

La photosynthèse

Cycles 3 et 4

Une séquence du projet *L'Europe des découvertes*

Résumé

Le principe complet de la photosynthèse est assez complexe, mais il est possible d'en aborder simplement certains aspects avec les élèves, notamment à l'aide de petites expériences, par exemple en mettant en évidence le rejet d'oxygène par les plantes. L'objectif de cette séquence est de faire découvrir aux élèves un principe dont la compréhension sera par la suite enrichie au fil de la scolarité, pour élaborer le concept de photosynthèse.

Priestley, le phlogistique et la photosynthèse

John Herrick

Traduction par Evelyne Bouquet

Quand une foule d'ivrognes prit sa maison d'assaut et la brûla du sol jusqu'au plafond avec sa bibliothèque et son laboratoire, Joseph Priestley jugea que ce serait sans doute une bonne idée que de quitter la ville. Ce pasteur anglais avait suscité l'ire de ses voisins par ses écrits religieux et son soutien à la Révolution française. Il était non conformiste, n'appartenait pas à l'Église anglicane officielle – il était ce qu'on appelait un « dissident » – mais était pasteur de l'Église unitarienne, religion à peine tolérée en Angleterre. Auparavant, il avait écrit deux livres provocateurs : une Histoire des corruptions du christianisme, publiée en 1782 et brûlée publiquement en 1785, et une Histoire des premières opinions concernant Jésus-Christ. Ces livres attaquaient le dogme religieux de la Sainte Trinité et tentaient de démontrer que la doctrine de la Trinité n'avait pas de base légitime dans les Écritures. Par conséquent, Priestley était considéré par ses compatriotes comme un hérétique et une sorte de hors-la-loi, car les dissidents étaient privés de leurs droits civiques depuis une série de lois votées à la fin du xvii^e siècle.

Cependant, Priestley ne resta pas longtemps sans patrie. En 1792, il devint citoyen honoraire de la République française, ou, selon le mot du parlementaire britannique Edmund Burke, de la « République des voleurs et des assassins ». Après avoir été attaqué comme hérétique et hors-la-loi, Priestley risquait désormais d'être stigmatisé comme traître. En 1794, avec sa femme, il suivit tranquillement ses fils en Amérique et s'installa en Pennsylvanie.

Priestley n'était pas que pasteur, il était aussi une sorte de touche-à-tout scientifique. Il était tout à fait pris au sérieux : l'époque dans laquelle il vivait tolérait les dilettantes sans formation scientifique académique. S'il avait vécu aujourd'hui, il aurait vraisemblablement été rejeté sur l'accusation d'être un scientifique en chambre, un amateur finançant ses recherches grâce aux généreuses contributions de ses amis. L'un de ces amis était Josiah Wedgwood, le fameux potier et porcelainier, dont le petit-fils sera Charles Darwin.

Un exemple des « bricolages » de Priestley est sa découverte de l'eau gazeuse, qui le rendit célèbre pour des raisons évidentes. D'une part, elle expliquait la mystérieuse effervescence de l'eau minérale trouvée dans certaines sources thermales médicales. D'autre part, elle entraîna le développement de toute une industrie qui vaut aujourd'hui des milliards, l'industrie du cola et du soda, fer de lance de la mondialisation actuelle... Malgré le goût plaisant et le potentiel économique manifeste de son invention, Priestley ne semble pas avoir essayé de la breveter. Le premier brevet américain ne fut déposé qu'en 1810 – six ans après sa mort.

Quand Priestley tourna son dilettantisme vers la chimie, ses découvertes furent impressionnantes. Elles unifièrent en pratique la chimie et la biologie. On peut soutenir qu'elles ont fondé la chimie et la biologie modernes, et même la biochimie actuelle. Cependant, pour cruciales qu'aient été ses découvertes, bien d'autres savants jouèrent un rôle essentiel. Le principal de ses collègues et concurrents était le savant français Antoine Laurent de Lavoisier. Priestley et Lavoisier se trouvèrent au cœur d'un célèbre débat scientifique qui se termina par le triomphe de Lavoisier et lui gagna le titre de « père de la chimie moderne ». La controverse concernait le phlogistique.

Le phlogistique

Les anciens Grecs, et Aristote en particulier, ne reconnaissaient que quatre éléments : le Feu, l'Air, l'Eau et la Terre. Pendant deux millénaires, on continua à ne reconnaître que ces quatre éléments, en grande partie à cause de l'immense autorité intellectuelle dont bénéficia Aristote durant toute cette période. Quand ces idées commencèrent à être remises en question, au début du xv^e siècle, il fallut forger de nouveaux concepts pour résoudre les incohérences de la théorie grecque. Selon cette dernière, par exemple, toute substance mélangée avec de l'air devait se convertir en feu quand on la chauffait. Cela était clairement faux : certaines substances brûlent, d'autres non. Quelle différence y a-t-il entre elles ?

Cette différence était attribuée au « phlogistique », une substance que seuls étaient censés contenir les matériaux inflammables. Les flammes étaient considérées comme les preuves visuelles de l'existence du phlogistique s'échappant de la substance qui brûlait. Le phlogistique (le mot vient du grec et signifie « enflammer ») expliquait élégamment la combustion, ou l'interaction d'une substance chauffée avec l'air.

Les doutes grandissants sur la théorie grecque vinrent initialement de simples expériences de bougies brûlant sous des cloches de verre étanches. Sous ces cloches, la flamme s'éteignait rapidement. Des souris y mouraient vite. Dans chaque cas, quelque chose « arrivait » à l'air, mais quoi ? La théorie du phlogistique avançait que l'air était petit à petit saturé par le phlogistique qui s'échappait de la bougie allumée. Une fois l'air saturé, le phlogistique restant dans la bougie ne pouvait plus s'en échapper et la flamme s'éteignait. De même, les souris mouraient parce que l'air avait été « blessé » ou « dépravé » par le phlogistique s'échappant de leurs poumons. L'air « blessé » était lui aussi saturé de phlogistique et ne pouvait plus absorber celui que la respiration émettait. Ces expériences furent les premières jamais réalisées indiquant que la combustion et la respiration recouvraient le même processus chimique.

