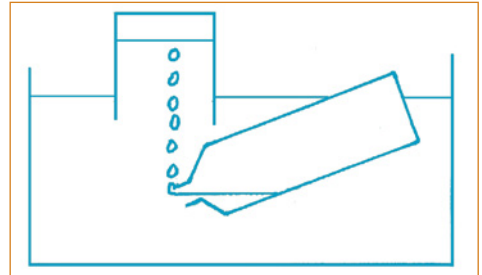
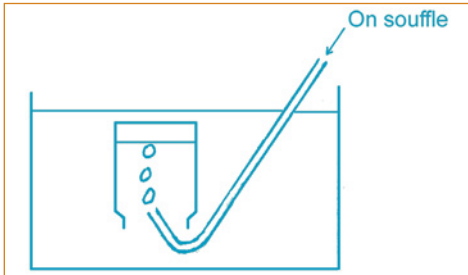


L'air peut s'échapper du gobelet percé ; l'eau pénètre à sa place.

Les situations proposées dans le manuel

Pour aider les élèves à progresser dans la reconnaissance de la matérialité de l'air, nous avons proposé un certain nombre de situations. Nous détaillons ici deux d'entre elles, particulièrement importantes, en indiquant le type de raisonnement qu'il s'agit de faire construire aux élèves.

1. Le paragraphe 1, p. 56, est une situation de **transvasement**. Pour la résoudre, les élèves doivent retourner le pot de façon à placer son ouverture vers le bas, tout en le maintenant dans l'eau. Il faut ensuite faire parvenir de l'air par différentes méthodes : souffler à l'aide d'une paille ou d'un tuyau ; utiliser une bouteille pleine d'air en amenant son goulot sous l'ouverture ; etc.



La formulation attendue des élèves est de l'ordre de la suivante :

- « L'air venant de "tel endroit" (la formulation exacte dépend du dispositif choisi) passe dans le petit pot. »
- « L'air qui entre dans le petit pot prend la place de l'eau qui s'y trouvait. »

On trouve une situation analogue dans l'encyclopédie (→ entrée « Air », p. 182).

2. Il est proposé, dans le paragraphe 2, p. 56, de peser un ballon contenant de l'air dans deux situations : une première fois lorsqu'il n'est pas gonflé au maximum, une seconde fois lorsqu'il est bien gonflé. Puisque l'air possède une masse, c'est donc que le ballon est plus lourd dans la seconde pesée. Notons bien que cette expérience contribue à destabiliser certaines conceptions fréquentes : « l'air c'est léger ; donc plus on ajoute de l'air dans le ballon, plus il devient léger ». À l'inverse, les élèves doivent construire un raisonnement tel que le suivant : « Comme toute matière, l'air est pesant. Plus il y a d'air dans un ballon, plus ce ballon est lourd ».

L'effet de serre

Bien que très complexe, ce phénomène est d'une grande actualité, c'est pourquoi nous avons pris le parti de l'aborder dans l'enquête 21. Pour que celle-ci se déroule dans les meilleures conditions, il est indispensable que les élèves maîtrisent parfaitement la matérialité de l'air. Il est également indispensable qu'ils aient compris que des substances, parfois invisibles, peuvent être mélangées à l'air. C'est le cas de la vapeur d'eau : lorsque de l'eau s'évapore, elle se transforme en vapeur, invisible, qui se mélange à l'air, lui aussi invisible.

Si ces pré-requis sont assurés, alors les élèves pourront comprendre que certains gaz invisibles se mélangent à l'air. Puisque ces gaz sont de la matière, ils ont des propriétés. L'une d'entre elles s'apparente à celle des vitres : la lumière peut les traverser facilement mais la chaleur ne le peut que difficilement. Nous suggérons une analogie avec le principe des serres.





Place dans les programmes

L'air et les pollutions de l'air.

Objectifs

- Cette enquête permet de mettre en lien l'impact des activités humaines sur la qualité de l'air, et donc la santé.
- Avec l'observation de lichens (indicateurs de pollution), on apprend qu'il est possible d'estimer la qualité de l'air dans un lieu donné.

Niveau ciblé

Cette enquête nécessite une bonne maîtrise de la matérialité de l'air, puisqu'il va falloir ici comprendre que l'air, gaz invisible, peut contenir d'autres gaz, eux aussi invisibles. Nous proposons de la traiter en classe de CM2.

Les clés de l'enquête

Dans la recherche du paragraphe 1, la lecture des graphiques va permettre de répondre aux deux premières questions. On demandera aux élèves d'établir un raisonnement pour justifier leurs réponses. Il est toujours préférable, pour l'implication du plus grand nombre d'élèves, de commencer par un temps de réflexion individuelle, puis de poursuivre par un échange collectif. Les raisonnements attendus sont les suivants :

- les nombres sur les axes verticaux des graphiques correspondent aux concentrations en particules fines. Les valeurs sont plus grandes sur le graphique 2 que sur le graphique 1 : il y a plus de particules fines, donc de circulation, dans le lieu qui correspond au graphique 2, et moins de circulation dans le lieu qui correspond au graphique 1. Le graphique 2 correspond aux mesures faites en ville (Lyon Est) et le graphique 1 aux mesures faites dans le village de campagne (Les Ancizes, dans le Massif central),
- les nombres sur les axes horizontaux correspondent aux heures d'une journée. Dans les deux graphiques, les pics de particules se situent aux mêmes heures. Ils sont dus à la circulation routière, qui est la plus dense en début de matinée et en fin d'après-midi.