Priestley voulut les répéter dans des conditions différentes. Au lieu d'une bougie, il chauffa du mercure pour former une sorte de rouille (l'oxyde de mercure). Quand il brûlait cette rouille, elle redevenait mercure en libérant un gaz. Il testa

alors l'air présent dans la cloche scellée en y introduisant des braises. Au lieu de s'éteindre, comme il s'y attendait, elles se mirent à s'enflammer vivement. Il introduisit ensuite une souris : au lieu de mourir, elle devint hyperactive. En brûlant de la rouille sous la cloche plutôt qu'une bougie, Priestley avait obtenu le résultat exactement opposé à ce qu'il attendait, donc en totale contradiction avec sa théorie. Sans bien s'en rendre compte, il venait de découvrir l'oxygène : ce gaz qui apparaissait quand la rouille redevenait mercure. Ce gaz était visible quand il se condensait sur la paroi

Priestley expliqua ces observations dans le cadre du phlogistique, bien que, rappelons-le, elles fussent en contradiction avec cette théorie. Son explication mettait en effet en évidence une faille sérieuse dans la théorie du phlogistique : cette substance devait avoir une masse négative. Pourquoi ? On savait que la plupart des métaux prenaient du poids quand on les chauffait : si la masse du métal augmentait quand du phlogistique s'en échappait, ce dernier devait nécessairement avoir une masse négative. Des hommes comme Lavoisier trouvèrent cela absurde : pareille substance violait complètement la loi de la gravitation établie par Newton, selon laquelle toute substance a une masse et peut être pesée. Si le phlogistique existait vraiment, il devait avoir une masse positive.

Bien qu'il fût parfaitement conscient de cette incohérence, Priestley décida de l'ignorer, pour une raison qui lui est propre. Il resta convaincu jusqu'à sa mort que le phlogistique existait réellement. En adhérant à cette théorie, en expliquant un résultat à partir d'une hypothèse plutôt qu'à partir de faits indiscutables, Priestley fut conduit à introduire l'idée d'air « déphlogistiqué ». Il conclut qu'il existait deux formes différentes du même air : l'air « phlogistiqué », qui empêche la combustion, et l'air « déphlogistiqué », qui la stimule.

Après avoir répété l'expérience de Priestley, Lavoisier proposa une explication différente. Il suggéra que la combustion, au lieu d'être une libération de phlogistique dans l'air, était une réaction entre les composants de l'air et le métal. Il identifia le composant qui réagissait au cours d'une combustion et le baptisa « oxygène ». En ce cas, le mercure se combinait à l'oxygène pour former une nouvelle substance, l'oxyde de mercure. En le chauffant à haute température, cet oxyde de mercure se décomposait en mercure et en oxygène. Lavoisier démontra sa nouvelle théorie de la combustion en pesant soigneusement les différentes substances employées dans les expériences, avant et après avoir été chauffées. L'outil dont Lavoisier avait besoin était évidemment une balance d'une très grande précision, qu'il acheta chez un bijoutier de Paris. Cet outil allait bouleverser la chimie.

Avec sa balance, Lavoisier montra que la masse des substances consommées et produites durant une combustion restait invariable. Il avait découvert la loi de la conservation de la masse : la matière ne peut ni être créée ni être détruite, mais peut seulement être transformée. Grâce à cette approche, ses collègues et lui identifièrent de plus en plus d'éléments et la nomenclature qu'il introduisit jeta les fondations du tableau périodique des éléments.

La photosynthèse

Raisonnant toujours en termes d'air « phlogistique » et « déphlogistique », Priestley fut frappé par quelque chose d'étrange. Pourquoi l'atmosphère terrestre n'était-elle pas saturée de phlogistique ? C'était paradoxal. Le raisonnement de Priestley était le suivant : « La nature doit disposer d'une provision qui rende l'air à nouveau favorable à la respiration, car sinon la masse entière de l'atmosphère deviendrait au fil du temps incapable de soutenir la vie animale. » Il conclut que quelque chose devait rendre à l'atmosphère terrestre ce que la combustion et la respiration lui avaient enlevé depuis le commencement des temps. Mais de quoi s'agissait-il ?

On savait à l'époque que les plantes avaient elles aussi besoin d'air pour pousser et vivre. Par conséquent, Priestley voulut très logiquement répéter l'expérience de la bougie mais dans des conditions à nouveau différentes. Il voulut cette fois savoir ce qui arrivait au phlogistique en présence de matières végétales, de plantes, car il les soupçonnait de restituer à l'air ce que les animaux qui respiraient et les bougies qui brûlaient lui ôtaient. Ce n'était qu'une intuition, comme souvent dans les découvertes scientifiques.

Dans son expérience initiale, Priestley introduisit des brins de menthe sous la cloche où une bougie brûlait et s'éteignait (ce qui semblait confirmer sa théorie). Mais, vingt-sept jours plus tard, à sa grande surprise, il fut capable de rallumer la bougie à l'intérieur de la cloche en concentrant les rayons du soleil avec une loupe. Il observa également qu'une souris introduite sous la cloche ne mourait pas si une plante était présente. Il fit part de sa découverte en ces termes : « J'ai découvert accidentellement une méthode pour restaurer l'air qui a été blessé par la combustion des bougies, et j'ai découvert l'un au moins des moyens de restauration utilisés dans ce but par la nature. C'est la végétation. » Sans bien s'en rendre compte, Priestley avait découvert la photosynthèse, le processus par lequel les plantes convertissent le dioxyde de carbone et l'eau en sucres et en oxygène en utilisant la lumière du soleil comme source d'énergie.

Épilogue

Il est étonnant de voir à quel point des expériences simples, n'utilisant que des bougies, des métaux et des plantes, ont pu apporter autant d'informations et avoir un tel impact sur notre compréhension de la nature. La substance Feu avait été remplacée par la substance du phlogistique, et celle-ci fut finalement remplacée par l'idée d'une réaction chimique, en l'occurrence la réaction de l'oxygène avec le carbone pendant la combustion.

Ces expériences révélèrent aussi la relation complémentaire qui existe entre photosynthèse et respiration et, à plus grande échelle, le cycle du carbone qui décrit le recyclage du dioxyde de carbone et de l'oxygène entre les plantes et les

animaux dans l'environnement. La respiration des animaux produit du dioxyde de carbone, que les plantes convertissent en nourriture par la photosynthèse ; la photosynthèse des plantes produit de l'oxygène, que les animaux utilisent pour convertir les aliments en énergie.

Nous connaissons aujourd'hui les controverses sur le réchauffement global de la planète et la mondialisation. Le réchauffement global commença avec l'industrialisation, la production de dioxyde de carbone par la combustion, qui fut d'abord explorée par Priestley et ses collègues. La mondialisation commença sérieusement avec les guerres du cola – la tentative par les fabricants de soda de dominer le marché mondial. Le pasteur aurait difficilement pu imaginer le monde que ses innocentes expériences anticipaient pourtant de manière aussi étonnante !

En outre, étant donné ses remarquables réussites, un mystère demeure : pourquoi a-t-il résisté avec un pareil entêtement à la nouvelle théorie chimique de la combustion ? Pourquoi a-t-il à ce point soutenu le phlogistique malgré le manque de preuves expérimentales et ses incohérences et absurdités évidentes ? Trois raisons pourraient aider à répondre à cette question.

D'abord, Priestley ne croyait pas aux résultats de Lavoisier. La principale raison de ce doute était la suivante : « L'appareillage employé ne me semble pas permettre la précision suffisante exigée par la conclusion, tant il y a de corrections et de calculs pour aboutir au résultat. » Dubitatif face à cette nouvelle technologie, il n'utilisa pas les balances de Lavoisier. De ce fait, il fut absolument incapable de se convaincre que les mesures de ce dernier étaient suffisamment précises pour fournir une base solide à la nouvelle théorie des réactions chimiques. S'il avait accepté et maîtrisé la technologie, il aurait probablement été convaincu.

La deuxième raison est que Priestley était un homme de convictions profondes et inébranlables, comme le démontrent ses écrits religieux. Bien qu'expérimentateur, il raisonnait cependant toujours à partir des principes établis et de la logique qui les appuyait. Son adhésion à la doctrine du phlogistique demeura donc immuable, qu'elle correspondît ou non aux nouveaux faits. Cela n'est pas inhabituel en sciences. Une théorie peut être complètement fautive quand bien même les expériences fondées sur elle peuvent donner des résultats parfaitement valables.

On pourrait même soutenir que Priestley découvrit la photosynthèse précisément parce qu'il croyait à l'air « phlogistique » et à l'air « déphlogistique ». La théorie de Lavoisier des réactions chimiques n'aurait pas directement conduit à une telle question, ni motivé une pareille expérience : à la place du phlogistique qui sature l'air lors de la combustion, chez Lavoisier, l'oxygène entre et sort de l'air à cause des réactions chimiques dues à la combustion. Intuitivement, la combustion, plutôt que la photosynthèse, aurait donc (faussement) expliqué comment l'oxygène était rendu à l'air.

La troisième raison pour laquelle Priestley n'apprécia pas à leur juste valeur les incohérences et les absurdités du phlogistique est qu'il était un expérimen-

tateur et que, par conséquent, il n'avait pas une tendance naturelle à considérer la théorie d'un œil critique. Si la théorie paraissait raisonnable et semblait rendre compte des faits du point de vue expérimental, il ne voyait aucune raison de la remettre en question. Dans ses propres termes : « Quand je réexamine la question et que je compare mes dernières découvertes relatives à la constitution de l'atmosphère avec les premières, je vois une connexion étroite et évidente entre elles, et je me demande pourquoi je n'ai pas été conduit immédiatement de l'une à l'autre. Ce ne fut pas le cas, et j'attribue cela au poids des préjugés qui, à notre insu, biaisent non seulement nos jugements, justement ainsi nommés, mais même les perceptions de nos sens : nous pouvons tenir à ce point pour fondée une opinion, que la plus claire évidence de nos sens ne saurait la changer entièrement, et souvent la modifie à peine. Plus un homme est ingénieux et plus il se trouve enchevêtré en réalité dans ses erreurs, et son intelligence ne sert qu'à le tromper lui-même en esquivant la force de la vérité. » En d'autres termes, Priestley, examinant les faits à travers la loupe du phlogistique, s'était lui-même rendu aveugle à la vérité.

Dans les pas de Priestley

François Lusignan et Jean-Louis Alayrac

Joseph Priestley est avant tout un « touche-à-tout scientifique ». Sa manière de chercher des réponses aux problèmes qui se posent est basée sur l'expérience et l'intuition. Or cette façon de procéder est tout à fait intéressante pour travailler avec des élèves, car elle se rapproche de la démarche d'investigation qui permet de construire des connaissances.

Le principe complet de la photosynthèse est assez compliqué, mais il est possible d'en aborder simplement certains aspects. Joseph Priestley a mis en évidence un phénomène très important : le rejet d'oxygène par les plantes. Il ne maîtrisait pas pour autant les notions de biochimie et de physiologie qui permettront plus tard à Otto Warburg et Warbus Negelein d'expliquer plus complètement le mécanisme de la photosynthèse.

L'objectif de cette activité pédagogique est de découvrir un principe simple puis d'en enrichir la compréhension au fil de la scolarité pour élaborer le concept de photosynthèse.

Poser un problème à partir du récit pour enfants

Aujourd'hui, les élèves ont très souvent entendu parler du rôle que jouent les plantes pour que l'atmosphère soit respirable. La presse pour enfants présente assez souvent des documents sur les conséquences de la déforestation, elle-même liée à la surconsommation de papier dans le monde. Les forêts sont fréquemment assimilées à un « poumon de la Terre », une métaphore qui pourra d'ailleurs servir de point d'appui à une discussion avant et après un travail sur la respiration des plantes.

Les connaissances dont disposent les enfants sur le rôle des plantes dans la composition de l'atmosphère ne constituent que rarement un véritable savoir constitué et cohérent. En prenant appui sur le questionnement et les hypothèses émises dans la discussion entre Priestley et Franklin, les élèves vont toutefois pouvoir les mobiliser :

« [...] en tirant sur votre pipe, vous aspirez de l'air et le tabac brûle plus fortement. Par conséquent, l'air est responsable de la combustion... »

« [...] La respiration et la combustion sont [...] une seule et même chose ! [...] Elles consomment le bon air, l'air frais, l'air qui alimente le feu et la vie, et elles le remplacent avec du mauvais air, de l'air usé. [...] »

« [...] Au cours du temps, le bon air aurait dû disparaître en ne laissant que le mauvais [...]. »

« À moins, bien entendu, que quelque chose ne remplace le mauvais air par

du bon. »

En analysant progressivement le texte et en le confrontant à leurs propres représentations, les élèves pourront se poser le problème scientifique tel que se le sont posé Priestley et Franklin, émettre des hypothèses et les soumettre à l'épreuve de l'expérience.

Cette phase initiale de problématisation est une étape essentielle de la démarche car elle permet à la classe de développer une recherche expérimentale sur un problème global : quel est le rôle des plantes dans le maintien de la qualité de l'air ?

Exemple d'utilisation du texte

Le début du texte est fondamental pour comprendre quelles sont les connaissances de l'époque et comment Joseph Priestley les mobilise pour poser le problème :

« [...] Comment pouvons-nous continuer à respirer, alors que nous aurions dû utiliser tout le bon air depuis longtemps ?

– Il me paraît évident que votre théorie est fausse.

– À moins, bien entendu, que quelque chose ne remplace le mauvais air par du bon. »

Franklin leva les yeux, surpris :

« Oui. C'est très juste. Mais qu'est-ce que cela pourrait être ? demanda-t-il, excité par cette révélation.

– Je ne sais pas... » avoua Priestley.