Avec la dernière question, on amène les élèves à faire le lien entre les conditions météorologiques et la qualité de l'air. La pluie amène les polluants au sol ; le vent les disperse. Dans les deux cas, la concentration des polluants dans l'air diminue.

Les recherches des paragraphes 2 et 3 nécessitent la lecture des documents (photos, tableau) et l'observation de l'environnement pour la question 3. Pour les mêmes raisons que précédemment, nous conseillons de demander aux élèves de travailler individuellement ou par deux puis, dans un second temps, d'échanger collectivement.

Au cours de la synthèse, l'enseignant établira un lien explicite entre la qualité de l'air et le bon fonctionnement de la respiration.

Pour prolonger...

S'informer sur la qualité de l'air de notre localité ou département

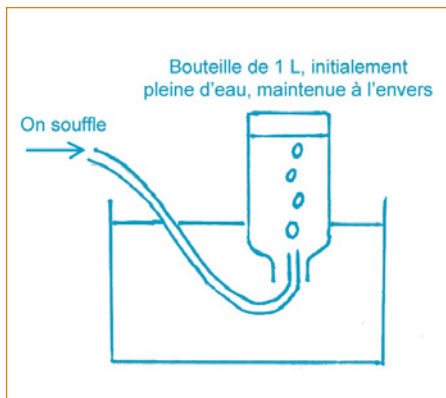
Chaque département possède un ou plusieurs sites d'analyse de la qualité de l'air accessibles sur internet. À l'aide d'un moteur de recherche, on inscrit **qualité de l'air + le nom de la préfecture du département** et on est orienté sur le site correspondant au département choisi ou à la région.

Le site www.atmofrance.org donne aussi des informations intéressantes.

On peut également noter chaque jour l'indice de qualité de l'air d'une ville ou d'une région sur une période de quelques semaines, afin d'observer la variation de la qualité de l'air en fonction des conditions météorologiques.

Mesurer le volume d'air respiré

Il est intéressant de faire mesurer aux élèves le volume d'air qu'ils rejettent en une expiration normale (c'est-à-dire lorsqu'ils sont au repos et qu'ils ne forcent pas leur respiration). Le dispositif suivant peut être utilisé ou imaginé par les élèves selon leur âge. Un élève souffle dans le tuyau (une expiration normale) ce qui chasse l'eau de la bouteille dont le volume est connu. On retourne alors la bouteille, on mesure le volume d'eau qui reste et on obtient le volume expiré par soustraction.



Il est facile également de faire mesurer aux élèves leur rythme respiratoire dans différentes circonstances (au repos, après une activité physique). Les résultats seront mis en perspective avec les tableaux du paragraphe « La quantité d'air que nous respirons » (→ Guide du maître p. 97).

À partir des valeurs mesurées, ou de celles qui figurent dans le tableau, on peut alors faire calculer aux élèves le volume d'air qu'ils inspirent, selon le type d'activité pratiquée, en 30 minutes, en 1 heure mais aussi en 24 heures, pour mettre le résultat en perspective avec le nombre indiqué par la fourmi, page 58.

En lien avec la qualité de l'air, on pourra demander aux élèves où il vaut mieux pratiquer une activité physique (une course d'endurance par exemple) : à la campagne, ou sur un trottoir en centre-ville ?



Place dans les programmes

L'air et les pollutions de l'air.

Niveau ciblé

Cette enquête, tout comme la précédente, nécessite de s'intéresser à des gaz invisibles qui sont mélangés à l'air également invisible. Cette difficulté justifie que nous la proposons à une classe de CM2.

Objectifs

- Savoir qu'il existe un effet de serre naturel indispensable à la vie, et comprendre dans les grandes lignes comment il s'est constitué.
- Savoir également qu'à cause des activités humaines, l'effet de serre augmente depuis environ 150 ans.

Les clés de l'enquête

Ce sont les deux graphiques du paragraphe 2 qui permettent de faire le lien entre l'augmentation de la température à la surface de la Terre et les activités humaines (industries, transports...) productrices de gaz à effet de serre (ici, le gaz carbonique).

En rapprochant les deux graphiques, on voit nettement les deux courbes augmenter à partir de la fin du XIX^e siècle, qui correspond à la révolution industrielle.

La mise en ordre des étiquettes permet de structurer le phénomène.

En ce qui concerne les conséquences de l'augmentation de l'effet de serre, les élèves peuvent émettre des hypothèses (impact sur le vivant, sur le climat...), puis les vérifier dans des documents ou sur Internet.

Le calcul du dernier paragraphe est important pour développer le sens critique des élèves. De nombreuses publicités veulent en effet nous faire croire que telle automobile, de telle ou telle marque, protège l'environnement en n'émettant qu'une faible quantité de gaz carbonique dans l'air. Nous suggérons de recueillir les avis des élèves sur cette question : existe-t-il, actuellement, des véhicules propres ? Il est facile d'obtenir des données sur la quantité de gaz carbonique qu'ils émettent. Même si des progrès sont réalisés régulièrement, elle est au minimum de 100 à 120 g de gaz carbonique par kilomètre. On fera faire le calcul aux élèves, ce qui, au passage, permettra une application de la multiplication et du changement d'unité. Le résultat (largement plus de 10 tonnes pendant la durée de vie d'une voiture) ne manquera pas d'étonner les élèves.

Pour prolonger...

Quelles solutions possibles ?

Retrouvez la suite de cette enquête dans le *Guide du maître Sciences cycle 3* (parution avril 2010).