Les deux savants font ici référence à des travaux qui vont pouvoir guider – en les déstabilisant parfois – les élèves :

« Bien. Maintenant, nous savons par ailleurs que si nous plaçons une bougie allumée sous une cloche étanche en verre, la flamme finit par s'éteindre. Donc, la cause de la combustion de la chandelle a disparu, ou elle a été absorbée par l'air. Si nous répétons l'expérience avec une souris, elle meurt. »

Ce passage est très important car il permet aux élèves de constater qu'un être vivant ne peut pas vivre sans air renouvelé – certains diront sûrement « sans oxygène », un terme qu'ignorait Priestley. Comme les élèves n'ont sans doute pas tous réalisé l'expérience de la bougie, l'enseignant pourra proposer à la classe de vérifier, si comme le dit Franklin dans le texte, une bougie placée sous une cloche finit bien par s'éteindre. Le texte montre que la bougie en train de brûler se comporte comme un être vivant, elle a besoin d'oxygène pour pouvoir se consumer. Ce parallèle n'est pas forcément évident pour les enfants et dans tous les cas, l'enseignant devra vérifier et expliciter si besoin l'analogie entre la combustion de la bougie et la respiration. Ce parallèle est d'ailleurs repris dans la suite du texte :

« Donc la souris doit consommer la même chose que la bougie. La respiration et la combustion sont par conséquent une seule et même chose ! Elles doivent faire la même chose à l'air. Elles consomment le bon air, l'air frais, l'air qui alimente le feu et la vie, et elles le remplacent par du mauvais air, de l'air usé. C'est

pour cela que la chandelle s'éteint et que la souris suffoque. »

D'autre part, les élèves connaissent les dangers d'asphyxie liés à des jeux dangereux avec des sacs en plastique, un risque décrit par Franklin dans le texte :

« J'ai fait une expérience intéressante l'autre jour [...]. Inspiré par vos travaux sur les souris, j'ai mis un sac sur ma bouche et j'ai respiré jusqu'à ne plus pouvoir. J'en ai conclu qu'un gaz irrespirable s'échappait de mon corps quand j'expirais. C'est votre mauvais air, non ? »

L'autre intérêt de l'utilisation de la bougie est qu'elle donne une clé pour l'expérimentation. Nul besoin d'utiliser des êtres vivants, on peut contrôler la qualité de l'air grâce à une bougie. C'est un élément important pour imaginer des protocoles expérimentaux et l'enseignant peut d'ailleurs profiter de ce dernier passage pour mentionner la nécessité de respecter les êtres vivants lors de la mise en œuvre d'expériences. L'utilisation d'animaux dans le cadre d'expériences scientifiques est réglementée et les scientifiques ne doivent y recourir qu'en l'absence d'alternative.

À partir de cette première partie, le problème est posé : comment est-il possible que nous puissions continuer à respirer dans notre atmosphère finie alors que, depuis des millions d'années, les hommes et les animaux rejettent du « mauvais air », c'est-à-dire du gaz carbonique ?

Émettre des hypothèses et les vérifier expérimentalement

Les élèves peuvent alors émettre des hypothèses. Une contrainte importante consiste dans le fait que les hypothèses envisagées devront pouvoir être vérifiées par des expériences, ce qu'il faudra préciser.

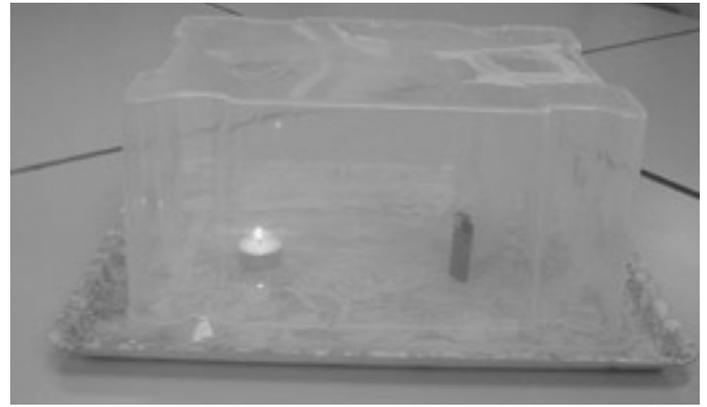
Grâce à leurs connaissances, même partielles, les enfants pensent généralement que les plantes jouent un rôle important en « renouvelant l'air », en « dégageant de l'oxygène » ou en « absorbant le gaz carbonique ». Il sera donc possible de leur proposer de tester ces idées.

Premières expériences et premiers obstacles

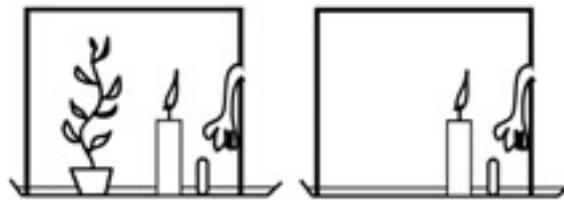
Les élèves doivent imaginer des expériences. Celle qui est le plus souvent proposée consiste à reprendre le contexte « cloche » avec une bougie et une plante, c'est-à-dire à créer une enceinte confinée.

Les expériences proposées ont été notées au tableau puis confrontées. Sur cinq groupes, trois expériences étaient identiques, un groupe n'a rien produit et le dernier a proposé quelque chose qui ne correspondait en rien à l'expérimentation de Priestley.

Nous avons ensuite discuté ensemble du déroulement de l'expérience à mener. Pour cela les élèves avaient demandé un chronomètre, une bougie, des allumettes, un seau transparent et une plante de petite taille (en fonction de celle du seau).



Exemple de montage réalisé par la classe de Perpignan. À gauche, avec une plante ; à droite, sans plante.



Dispositif avec témoin

Ils ont procédé à l'expérimentation. D'abord, ils ont mis la bougie allumée sous le seau et ils ont chronométré jusqu'à ce qu'elle s'éteigne (environ 4 min 38 s).

Ensuite, ils ont placé la bougie allumée ainsi que la plante et ils ont chronométré. Le résultat a été à peu près identique. Ils ont à nouveau essayé, sans changement.

Les élèves étaient très surpris, ils ne comprenaient pas pourquoi l'expérience « n'avait pas fonctionné »...

Cette expérience n'a pas abouti au résultat escompté car, dans un temps aussi court, la plante ne fournit pas une quantité d'oxygène suffisante pour parvenir à un résultat visible. Elle est néanmoins très intéressante car déstabilisante. En effet, une première conclusion pourrait être : une plante ne permet pas de « renouveler l'air » ou de « produire de l'oxygène » puisque la bougie s'éteint sous la cloche. Ce qui est en contradiction avec ce que les élèves ont souvent entendu... Ils peuvent dès lors débattre, proposer de nouvelles hypothèses. Et pour ne pas en rester là, il est alors possible de leur proposer un document simple présentant les échanges gazeux entre les plantes et les animaux (sur le cédérom).

L'annexe explique que les plantes absorbent le gaz carbonique et fournissent de l'oxygène grâce à une réaction chimique appelée « photosynthèse ». Le problème de la contradiction entre l'expérience et le document peut donc être posé : pourquoi la bougie, qui a besoin d'oxygène, s'éteint-elle, alors que la plante fournit bien de l'oxygène ?

Il est possible de laisser les élèves continuer à chercher et à concevoir de nouvelles expériences. Si l'idée d'une production lente d'oxygène est évoquée, les enfants peuvent relancer une série d'expérimentations. En revanche, s'ils ne proposent rien, on peut rebondir en utilisant une nouvelle partie du texte :

« Le jour suivant, dans son laboratoire, Priestley s'occupa activement à préparer son expérience. Il prit des brins de menthe de son thé matinal et les plaça sous la cloche étanche avec une bougie. Il alluma la bougie avec une loupe qui focalisait les rayons du soleil. La bougie s'alluma, brûla un moment et s'éteignit. Priestley laissa alors la cloche avec la bougie et les brins de menthe pendant plusieurs jours. »

Deux données peuvent être utilisées. Tout d'abord, Joseph Priestley allume sa bougie avec une loupe ! Pourquoi cette complication ? (À ce propos, les élèves pourront vérifier que dans les années 1770, les gens possédaient déjà des briquets, même s'ils étaient différents de ceux d'aujourd'hui : <http://membres.lycos.fr/chipe/allumettes.html> ; http://www.resfortuna.com/Autres/rf_au_hist_allumettes.htm ; <http://fredfilu.free.fr/HISTOIRE.htm>)

Autre indication capitale : « Priestley laissa alors la cloche avec la bougie et les brins de menthe pendant plusieurs jours. » Même si les élèves ne perçoivent pas tout de suite l'intérêt d'allumer la bougie avec une loupe, ce qui évite de soulever la cloche et donc de renouveler l'air, cet aspect leur apparaîtra lors de la mise en œuvre de l'expérience. En revanche, l'intuition géniale de Priestley de laisser passer un certain temps pour permettre à la plante de produire de l'oxygène est une donnée qui permet de relancer des expériences.

Nouvelle série d'expériences et nouveaux obstacles

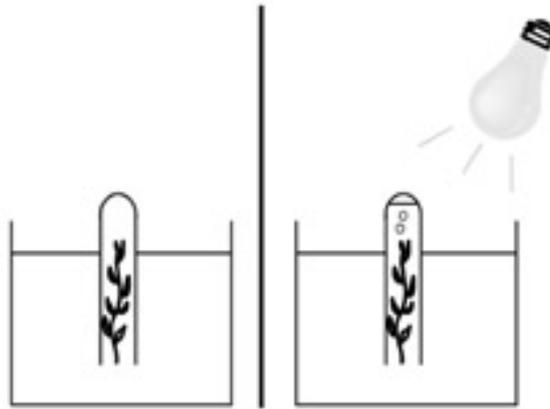
Dans ce second temps, la conception des expériences n'est pas compliquée d'un point de vue intellectuel, mais un problème technique apparaît rapidement : comment, donc, rallumer la bougie au bout d'une semaine sans soulever le récipient, ce qui modifierait la nature des gaz emprisonnés ?

L'indice de la loupe sera peut-être réactivé par les élèves. Il pose cependant deux problèmes mineurs : d'une part, il faut du soleil et d'autre part, le récipient servant de cloche doit être transparent (un bocal par exemple... mais attention de ne pas mettre le feu à la plante ! De plus grande taille, un aquarium serait plus adapté

Il est aussi possible de laisser les élèves imaginer un système différent. L'idée d'une boîte dans laquelle on entrerait la main sans faire pénétrer d'air est une solution tout à fait intéressante, même si, techniquement, elle est un peu difficile à réaliser, notamment en ce qui concerne l'étanchéité (photos page suivante).

Nous avons utilisé une boîte en carton avec des parois en plastique transparent pour que la plante ait de la lumière et qu'elle puisse fabriquer de l'oxygène. À l'intérieur de la boîte, nous avons aussi mis une bougie allumée qui consomme l'oxygène et un briquet pour pouvoir la rallumer. Aux parois du carton, nous avons fixé un gant en caoutchouc pour pouvoir rallumer la bougie sans soulever le carton (pour éviter que l'air ambiant ne pénètre à l'intérieur du carton).

Le maître peut aider les élèves sur certains aspects, notamment le découpage du bac ou du carton, et surtout réaliser l'étanchéité de la fixation du gant contre la paroi. Pour le carton, il est recommandé de bien scotcher à l'extérieur



comme à l'intérieur toute partie (pliure, rabat, angle) qui pourrait laisser entrer de l'air. Dans le cas où une classe utiliserait un bac en plastique, le placer sur un plateau contenant de l'eau assurera une parfaite étanchéité.

Ce dispositif en place, la bougie pourra effectivement être rallumée sans qu'il soit nécessaire d'ouvrir la boîte.

Un aspect important de la démarche scientifique : le contrôle des paramètres

Ces expériences permettent à l'enseignant de sensibiliser les élèves à un aspect très important de la démarche scientifique : la gestion des variables, ou paramètres. En effet, si les élèves veulent prouver que les plantes dégagent de l'oxygène, il leur faudra mettre en place un dispositif permettant de le mettre en évidence. La variable mesurée sera l'influence de la présence d'une plante. Les élèves devront concevoir une expérience avec un témoin (comparaison directe) – comme dans toute expérience scientifique avec témoin, tout devra être identique (bougies, récipients, lieux, température, lumière, etc.), sauf la variable que l'on cherche à mesurer ; en outre les bougies devront être allumées en même temps – ou bien, avec un seul dispositif, vérifier qu'on ne peut rallumer la bougie qu'à la condition qu'une plante soit présente (comparaison différée).

L'enseignant devra amener les élèves à confronter les protocoles pour en défendre la validité. Cette phase de débat est fondamentale : elle permet aux enfants d'anticiper et donc de mieux s'approprier le problème à résoudre.

Pour aller plus loin dans la compréhension de la photosynthèse

Ce que montre l'expérience et ce qu'elle ne montre pas

Grâce à son expérience, Joseph Priestley a montré que la végétation « restaur[ait] le bon air » qui permet aux animaux de vivre sur la Terre. Mettre en évidence cette interdépendance entre les végétaux et les animaux fut une découverte fondamentale et c'est pourquoi Priestley est parfois cité comme l'un des fondateurs de la biologie moderne. En revanche, il est complètement passé

à côté de l'importance de la lumière dans ce processus. Pour les besoins de l'expérience, il fallait contrôler la combustion de la bougie et permettre un allumage avec une loupe : Priestley a utilisé une cloche transparente sans faire la relation avec le rôle fondamental de la lumière dans la photosynthèse.

Il peut être tout à fait intéressant d'amener les élèves à réfléchir à d'autres expériences qui compléteront leur première compréhension du phénomène de la photosynthèse. Quand on lit l'histoire de cette découverte, il apparaît clairement que c'est le travail de plusieurs personnes, à différentes époques, utilisant des moyens d'investigation différents, qui a permis d'aboutir à notre connaissance actuelle de la photosynthèse. Il est possible de proposer aux élèves de travailler sur un document présentant l'historique de la découverte, l'objectif de ce travail sera alors plus épistémologique que scientifique.

Sites présentant un historique des recherches sur la photosynthèse :

– un texte simple accessible aux élèves : <http://tpesolaire.bonnet-ribeau.net/hist.phot.htm>

– un site complet qui présente un historique détaillé pour les enseignants : http://www.mss.qc.ca/intranet/Cours/Chimie/expo_sciences/recherches/photosynthese.html#historiquedesdecouvertes

D'autres expériences pour aller plus loin

Il est aussi possible de proposer à la classe de s'interroger sur d'autres dispositifs expérimentaux complémentaires qui ne sont pas concevables par les élèves dans le cadre d'une investigation.

Les facteurs de croissance des végétaux

En 1727, Stephen Hales, un chimiste anglais, publia un ouvrage dans lequel il déclarait que la lumière et l'air devaient être des facteurs de la croissance des plantes. Ces recherches influencèrent Priestley. Il serait donc logique que les élèves aient étudié les facteurs de croissance des végétaux avant de s'intéresser aux travaux de Priestley. Pour le paramètre air, les expériences sont difficiles mais d'autres paramètres peuvent être étudiés : les besoins en eau, chaleur, lumière.

Exemple d'activités sur ce sujet : <http://www.perigord.tm.fr/~ecole-scienc/PAGES/MONVIV/GRAINES4/SoMod.htm>

Le rôle de la lumière dans le mécanisme de la photosynthèse

Si l'on reprend l'ordre chronologique, on trouve, après Priestley, Johannes Ingen-Housz, médecin et botaniste néerlandais, autre expérimentateur touche-à-tout de génie qui va apporter des éléments nouveaux. Il démontre que les plantes produisent cet « air renouvelé » ou oxygène uniquement en présence de lumière.

Bien entendu, il serait inconcevable d'étudier finement le déroulement des réactions chimiques lors de la photosynthèse avec de jeunes élèves. Mais on peut chercher à démontrer, comme Ingen-Housz, que la lumière est indispensa-

ble à la photosynthèse, donc au dégagement d'oxygène.

Si l'on met en place une expérience comparable à celle de Priestley, mais dans le noir, avec un récipient opaque, un trou obturable permettant de surveiller la combustion, on ne pourra jamais rallumer la bougie, même en attendant plus longtemps. La lumière est donc indispensable à la photosynthèse.

Des plantes et des bulles

Un moyen facile de montrer la relation entre l'intensité lumineuse et l'efficacité de la photosynthèse consiste à placer un rameau de plante aquatique dans un tube à essai plein d'eau renversé sur une cuvette. Un système d'éclairage permet de faire varier le paramètre lumière

Cette expérience (figure page suivante) permet en outre de faire apparaître visuellement un gaz sous forme de bulles. C'est un obstacle bien connu : lorsqu'on veut faire travailler des élèves sur la mise en évidence d'un gaz invisible, on ne voit rien ! Sauf si l'on travaille dans un milieu aquatique.

Cette expérience ne peut être conçue par les élèves mais le dispositif expérimental peut être présenté par le maître et interprété par la classe : plus la plante est éclairée et plus elle dégage de l'oxygène.

Notons ici que, même sans lumière, il y a un tout de même un petit dégagement gazeux. Il s'agit de dioxyde de carbone, car la plante respire aussi, comme tout être vivant. Elle consomme de l'oxygène et rejette du gaz carbonique, mais cet échange gazeux est négligeable en volume par rapport à celui produit par la photosynthèse.

Car la photosynthèse est un mécanisme complexe : les plantes absorbent le gaz carbonique (ou dioxyde de carbone, CO_2), rejettent de l'oxygène (O_2) et utilisent le carbone fixé et de l'eau pour synthétiser les sucres nécessaires à leur développement grâce à la lumière du Soleil.

Sans entrer, nous l'avons déjà dit, dans le détail de ces réactions biochimiques, il serait très dommage de travailler sur la photosynthèse sans expliquer simplement aux élèves que ce phénomène permet à la plante de se nourrir – ainsi, qu'indirectement, aux animaux puisque toutes les chaînes alimentaires dépendent de la production végétale chlorophyllienne. Les plantes sont le premier maillon indispensable des chaînes alimentaires. Les élèves pourront relier cette connaissance à d'autres sujets d'étude portant sur le fonctionnement des écosystèmes.

Exemple d'activités sur ce sujet :

<http://www.perigord.tm.fr/~ecole-scienc/PAGES/ENVORONN/SoEnviro.php>

Photosynthèse et climat

Pour « recontextualiser » les connaissances construites par l'expérience, l'enseignant pourra proposer aux élèves d'étudier une conséquence du déséquilibre entre les mécanismes de respiration/combustion et de photosynthèse : pourquoi s'inquiète-t-on aujourd'hui de l'effet de serre ? L'objectif consistera simplement à montrer que ce déséquilibre provoque des bouleversements climatiques.

Les ressources sur ce sujet sont très nombreuses : sites Internet, presse, expositions (dont, récemment, « Climax », à la Cité des Sciences et de l'Industrie de la Villette). Les élèves, après avoir identifié les causes de l'effet de serre, pourront repérer les actions permettant de lutter contre une production excessive de dioxyde de carbone : protection des forêts, limitation de la puissance des voitures, isolation des maisons, développement des énergies renouvelables (solaire, éolienne, etc.).

Priestley et les brins de menthe

Le révérend Priestley se détendait un après-midi dans son salon avec son vieil ami américain Benjamin Franklin. Ils revenaient de l'église et discutaient tous deux du phlogistique, la substance qui passait pour constituer le feu.

" Le feu n'est pas une substance si l'on en croit Lavoisier, mais une réaction chimique, ainsi que la respiration... Remarquable théorie, vraiment... dit Franklin en étouffant un rire.

- Oui, et il pense aussi que l'air n'est pas un élément mais qu'il est fait de différents gaz. Il appelle un de ces gaz "oxygène". Vous savez, la prochaine fois, il nous dira que nous descendons des singes ! "

Priestley s'esclaffa, imaginant son ami Franklin en singe. Lui jetant un coup d'œil, il lui trouva soudain une ressemblance frappante avec l'animal.

" Si, si ", admit Franklin alors qu'il retirait une pipe et une blague à tabac de son manteau.

Priestley était distrait ce jour-là, et son esprit était ailleurs. Il ruminait une question qui le titillait depuis quelque temps. C'était une belle journée et, l'admirant, il respira profondément:

" Nous sommes tous si focalisés sur la question de la composition de l'atmosphère - qu'est-ce que l'air ? - qu'aucun d'entre nous ne s'est aventuré à se demander pourquoi il y a de l'air... "

Franklin rit tout bas à cette remarque, bourrant le fourneau de sa pipe d'une pincée de tabac:

" Autant se demander pourquoi le ciel est bleu ! "

Priestley regarda son vieil ami. Sans ouvertement l'admettre, il se sentait vaguement supérieur à Franklin :

" Je me demande si... "

Priestley s'arrêta au milieu de sa phrase. Il entendit le craquement d'une allumette et regarda son ami. Il le vit allumer sa pipe. Le fourneau s'enflammait brusquement à plusieurs reprises à chaque aspiration. Priestley considérait avec fascination les panaches de fumée âcre s'élevant dans l'air. " Pourquoi y a-t-il de l'air ? " se répétait-il en lui-même. Franklin fumait maintenant comme une cheminée. " Une cheminée... " pensa Priestley. Des millions et des millions de cheminées se construisaient partout dans le monde, et les nouvelles usines renvoyaient des millions de tonnes de fumée dans l'air chaque jour. La question commençait à brûler Priestley : pourquoi y avait-il de l'air ? Franklin remarqua que son ami n'était plus vraiment attentif. S'il y avait une chose qu'il ne supportait pas, c'était de ne pas être le centre de l'attention. Il trouvait cela grossier.

" Je disais, Priestley... commença Franklin pour attirer l'attention de son hôte. Vous ai-je montré ma nouvelle invention ? Tout à fait brillante, si je puis me permettre. "

Surpris dans ses pensées par le mot " brillant ", Priestley répondit :

" Euh, quoi ?

- Ma nouvelle invention. Je ne vous en ai pas parlé ?

- Non, je ne pense pas. Peut-être étiez-vous trop modeste ? Mais de quoi s'agit-il ?

- Ceci, reprit Franklin en sortant de sa poche une paire de lunettes et en les posant sur son nez. Des verres à double foyer... "

Impressionné mais ne voulant pas être en reste, Priestley sortit ses nouvelles inventions : la gomme à effacer et une boisson gazeuse, le soda. Franklin en devint vert de jalousie. Persuadé que Priestley lui était intellectuellement inférieur, il ne supportait pas que ce dernier le mouche à chaque fois. L'invention du soda aurait certainement des conséquences importantes pour la société, alors que ses lunettes à double foyer, eh bien, elles seraient sans doute pratiques mais leur usage se limiterait à faciliter la lecture.

Le soir tombait et Mme Priestley invita les deux hommes à passer à table. Au milieu du repas, une souris apparut soudain, s'empara d'un morceau de pain et s'enfuit. Mme Priestley hurla. Franklin se figea brusquement alors qu'il allait avaler une bouchée de viande. La bouche encore ouverte, il reposa lentement sa fourchette sur son assiette. Priestley se tortilla sur sa chaise.

" Combien de fois vous l'ai-je dit ? cria Mme Priestley, très humiliée.

- Ce n'est pas une des miennes, je vous assure, ma chère. Les miennes sont... Eh bien, elles ne sont pas aussi grosses, ni aussi noires que celle-ci.

-Comment pouvez-vous en être si sûr ? Elle ressemble à l'une des vôtres. Bien sûr, elles se ressemblent toutes... " commenta Franklin.

Ils décidèrent d'interrompre le dîner et de retourner au salon goûter la nouvelle boisson gazeuse de Priestley. Assis dans un fauteuil, Franklin sortit de nouveau sa pipe, la remplit de tabac et l'alluma. Profondément plongé dans ses pensées, Priestley le regardait tandis qu'il bavardait tout en fumant.

" Vous m'écoutez, Priestley ?

- Hmm... Oh ! oui !

- Qu'est-ce que je disais alors ? "

Priestley ne répondit pas. Au lieu de cela, il demanda :

" Avez-vous remarqué que, lorsque vous tirez sur votre pipe, elle s'enflamme et brûle plus violemment ? "

Devant une question aussi prosaïque, Franklin s'apprêtait à répliquer quand on entendit soudain un cri sourd. Une bottine traversa l'air et Mme Priestley hurla. Elle sortit de la cuisine avec un balai dont elle frappa le sol avec frénésie.

" Sans doute encore une de vos souris, remarqua Franklin distraitemment en tirant sur sa pipe.

- Peut-être... Mais ce que je voulais dire, c'est qu'en tirant sur votre pipe, vous aspirez de l'air et le tabac brûle plus fortement. Par conséquent, l'air est responsable de la combustion...

- Continuez... dit Franklin, soudain intéressé.

- Bien. Maintenant, nous savons par ailleurs que si nous plaçons une bougie allumée sous une cloche étanche en verre, la flamme finit par s'éteindre. Donc, la cause de la combustion de la chandelle a disparu, ou elle a été absorbée par l'air. Si nous répétons l'expérience avec une souris, elle meurt.

- Ce qui explique pourquoi vous en conservez autant dans la maison ! ajouta Franklin.

- Donc la souris doit consommer la même chose que la bougie. La respiration et la combustion sont par conséquent une seule et même chose ! Elles doivent faire la même chose à l'air. Elles consomment le bon air, l'air frais, l'air qui alimente le feu et la vie, et elles le remplacent par du mauvais air, de l'air usé. C'est pour cela que la chandelle s'éteint et que la souris suffoque.

- J'ai fait une expérience intéressante l'autre jour, déclara Franklin. Inspiré par vos travaux sur les souris, j'ai mis un sac sur ma bouche et j'ai respiré jusqu'à ne plus pouvoir. J'en ai conclu qu'un gaz irrespirable s'échappait de mon corps quand j'expirais. C'est votre mauvais air, non ?

- Exactement. Voici maintenant ce à quoi je voulais en venir. Nous vivons dans un sac géant, pour reprendre votre exemple, qui est la Terre tournant autour du Soleil, dans un espace vide. Alors, d'où vient le bon air ? Ou, en d'autres termes, pourquoi y a-t-il de l'air ? Il ne peut pas venir du vide, il doit donc venir de la Terre. Mais celle-ci n'a qu'une taille limitée. Et les animaux et les gens ont respiré le bon air depuis l'origine des temps. Alors pourquoi n'a-t-il pas été entièrement utilisé et remplacé par du mauvais air ?

- Vous voulez dire que nous n'avons pas une quantité illimitée de bon air ?

- Précisément. Au cours du temps, le bon air aurait dû disparaître en ne laissant que le mauvais, comme ce qui est arrivé avec votre sac. "

Franklin sourit de manière espiègle :

" Eh bien, monsieur, puisque le bon air aurait dû être remplacé par le mauvais, veuillez m'expliquer comment nous pouvons continuer à respirer ? "

Il hocha la tête, manifestement heureux de se sentir si intelligent.

" Une bonne question, très subtile, Franklin. Comment pouvons-nous continuer à respirer, alors que nous aurions dû utiliser tout le bon air depuis longtemps ?

- Il me paraît évident que votre théorie est fautive.

- À moins, bien entendu, que quelque chose ne remplace le mauvais air par du bon. "

Franklin leva les yeux, surpris :

" Oui. C'est très juste. Mais qu'est-ce que cela pourrait être ? demanda-t-il, excité par cette révélation.

- Je ne sais pas... " avoua Priestley.

Franklin se mordit la lèvre et réfléchit un instant :

" Savez-vous que Hale a récemment démontré que les plantes respirent, elles aussi. Ajoutez cela à tout le mauvais air produit par les animaux et les feux, et c'est vraiment une merveille que la vie puisse encore exister sur Terre !

- Voulez-vous dire que les plantes ont besoin d'air pour survivre ? Est-ce qu'elles meurent comme les souris quand on les place sous une cloche étanche ?

- Je ne pense pas que Hale l'ait vérifié.

- Il n'a pas vérifié ? Alors je pense que je vais le faire. J'ai un pressentiment... dit Priestley en se replongeant profondément dans ses pensées.

- Vous avez aussi une souris sur l'épaule ", remarqua Franklin.

Le jour suivant, dans son laboratoire, Priestley s'occupa activement à préparer son expérience. Il prit des brins de menthe qui servaient pour son thé matinal et les plaça sous la cloche étanche avec une bougie. Il alluma la bougie avec une loupe qui focalisait les rayons du soleil. La bougie s'alluma, brûla un moment et s'éteignit.

Priestley laissa alors la cloche avec la bougie et les brins de menthe pendant plusieurs jours. Quand il revint à son laboratoire, il découvrit qu'il pouvait à nouveau allumer la bougie. Quelque chose s'était passé, quelque chose que les brins de menthe avaient fait à l'air de la cloche. Il répéta l'expérience plusieurs fois et remarqua que les souris ne mouraient pas sous une cloche étanche s'il y avait une plante avec elles.

Il griffonna rapidement une note à Franklin et à ses autres collègues, où il leur annonçait avec fierté : " J'ai

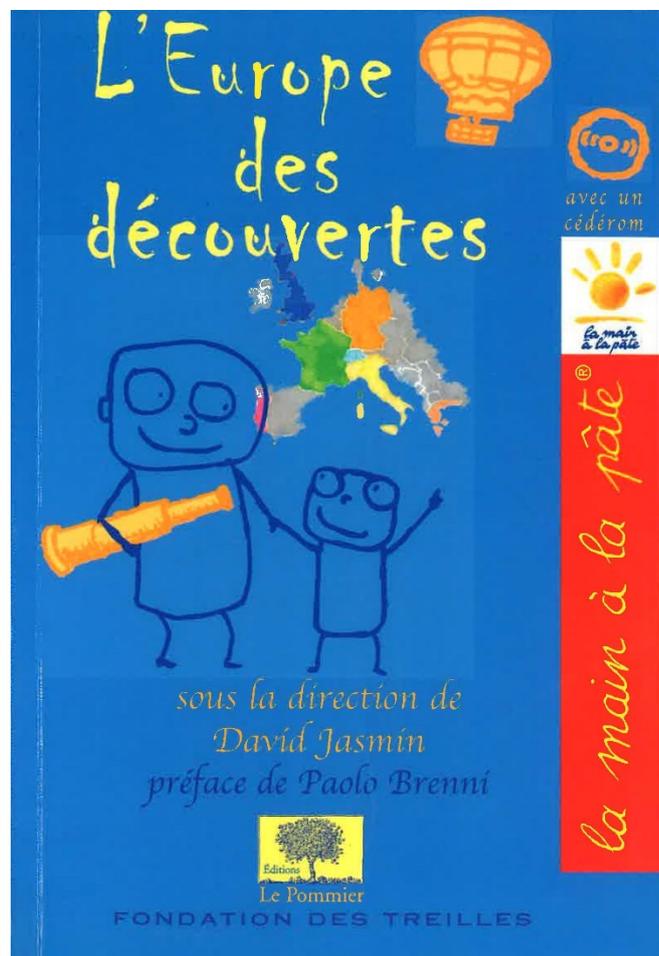
découvert accidentellement l'un des moyens de restauration utilisés par la nature pour permettre la respiration et le feu. C'est la végétation. "

Priestley avait découvert que les plantes convertissaient le mauvais air, aujourd'hui appelé " dioxyde de carbone ", en bon air, que nous nommons " oxygène ". Ce processus, c'est la photosynthèse. Les animaux, de leur côté, consomment l'oxygène de l'air et le remplacent par du dioxyde de carbone. Ce processus, c'est la respiration. Respiration et photosynthèse fonctionnent ensemble, ce qui signifie que les plantes et les animaux s'aident mutuellement à vivre.

Priestley avait donc trouvé la réponse à sa question. Pourquoi y a-t-il de l'air ? Parce que la photosynthèse répare l'oxygène de l'air, le changeant d'air usé en air frais pour la respiration.

John Herrick

Cette ressource est issue du projet thématique *L'Europe des découvertes*, paru aux Éditions Le Pommier.



Quelle meilleure façon de se familiariser avec l'esprit scientifique que d'observer Galilée découvrir les satellites de Jupiter dans sa lunette astronomique, s'élever dans les airs en compagnie des frères Montgolfier ou mesurer le bleu du ciel avec Ferdinand de Saussure, l'inventeur du cyanomètre? *L'Europe des découvertes*, un livre, accompagné d'un cédérom, pour permettre aux enfants de prendre le pouls de la science.

Issu d'un projet mis en œuvre par *La main à la pâte* et plusieurs partenaires européens, l'ouvrage présente douze découvertes qui nous font visiter sept pays d'Europe (Allemagne, France, Grande-Bretagne, Grèce, Italie, Portugal et Suisse). Du parachute de Léonard de Vinci au télégraphe de Chappe, de la caravelle à la pasteurisation... l'ouvrage propose, pour chaque découverte, une grande variété de documents : dans le livre, trois types de texte – historico-scientifique, pédagogique et pour enfant –, dans le cédérom, plus directement destiné aux petits, des animations interactives et des cahiers d'expériences.

L'Europe des découvertes ouvre ainsi la voie à une utilisation constructive de l'histoire des sciences et des techniques, au-delà du rôle de complément culturel qui lui est le plus souvent assigné.

Car la science a une histoire : elle évolue au gré des inventions, des nouveaux moyens mis en œuvre, mais aussi des échecs et des réfutations. Enseigner aux enfants cette merveilleuse aventure leur permet de retrouver le sens qui habite la science et ceux qui l'ont incarnée.

la main à la pâte®

Dynamique de rénovation de l'enseignement des sciences à l'école primaire (maternelle et élémentaire), *La main à la pâte* est une opération conduite par l'Académie des sciences, qu'un Plan de rénovation, mis en place par le ministère de l'Éducation nationale, a étendue à tout le territoire national. C'est aussi un label de qualité attribué à cet ouvrage par un comité issu de l'Académie des sciences.



168-01/1
27 €

diffusion harmonia mundi

Diffusion
BELIN
depuis
juin 2007

Retrouvez l'intégralité de ce projet sur : <https://www.fondation-lamap.org/projets-thematiques>.

Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes
75006 Paris
01 85 08 71 79
contact@fondation-lamap.org

Site : www.fondation-lamap.org

 FONDATION
La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE