

Le ballon à air chaud

Cycles 3 et 4

Une séquence du projet *L'Europe des découvertes*

Résumé

Évoquant l'évasion, la puissance, mais aussi la simplicité, car elle fonctionne sans moteur – et ne fait donc pas de bruit –, la montgolfière fascine aussi par son mystère car, enfin, comment une grosse nacelle accrochée à un ballon rempli de gaz peut-elle s'élever « toute seule » ? Les élèves seront aiguillonnés par le désir de comprendre « comment ça marche » autant que par celui de découvrir comment ses inventeurs l'ont imaginée et sont parvenus à la fabriquer.

Les frères Montgolfier

Alain Degardin

On ne comprendrait pas la genèse de la réussite des frères Montgolfier, le premier vol d'un « plus léger que l'air », en 1783, si l'on ne s'intéressait pas à la seconde moitié du XVIII^e siècle, le Siècle des lumières. Cette période est marquée par une extraordinaire effervescence, tant scientifique et technique que littéraire et philosophique. L'Encyclopédie, cette entreprise monumentale dont les principaux rédacteurs sont Denis Diderot (1713-1784) et le mathématicien Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783), est publiée entre 1751 et 1772. Physique, chimie, mécanique, agronomie sont les disciplines scientifiques qui attirent le plus les chercheurs. On voit l'éclosion de cabinets de physique, en particulier ceux de François Pilâtre de Rozier (1754-1785) et de Jacques Alexandre César Charles (1746-1823), deux personnages dont on reparlera bientôt.

Plusieurs découvertes sont à l'origine de l'invention des aérostats (du grec *aër* et *statos* : qui se tient dans l'air). En 1746, Charles Marie de La Condamine (1701-1774), de retour d'Amérique du Sud, présente un nouveau produit : le latex, déjà connu des Mayas. Il forge le mot « caoutchouc ». Cette matière va permettre de rendre étanches les toiles des ballons.

Dans les cabinets de physique, l'étude des gaz donne également lieu à d'importantes découvertes. En 1766, le savant britannique Henry Cavendish (1731-1810) découvre l'hydrogène, alors appelé « air inflammable » : quatorze fois plus léger que l'air, il est produit en versant de l'acide sulfurique (ou vitriol) sur de la ferraille. En 1783, Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) procède à l'analyse et à la synthèse de l'eau et découvre qu'elle est composée d'oxygène et d'hydrogène. Un an plus tard, il démontre avec Jean-Baptiste Meusnier de La Place (1754-1793) que l'hydrogène peut être obtenu par décomposition de la vapeur d'eau circulant dans des tubes de fer chauffés au rouge.

Les recherches des deux frères Joseph (1740-1810) et Étienne (1745-1799) Montgolfier sont l'aboutissement de ce bouillonnement intellectuel. Tous deux vont rester dans les mémoires comme les inventeurs des aérostats gonflés à l'air chaud.

Joseph et Étienne sont les douzième et quinzième des seize enfants de Pierre Montgolfier, fabricant de papier à Vidalon-lès-Annonay, en Ardèche. Joseph, imaginaire et intuitif, s'occupe des papeteries de Rives et de Voiron en relation avec celle de Vidalon. Il a attaché son nom aux ballons, mais on lui doit bien d'autres inventions : la presse hydraulique, la pompe à feu et le bélier hydraulique. Étienne, à l'opposé de Joseph, est un esprit méthodique et calme (les deux frères se complètent parfaitement). Il se destinait à l'architecture lorsque, en 1773, à la demande de sa famille, il revint à Vidalon pour aider son père et son frère Joseph à la tête de l'entreprise.

En novembre 1782, Joseph s'arrête à Avignon pour vendre du papier aux imprimeurs de la région. Dans sa chambre, tandis qu'il réfléchit au siège que la flotte française a entrepris autour de Gibraltar, un feu de cheminée réchauffe sa chemise. Joseph s'aperçoit alors qu'elle se gonfle au-dessus du foyer. Une corrélation se forme dans son esprit : ne serait-il pas plus facile d'investir la ville au moyen d'engins aériens gonflés d'air chaud ? Il découpe alors et coud un cube de tissu, le place au-dessus du feu et le voit s'élever – son idée est réalisable.

De retour à Annonay, il reprend ses expériences avec Étienne. Tous deux ont bien songé à tenter d'enfermer de l'hydrogène dans de petites enveloppes de soie ou de papier, mais sans réussir à en assurer l'étanchéité. Ils parviennent en revanche à faire évoluer de petits globes de papier gonflés à l'air chaud.

Ce n'est qu'après bien des tâtonnements et à la suite d'une erreur d'interprétation que les frères Montgolfier inventent finalement la « machine aérostatique ». Depuis leur adolescence, ils étaient intrigués par le mécanisme de formation et de « flottaison » des nuages. Ils pensaient faussement qu'en enfermant de la vapeur d'eau ou de la fumée dans une sorte de sac léger, celui-ci irait rejoindre les nuages, obéissant à un mécanisme physique complexe où interviendraient les charges électriques atmosphériques et celles contenues dans les gaz produits par combustion de matières premières (paille, laine humide...). L'expérience réalisée avec les petits globes étant concluante, les Montgolfier croient fermement avoir découvert un gaz nouveau ayant la vertu de raréfier l'air grâce à des répulsions de nature électrostatique (une hypothèse bien compliquée qui se révélera inexacte).

Les frères Montgolfier décident d'organiser une expérience publique. Pour cela, ils fabriquent un aérostat en toile renforcée d'une triple épaisseur de papier. Les fuseaux qui le composent sont maintenus par mille huit cents boutonnières dans lesquelles passent des cordons. La journée du 4 juin 1783 est retenue car c'est celle choisie par les états du Vivarais pour se réunir à Annonay. Leur procès-verbal va être essentiel pour assurer la paternité de la découverte et pour que l'Académie des sciences en soit avertie et apporte son concours aux deux frères.

Joseph et Étienne dressent quatre mâts pour suspendre l'enveloppe qu'ils gonflent sur la place située devant le couvent des Cordeliers. Leur globe de 800 m^3 s'envole grâce à un petit réchaud placé sous l'enveloppe et où brûlent de la paille et des sarments de vigne : l'air chauffé se dilate et sa densité diminue. Ainsi gonflé, l'aérostat prend la direction du nord-est et vole pendant près de dix minutes. Il atterrit 2,5 km plus loin, sur un muret de pierre, près d'une vigne.

Le 5 juin, les états du Vivarais rédigent un compte rendu de cette ascension destiné à l'Académie des sciences, qui l'enregistre le 18 juin 1783. Condorcet (1743-1794), député et savant, secrétaire de l'Institut, est chargé par le ministre de former une commission afin de vérifier la réalité de cette invention.

En août, Étienne est convoqué à Paris par l'Académie des sciences qui s'est engagée à participer aux frais des expériences, comme il l'espérait. Il s'installe chez son collègue et ami Réveillon, fabricant de papiers peints faubourg Saint-Antoine.

Étienne construit un aérostat de $1\,000\text{ m}^3$ composé de toile entourée de papier. Le 12 septembre, les membres de l'Académie des sciences se rendent dans les jardins de Réveillon, rue de Montreuil, pour assister à l'expérience. La « montgolfière », gonflée en dix minutes, est déjà montée de quelques mètres lorsqu'un orage éclate. L'eau se met à tomber en rafales et détériore l'enveloppe. Tout est à recommencer.

Étienne ne perd pas courage et décide de construire un nouvel aérostat car, six jours plus tard, une ascension est prévue dans la cour du château de Versailles, devant la famille royale. Lui-même et ses ouvriers accomplissent un exploit : en cinq jours, ils fabriquent un aérostat de $1\,400\text{ m}^3$! Le 19 septembre, le ballon est installé sur une estrade édifiée au milieu de la cour du château. La montgolfière est gonflée, s'envole et prend la direction du bois de Vincennes. Elle emmène trois passagers : un coq, un mouton et un canard. Huit minutes plus tard, elle se pose après un parcours de 3,5 km. Pilâtre de Rozier est le premier sur place. Les passagers n'ont pas souffert en altitude, ils ont pu respirer, en particulier le mouton et le coq, animaux « terrestres » ; le canard, quant à lui, a malheureusement eu le bec cassé à l'atterrissage !

On peut en tout cas désormais franchir le pas et réaliser un vol humain. L'entreprise est plus ardue et rencontre des oppositions, en premier lieu celle du roi qui craint pour la sécurité des passagers.

Entre-temps, Étienne s'est aperçu qu'il avait un concurrent sérieux dans la capitale : le physicien Charles. Désireux de réaliser le premier vol humain, celui-ci s'est, dès l'annonce de l'ascension d'Annonay, et sans même en connaître le procédé, lancé dans la compétition. Tout en se livrant à des expérimentations dans son cabinet des Tuileries, il s'est associé aux deux frères Robert, constructeurs d'appareils de physique place des Victoires, à Paris. Ce sont eux qui ont découvert le moyen de dissoudre la gomme élastique et de rendre étanches les tissus en les enduisant de cette matière.

Charles et les frères Robert construisent une sphère fermée de 60 m^3 . Pour la remplir, Charles produit de l'hydrogène en employant la méthode de Cavendish. Le 27 août 1783, le ballon à gaz est transporté gonflé sur l'esplanade du Champ-de-Mars. Il s'élève à dix-sept heures devant une foule étonnée et enthousiaste, malgré une pluie d'orage. Le ballon part vers le nord, survolant les villages du Bourget, d'Aulnay et de Villepinte. La pression atmosphérique diminuant avec l'altitude et le ballon s'élevant, l'équilibre des pressions interne et externe est rompu : la surpression interne fait bientôt éclater l'enveloppe. Le globe s'abat sur le village de Gonesse. Les habitants, ignorant tout de son départ de Paris, sont pris d'effroi en apercevant le monstre aérien qui se précipite sur eux. La première frayeur passée, les plus courageux se ruent sur lui et le détruisent. Charles remédiera au danger d'éclatement en vol en installant une soupape que l'aéronaute pourra manœuvrer par une corde dans la nacelle. Son ouverture permettra de lâcher du gaz pour abaisser la pression interne. Le lâcher de lest permettra aussi d'alléger le ballon, de le maintenir en vol et, éventuellement, de le faire remonter.

Étienne Montgolfier comprend qu'il lui faut agir vite pour contrer son adversaire. La compétition est lancée, suivant deux méthodes : emploi d'air chaud ou de gaz hydrogène.

Après l'ascension de Versailles, Étienne met en chantier une montgolfière de 2 200 m³ en toile de coton décorée des emblèmes royaux. Elle est munie de deux nacelles reliées par une bande de toile, formant une galerie circulaire. Un foyer placé au centre est alimenté en paille humide. Des essais sont entrepris en captif dans le jardin Réveillon à partir du 10 octobre. Le 12, Pilâtre de Rozier, qui s'est proposé pour être le premier navigateur aérien en compagnie du marquis d'Arlandes, grimpe dans l'une des nacelles, l'autre est lestée. Le courageux physicien a obtenu cette autorisation, le roi étant revenu sur son idée d'utiliser deux condamnés à mort en raison des risques encourus. Le 14 octobre, Étienne passe outre l'interdiction paternelle de voler. À bord de sa montgolfière retenue au sol par des câbles, il « ascensionne » en compagnie du duc de Chartres puis une seconde fois avec Mgr Dillon. Le 15, c'est de nouveau le tour de Pilâtre. Le 19, en compagnie d'André Giroud de Villette, un des directeurs de la fabrique Réveillon, il monte encore jusqu'à 100 m en captif.

Après ces expériences réussies, la montgolfière est prête pour tenter un vol libre. Elle est transportée dans le parc du château de la Muette, près du bois de Boulogne actuel, où, à nouveau, une estrade et quatre mâts sont dressés. Le 21 novembre 1783, Pilâtre de Rozier et le marquis d'Arlandes accomplissent le premier vol libre humain au monde. Ils survolent Paris à 1 000 m d'altitude, parcourant une dizaine de kilomètres en vingt-cinq minutes. L'intensité du foyer diminuant, leur montgolfière se pose en douceur à la Butte-aux-Cailles (l'actuelle porte d'Italie). Le peuple de Paris apprend alors avec soulagement que les deux hommes appartiennent encore au monde des vivants ! L'exploit des deux aéronautes va avoir un retentissement extraordinaire en Europe et dans le monde entier : c'est la première fois que l'on a voyagé dans l'espace !

Si Charles a perdu la course contre les Montgolfier, il n'en poursuit pas moins ses travaux. Il met en chantier un ballon à gaz de 400 m³, en soie imperméabilisée, à bandes jaunes et rouges, équipé d'une nacelle en forme de gondole. Dix jours seulement après le triomphe des Montgolfier et malgré l'interdiction royale – le souverain est toujours effrayé par les dangers d'un vol aérostatique –, il s'envole au-dessus des jardins des Tuileries, en compagnie du plus jeune des frères Robert, Marie-Noël, devant une foule innombrable. Ils parcourent 36 km en direction du nord-est. Après deux heures de vol à 1 000 m d'altitude, ils se posent à Nesles-la-Vallée, près de L'Isle-Adam. Dans la foulée, Charles décide de repartir seul et monte jusqu'à 3 000 m.

La compétition entre les frères Montgolfier et Charles est bénéfique pour le royaume. La France apparaît comme la « reine des airs ». Les armées de la République vont utiliser des ballons captifs comme observatoires. C'est l'un de ces ballons, L'Entreprenant, qui permettra de remporter la victoire de Fleurus contre les Anglo-Hollandais, le 26 juin 1794. (À la différence des ballons de

Charles, l'hydrogène de ces ballons captifs est produit suivant le procédé de Lavoisier.) (et voir la gravure page 97).

L'enthousiasme pour les « montgolfières » et les « charlières » gagne la France et l'Europe entière. La mode « au ballon » envahit le quotidien. Meubles, bijoux, faïences, tissus, habits sont décorés de motifs aérostatiques. Cet engouement durera pendant tout le ^{xix}^e siècle et jusqu'au début du ^{xx}^e siècle. Les ballons accompagnent les fêtes brillantes du Directoire, de l'Empire et de la Restauration. Les sportifs s'affrontent lors de courses, de raids, établissent des records – aujourd'hui encore une fédération des pilotes de montgolfières organise des championnats du monde très suivis des amateurs et qui suscitent l'intérêt soutenu du public.

Félix Tournachon, dit Nadar (1820-1910), le célèbre photographe, se passionne lui aussi pour l'aérostation : en 1858, on lui doit la première photographie aérienne, réalisée à bord d'un ballon au-dessus de la vallée de la Bièvre.

Les ballons trouvent aussi un emploi scientifique. Au cours d'une ascension, le 20 août 1804, les deux savants Louis Joseph Gay-Lussac (1778-1850) et Jean-Baptiste Biot (1774-1862) démontrent que la force magnétique ne décroît pas avec l'altitude. Un mois plus tard, Gay-Lussac, parti seul, découvre qu'à 6 639 m, l'air est le même qu'à la surface du sol.

Tout au long de cette période, le ballon à gaz, gonflé à l'hydrogène ou le plus souvent au gaz d'éclairage, est préféré à la montgolfière. Les aéronautes profitent des usines à gaz proches du centre des villes pour gonfler leur ballon alors que la montgolfière demeure d'un emploi difficile, surtout en raison de l'utilisation d'un réchaud qu'il faut entretenir tout en craignant qu'il n'embrase l'enveloppe. Depuis les années 1970, la tendance s'est inversée et la montgolfière, profitant des techniques modernes, est gonflée grâce à des brûleurs au propane qui permettent de régler la puissance de chauffe. Elle a regagné la faveur des passionnés du plus léger que l'air, d'autant plus facilement que l'utilisation de l'hydrogène, gaz inflammable, est interdite pour remplir les ballons au profit de l'hélium, gaz naturel ininflammable mais très onéreux.

Les aérostats ont retrouvé une utilité scientifique grâce au ballon stratosphérique. Mis en œuvre depuis 1962 par le Centre national d'études spatiales (Cnes), c'est un véhicule d'utilisation simple et pratique. Emportant des charges utiles scientifiques dans l'atmosphère terrestre à des altitudes comprises entre quelques centaines de mètres et 43 km, sur des durées de quelques heures à plusieurs mois, il permet de mener une large gamme de recherches liées à l'aéronomie (qui est l'étude des propriétés physiques et chimiques des couches supérieures de l'atmosphère), à l'astronomie, à la biologie et au magnétisme terrestre. Plusieurs types d'engins existent, comme le ballon « ouvert », dilatable, le ballon pressurisé ou la montgolfière à infrarouge.

Les ballons ne sont pas près de disparaître. On parle à nouveau de développer les dirigeables pour le transport des passagers et surtout du fret. Longtemps encore, on verra monter les « machines aérostatiques » jusqu'aux nuages, comme le souhaitaient les frères Montgolfier.

L'invention du ballon à air chaud

Claudette Balpe

Évoquant l'évasion, la puissance, mais aussi la simplicité car elle fonctionne sans moteur – et ne fait donc pas de bruit –, la montgolfière fascine aussi par son mystère : car enfin, comment une grosse nacelle accrochée à un ballon rempli de gaz peut-elle s'élever « toute seule » ? Les élèves seront aiguillonnés par le désir de comprendre « comment ça marche » autant que par celui de découvrir comment ses inventeurs l'ont imaginée et sont parvenus à la fabriquer.

Du mythe au jeu : comment s'élever dans les airs ?

Des fables de l'Antiquité au mythe d'Icare, puis aux machines imaginaires ou dessinées par Bacon et Léonard de Vinci – pour les plus célèbres de ces précurseurs –, le désir de s'élever dans les airs a toujours taraudé les hommes. Les enfants ont conservé ce rêve, d'où le plaisir qu'ils prennent à jouer avec des objets en papier, des ballons de baudruche, etc.

Le travail pédagogique peut commencer par un recensement des objets aériens sans moteur que connaissent les enfants ou avec lesquels ils jouent : avions ou fusées en papier, cerfs-volants, ballons de baudruche ou ballons de foire, parachutes ascensionnels, planeurs, etc. Cela pour permettre à la classe de se familiariser avec le sujet et pour commencer à dégager quelques caractéristiques.

Se pose d'emblée la question du comment de l'ascension. Les causes en sont vite repérées : énergie musculaire de la main qui lance l'avion en papier, force du vent et tension du fil pour le cerf-volant et le parachute ascensionnel, traction par un autre avion pour le planeur, etc. Plus mystérieux pour les enfants, le cas du ballon de foire renvoie implicitement à celui de la montgolfière, qui, elle aussi, se déplace apparemment toute seule dans l'air. C'est cet implicite qui est source de représentations erronées sur le fonctionnement de la montgolfière, et pas seulement chez les plus jeunes.

Si, lors de la discussion préliminaire, les enfants évoquent les avions ou les fusées, on argumentera de la présence d'un moteur (à combustion pour l'avion, à propulsion pour la fusée) pour mettre à part ces cas où le mouvement est provoqué par un dispositif de transformation de l'énergie produite lors d'une combustion. Cette distinction ne sera peut-être pas facile à comprendre pour les enfants car, dans le cas de la montgolfière, même si du gaz brûle sous l'orifice de l'enveloppe, le ballon n'est pas poussé par un moteur à combustion (comme l'est une voiture) : la combustion du gaz a seulement pour fonction de chauffer l'air contenu dans le ballon. Lorsqu'on arrête de chauffer, la montgolfière

ne tombe pas brutalement, elle peut continuer son ascension un petit moment encore puis redescendre au fur et à mesure que l'air du ballon se refroidit.

Opérer un classement permettra de se repérer et d'identifier les questions à poser. Les enfants recenseront les différents facteurs à prendre en compte dans le déplacement des objets aériens non motorisés : cause du déplacement, forme de l'objet (une fusée de papier ne plane pas comme un avion), nature du matériau, etc. Ils prendront ainsi également conscience de l'énigme que posent le déplacement du ballon de foire gonflé à l'hélium ou celui de la montgolfière : qu'est-ce qui les fait s'élever ? pourquoi ne se maintiennent-ils pas toujours en l'air ? comment les diriger ?

Deux pistes se présentent à l'enseignant pour enrichir les activités proposées dans ce chapitre :

- une piste historique : quels moyens les hommes imaginèrent-ils pour s'élever dans les airs avant qu'ils inventent les moteurs thermiques ? On en profitera pour rechercher comment était faite la première montgolfière (voir le cédérom) ;
- une piste scientifique ouvrant dans plusieurs directions, que nous explorerons ci-dessous : pourquoi un ballon de foire ou une montgolfière s'élèvent-ils seuls alors que celui gonflé par notre souffle finit par retomber au sol ? pourquoi chauffer l'air de la montgolfière ? Enfin, pourquoi les ballons gonflés à l'air chaud, comme ceux gonflés à l'hélium, se maintiennent-ils en l'air sans moteur ?

Savoir tirer profit de ses observations

Pour comprendre comment un ballon gonflé par l'air chaud comme l'était la montgolfière s'élève, l'enfant se heurte à différentes représentations initiales qui correspondent souvent à des croyances erronées. Ainsi pense-t-il qu'il suffit de gonfler n'importe quel ballon pour le voir s'élever ; de même, la description de la montgolfière lui fait croire que le ballon s'envole poussé par l'air chaud... Sa vision est mécanique. Or, son appréciation du mécanisme est fautive : il ne connaît que les forces de traction (à l'aide de fils, de tiges, etc.) et, ici, ne comprend pas « ce qui pousse ou tire le ballon ». L'enfant ignore la poussée d'Archimède, pourtant au cœur du processus de l'ascension. D'où la nécessité de lui permettre d'appréhender de façon qualitative les mécanismes de flottaison dans un fluide.

La poussée d'Archimède

Pour introduire la poussée d'Archimède, on peut évoquer l'expérience des enfants à la mer ou à la piscine : l'impression de peser moins lourd, d'être soulevé, notamment en faisant la « planche ». Cette notion est cependant complexe : divers facteurs interviennent en même temps, d'où la difficulté à l'étudier au niveau élémentaire. On recherchera essentiellement une approche simple et qualitative, sans chercher à établir aucune formule.

Pour cela, on pratiquera par manipulations en s'attachant, à chaque fois, à

comparer l'influence d'éléments pris deux à deux (rapport poids/volume/forme). Les quelques expériences suivantes constituent ainsi des situations-problèmes élémentaires.

Première expérience :

Matériel :

- cinq gobelets identiques en plastique dur (gobelets 1) ;
- des bacs en plastique (10 litres) transparents remplis d'eau ;
- une balance électronique précise au gramme près ;
- du sucre en poudre, de la semoule, de la pâte à modeler, du riz, du sirop de fruits.

Réunis en groupes, les élèves doivent remplir progressivement de sucre, semoule, etc., leur gobelet placé dans un bac en s'arrêtant avant qu'il ne prenne l'eau : c'est-à-dire jusqu'à la « limite de flottaison » (le bord du gobelet est au ras de l'eau, le reste est sous la surface, « immergé »). Une fois l'équilibre réalisé, la quantité de matière introduite dans le gobelet est pesée.

Les groupes mettent alors en commun leurs résultats et constatent généralement que les masses obtenues par chacun sont égales au gramme près entre elles malgré la différence de nature des produits utilisés.

Des questions s'ensuivent : notamment, que se passerait-il si on allégeait le gobelet ? Les élèves émettent leurs hypothèses puis les testent.

Lors des manipulations, chaque groupe mesure la hauteur émergente du gobelet et la relie à la masse de produit retirée. D'où un ensemble de résultats que l'on peut consigner dans un tableau à double entrée. L'analyse de la variation de la hauteur en fonction de la diminution de la masse permet d'établir une conclusion : pour un volume donné (celui du gobelet), plus la masse est allégée, plus le gobelet s'élève au-dessus de la surface de l'eau (on peut faire un tableau de mesures : masse/élévation).

Deuxième expérience :

Le matériel utilisé est le même que celui rassemblé pour la première expérience, à l'exception des gobelets, que l'on remplace par d'autres plus volumineux (plus larges et plus hauts) – ce seront les gobelets 2.

Pour comparer les gobelets 1 et 2, l'enseignant peut interroger la classe sur ceux qui présentent le plus grand volume, en demandant quelle expérience permettrait de vérifier la réponse avancée. Généralement, les groupes remplissent à ras bord un gobelet 2 et en versent le contenu dans un gobelet 1... qui déborde. On peut aussi recourir à un verre doseur pour mesurer exactement les volumes.

Une seconde question s'attache au problème suivant : que se passe-t-il si l'on verse dans le gobelet 2 la quantité de matière qui « fait flotter à ras bord » le premier ?

Les élèves émettent leurs suppositions (« Ça s'enfonce plus ou ça flotte mieux », etc.), réalisent l'expérience (avec le sucre, la semoule, etc., chaque

groupe travaillant avec le produit qu'il a utilisé au départ) et procèdent aux constatations : le gobelet 2 remonte à la surface de l'eau (émerge) quel que soit le produit concerné.

D'où la conclusion : pour une même masse, c'est le gobelet le plus volumineux qui assure la meilleure flottaison.

L'ensemble de ces manipulations permet ainsi de mettre en évidence la complexité du phénomène de flottaison, en une première approche du concept de poussée d'Archimède, tout en permettant d'approcher qualitativement – sans formule mathématique – les divers volets de sa signification concrète. On aboutira finalement à identifier et relier les deux facteurs qui interviennent : le volume et le poids.

Alors que nous avons travaillé jusque-là dans l'eau avec différents produits – sucre, semoule, etc. –, et que les conclusions ont été valables quel que soit celui employé, il reste maintenant à passer à l'air.

La dilatation de l'air

Une expérience peut montrer que chauffer l'air augmente son volume. On a besoin pour cela de deux bouteilles en verre identiques. Toutes deux seront débouchées et coiffées d'un ballon de baudruche et l'une sera placée au bain-marie. Les deux expériences peuvent être présentées par l'enseignant à l'ensemble des élèves, mais elles sont suffisamment simples pour être réalisées par les groupes devant leurs camarades.

L'enseignant invite les élèves à comparer les volumes et les masses des deux bouteilles : ils sont identiques deux à deux puisque les bouteilles sont les mêmes et qu'elles contiennent donc, au départ, la même quantité d'air. Après quelques minutes, la classe peut constater que le ballon coiffant la bouteille au bain-marie se gonfle. Comment expliquer ce phénomène ?

Les enfants font des suppositions et pointent les différences : l'air contenu dans la bouteille placée au bain-marie a été chauffé. On peut dès lors parvenir aux conclusions suivantes :

- pour un volume d'air identique au départ (celui de la bouteille), le ballon se gonfle au-dessus du goulot lorsque l'air est chauffé ;
- si la baudruche gonfle, c'est que l'air de la bouteille correspondante afflue vers le haut : il faut pour cela que l'air chauffé augmente de volume (on dit qu'il se « dilate ») ;
- le volume du dispositif (bouteille + ballon) a augmenté sans qu'on ait « rajouté d'air » : la masse de l'ensemble est donc conservée bien que le volume ait augmenté (ici, pour lever la confusion masse/volume, on peut peser l'équipage à froid puis à chaud – à condition d'aller vite...).

On retrouve là la conclusion de l'activité précédente : pour une même masse, c'était le gobelet qui avait le plus grand volume qui assurait une plus grande flottaison.

Après discussion, on peut, par analogie, imaginer que la bouteille soit remplacée par une « bulle d'air » et l'on comprendra que chauffée, cette bulle d'air

deviendra plus volumineuse. Il s'ensuivra donc, qu'à l'image du gobelet 2 – qui s'élève sur l'eau parce qu'il est plus volumineux –, la bulle, devenue plus grosse parce que chauffée, s'élèvera dans l'air. Et pour la montgolfière ? Plus l'air est chauffé, plus la masse contenue dans le volume est allégée et plus le ballon s'élève, une hypothèse que l'on vérifiera en fabriquant une (voir plus loin).

Lorsque l'air contenu dans l'enveloppe de la montgolfière est chauffé, il se dilate, donc son volume augmente. Mais comme l'enveloppe qui le contient n'est pas extensible, une partie de l'air doit s'échapper par l'ouverture : il y aura donc une masse moindre d'air chaud dans l'enveloppe que lorsqu'elle était remplie d'air froid. La montgolfière remplie d'air chaud pèse finalement moins que la montgolfière remplie d'air froid et elle peut alors s'élever. Mais lorsqu'elle prend de l'altitude, l'air contenu dans l'enveloppe se refroidit, il diminue de volume. De l'air froid extérieur entre dans l'enveloppe : la montgolfière s'alourdit, et descend.

Une fois ces principes acquis, on s'interrogera sur le choix du gaz utilisé – l'air chaud pour la montgolfière, l'hydrogène pour le ballon inventé par le savant Charles à la même époque. On comprendra (en se référant aux données sur les gaz – 1 litre d'air froid pèse 1,3 g, 1 litre d'air chaud moins de 1 g et 1 litre d'hydrogène un dixième de gramme – et à des calculs sur les poids comparés de deux volumes égaux de gaz différents) qu'un ballon d'air chaud pèse davantage que le même ballon rempli d'hydrogène (ce gaz a été abandonné depuis la tragédie du dirigeable Hindenburg, en 1937).

À l'origine de la découverte

Ce travail sur la montgolfière est aussi l'occasion de faire prendre conscience aux enfants que cette invention marqua en fait l'aboutissement de tout un processus multiforme, à la fois technologique, scientifique, économique et politique. S'attacher à ceux qu'on a coutume d'appeler les « précurseurs » invite à déplacer la question du génie individuel vers celle de la pensée collective. L'étude des textes historiques permettra aux enfants de retracer les différentes étapes de l'invention de la montgolfière en examinant à rebours l'importance des faits de tous ordres annonciateurs de cette découverte.

Ainsi est-il intéressant de savoir que, bien avant de se lancer dans leurs travaux autour du ballon à air chaud, les frères Montgolfier s'intéressaient déjà à la navigation aérienne et aux propriétés des gaz sur lesquels ils avaient lu plusieurs ouvrages. Il conviendra à cet égard d'étudier le « Rapport fait à l'Académie des sciences, sur la machine aérostatique de MM. de Montgolfier » (voir le cédérom), lequel présente l'influence des différentes recherches antérieures.

La part du hasard sera encore minorée lorsque les enfants aborderont l'anecdote de la chemise de Joseph séchant devant la cheminée. Cet épisode serait resté sans conséquence si Joseph n'avait réfléchi en même temps au moyen de s'élever dans les airs tout en scrutant une gravure représentant le siège de

Gibraltar par les Espagnols...

La suite des différents essais laissera encore apparaître l'importance du rôle de l'Académie des sciences pour certifier la découverte, et celle de Louis XVI, qui espérait que cette découverte prometteuse lui permettrait d'accomplir son projet de transport d'hommes à des fins militaires – une idée que partageaient les académiciens, comme on peut le voir dans le rapport précité.

Enfin, les enfants pourront remarquer qu'au XVIII^e siècle, les inventeurs n'étaient pas forcément des savants. Que l'ingéniosité, la ténacité tenaient parfois lieu de savoir scientifique ou technique : l'analyse de la longue liste des essais menés par les frères Montgolfier, avec toutes les modifications et améliorations successives, mettra en lumière toutes les qualités leur ayant permis de parvenir à leurs fins.

Fabriquer une montgolfière et éprouver son fonctionnement

Les enfants ont étudié le principe physique qui prévaut dans le fonctionnement de la montgolfière, et ils savent désormais comment et pourquoi elle peut s'élever sans moteur dans les airs. L'histoire des frères Montgolfier montre bien qu'ils n'ont pas fait « voler » leurs engins avant de maîtriser les principes scientifiques expliquant leur « flottaison » dans le ciel. Mais de l'intellect à l'expérience vécue, la distance est grande...

Les enfants reproduiront un modèle déjà conçu. Car les problèmes qu'ils vont rencontrer seront surtout techniques, et redoutables à ce niveau ! Et ce d'autant qu'il leur faudra construire leur montgolfière avec les matériaux dont ils disposent dans la vie courante (cette utilisation d'éléments qui évoquent ceux utilisés par les frères Montgolfier apporte une dimension culturelle à laquelle les enfants sont sensibles). Les élèves ne disposent pas d'outils spécialisés, ni de colle ultraforte. Ils doivent découper soigneusement, ajuster... La coopération est nécessaire !

Pour assurer le succès de l'opération, l'enseignant doit organiser le travail des groupes en développant les « étapes de la fabrication », dans une démarche habituelle aux activités techniques menées en classe. C'est l'occasion pour lui de faire réfléchir les enfants sur l'organisation des tâches, le matériel nécessaire, les solutions techniques (quelle colle ? quel papier ?), les bons gestes, la répartition du travail, etc.

Quelques conseils sont disponibles sur le site

<http://www.inrp.fr/lamap/activites/air/idees/temoignage/montgolfiere.htm> (voir également la fiche des Cemea en ligne sur le site de La main à la pâte).

L'école de Gourgé a suivi le protocole suivant :

Matériel :

- six feuilles de papier de soie de couleur ;
- du papier cartonné ;
- une paire de ciseaux ;

– le gabarit d'un demi-fuseau (il y aura donc six fuseaux).

Construction :

- prends les feuilles de papier de soie et plie-les en quatre ;
- prends le gabarit et trace ses contours avec ton crayon de papier sur les feuilles ;
- découpe sur les traits : tu obtiens des fuseaux qu'il faut décorer ;
- colle les fuseaux bord à bord de façon à obtenir l'enveloppe de la montgolfière ;
- découpe un cercle de papier de soie et colle-le en haut de la montgolfière pour que l'air ne passe pas par en haut.

Une fois la montgolfière construite, il faut la faire « s'envoler », et donc chauffer de l'air. On procède d'abord à l'étude des moyens de chauffage : sèche-cheveux, radiateur soufflant, décapeur thermique ou petit brûleur de camping-gaz. On peut aussi faire brûler un peu de produit combustible dans une grosse boîte au-dessus de laquelle on tiendra la montgolfière, qui se gonflera peu à peu (attention, quel que soit le moyen adopté, le chauffage devra se faire en extérieur, dans la cour de l'école). Un classement indiquera les propriétés, avantages ou limites de chacune de ces propositions. Le choix sera discuté et argumenté : si l'on choisit un décapeur thermique, il faut savoir que le temps de gonflage de la montgolfière sera beaucoup plus long qu'avec un camping-gaz ; mais si l'on a recours à ce dernier, il faudra prévoir un cylindre métallique qui fasse cheminée pour diriger l'air chaud dans la montgolfière, et encore ce dispositif nécessitera-t-il, pour éviter les pertes de chaleur, de maintenir étroitement serrée une collerette ininflammable sur le cylindre. On profitera du fait que les enfants soutiennent la montgolfière pendant le chauffage pour souligner que la réussite de l'opération demande que certaines conditions soient réunies : l'objet, fragile, doit être maintenu avec précaution, dans une position verticale, etc. Les élèves découvriront également l'importance de deux autres facteurs : le poids du papier (ils comprendront ainsi pourquoi le papier de soie est utilisé préférentiellement à un autre matériau) et un collage bien hermétique.

En classe élémentaire, un sèche-cheveux placé à l'ouverture permet de voir la montgolfière s'élever de quelques centimètres pour quatre ou cinq secondes de chauffage.

Intéressons-nous enfin à la nacelle de la montgolfière : quelle masse un ballon de 1 m^3 peut-il soulever ?

La force ascensionnelle est la différence entre le poids déplacé (air froid, $1,3 \text{ g/l}$) et le poids réel (air chaud, $0,77 \text{ g/l}$), soit environ $0,5 \text{ g/l}$. Plus on chauffe, plus l'air occupe de place : pour un volume donné, plus la différence entre le poids de l'air froid et celui de l'air chaud est grande, plus la force ascensionnelle est importante.

Un ballon de 1 m de diamètre a un volume d'environ $0,4 \text{ m}^3$, soit 400 l . On peut estimer qu'un tel ballon peut soulever environ 200 g ... masses de l'enveloppe et de la nacelle comprises.

La montgolfière aujourd'hui, ou la renaissance d'une technique

À la suite de l'invention des frères Montgolfier, toute l'Europe se prend d'engouement pour les « plus légers que l'air ». La course à la vitesse commence et, avec elle, la mode de la traversée de la Manche par aérostat. La concurrence entre Charles et Pilâtre de Rozier, l'un des pionniers des vols en ballon à air chaud, se solde par la mort du second : pour aller plus vite, il avait emmené avec lui un ballon à hydrogène, qui s'enflamma... Cet épisode mit en évidence le danger des ballons, quels qu'ils soient, et les ballons à hydrogène cessèrent brutalement d'être utilisés. Les montgolfières, quant à elles, seront presque abandonnées jusqu'à la seconde moitié du xx^e siècle : en effet, on ne pouvait transporter suffisamment de paille pour aller aussi loin qu'avec un ballon à hydrogène. Si, au début du xx^e siècle, Louis Godard invente le brûleur à propane, ce dernier est encore trop peu efficace pour redonner aux montgolfières une véritable utilité et il faut attendre les années 1960, avec l'invention de nouveaux matériaux et, surtout, l'utilisation de brûleurs à propane plus performants pour les voir réapparaître.

Les enfants pourront se renseigner sur les nouveaux usages de la montgolfière : elle réapparaît soit comme support publicitaire, soit comme objet de loisirs destiné aux amoureux d'ascensions aériennes.

Ce sera l'occasion pour la classe d'examiner une montgolfière moderne si l'on en a l'opportunité. Mais les élèves pourront déjà mener des recherches sur la structure de ces engins. Ils noteront l'importance des nouveaux matériaux utilisés pour la fabrication de l'enveloppe – matériaux non inflammables, légers, résistant à de hautes températures – et rechercheront les caractéristiques du brûleur et de son usage.

Le principe du brûleur à propane est très simple : le gaz contenu dans les bouteilles est sous pression, donc liquide. Il passe dans un serpentin de vaporisation, dans lequel il se détend et se vaporise : il peut alors être brûlé. L'air de l'enveloppe est ainsi chauffé jusqu'à une centaine de degrés et le ballon devient plus léger que le même volume d'air environnant. Le talent du pilote consiste à chauffer au bon moment. En effet, le brûleur n'est pas utilisé de manière continue mais par à-coups et, l'effet ne se faisant sentir qu'au bout d'une dizaine de secondes, le pilote doit anticiper le refroidissement du ballon.

Il était une fois, dans une paisible basse-cour près de Paris, aux alentours de 1790, un vieux, très vieux canard que plus personne n'écoutait, si ce n'était un petit public de canetons avides d'histoires. Il s'appelait Auguste, et, en effet, il ne se passait pas une seconde sans que ses vieux pieds palmés soient envahis par une foule de petits auditeurs. Les canetons insistaient tant et si bien que, résigné, le vieil Auguste allait se trouver un trou bien confortable et s'y nichait avec application pour y raconter encore une fois son incroyable histoire. Les canetons, soudain silencieux, s'installaient de même, du mieux qu'ils pouvaient, et se laissaient bercer par l'histoire du vieux canard, qu'ils avaient déjà entendue mille et mille fois mais dont jamais ils ne se lassaient. " Oui, les enfants, le roi Louis XVI lui-même s'est déplacé pour voir Auguste le canard ! Parfaitement, Auguste, votre vieux grand-père, mais surtout... la montgolfière ! "

Les yeux des canetons s'arrondissaient et tous retenaient leur souffle.

" Si je vous disais que j'ai vu Paris à mes pieds et que j'ai joué avec les vents et les nuages ? Mais autant commencer par le commencement. Avant de finir mes vieux jours dans cette basse-cour, j'ai appartenu aux frères Joseph et Étienne Montgolfier, ce qui n'était pas de tout repos, je dois bien le dire. Quelle drôle de paire...

" Avec Franz, leur coq, et Hubert, leur mouton, nous les voyions sans cesse courir en tous sens, marcher le nez en l'air, puis s'arrêter pour contempler les nuages pendant des heures, repartir de plus belle, découper de la toile, apporter de la paille... Un jour, nous nous décidâmes à nous approcher de la maison, pour savoir ce qui les agitaient tant mais aussi parce que, dans leur distraction, ils avaient oublié de nous nourrir. Et alors, une fois dissimulés dans l'embrasure de la fenêtre, nous fûmes en position d'en savoir un peu plus. Par chance, la cage de leur canari, qui s'appelait Barnabé, se trouvait tout près de la fenêtre et il nous expliqua la raison de tout ce remue-ménage - l'intérieur de la maison était dans un désordre indescriptible. Rouleaux de papier, restes de repas vite expédiés, plumes pour écrire - dont plusieurs étaient jaunes, ne put s'empêcher de remarquer Franz - remplissaient la pièce. Seuls quelques livres, dont un qui était très volumineux, semblaient échapper à tout ce fatras. Barnabé attira notre attention sur ce gros ouvrage, car les frères le consultaient très souvent et religieusement avant de s'aventurer dans de très périlleuses expériences.

" L'obsession des frères Montgolfier, nous dit-il de sa toute petite voix, était de voler, tout comme les oiseaux du ciel, mais leurs bras, si maigres et si patauds, ne leur permettaient pas de quitter le sol. Il leur fallait trouver autre chose. Autre chose...

" Un jour, Joseph, l'aîné, alors qu'il faisait sécher sa chemise au-dessus du feu, la vit se gonfler peu à peu. Elle était remplie d'air chaud. Il n'en aurait pas fallu beaucoup plus pour qu'elle s'envole jusqu'au plafond. Et depuis ce jour, poursuivit Barnabé, les frères Montgolfier n'ont cessé de découper de la toile, de la coudre selon des plans à chaque fois plus précis, construisant des ballons de plus en plus grands et les remplissant d'air chaud.

" À ce stade du récit, Hubert le mouton, que les choses aériennes ne passionnaient pas plus qu'il ne fallait, partit rechercher un carré d'herbe bien verte à grignoter. Voilà où en étaient les choses. Nous en apprîmes davantage en surprenant une conversation entre les deux frères quelques jours plus tard.

" "Faisons les choses discrètement, répétaient-ils. Imaginons une seconde que les voisins, reniflant l'odeur de la paille brûlée et voyant s'élever au-dessus de notre jardin une sphère de toile, nous volent notre idée ! Elle est si simple : l'air que nous faisons chauffer devient plus léger. Une fois emprisonné dans sa boule de toile, il emporte le tout vers le ciel. Quel désastre s'il venait à quelqu'un l'idée de nous devancer..."

" Franz, le coq, était très agacé : "Que les hommes, ces drôles d'animaux, nous laissent tranquilles, nous, les oiseaux ! Nous sommes les rois du ciel, les hommes n'ont rien à faire là-haut !" Mais Hubert, le mouton, la bouche encore remplie d'herbe, ne put s'empêcher d'ajouter que les coqs étaient bien trop paresseux pour voler et qu'il était largement temps pour lui d'apprendre, avant que les frères Montgolfier ne le devancent. Franz, blessé dans son orgueil, tourna les ergots et s'en alla en grommelant.

" Hubert ne savait pas à quel point il avait raison. En effet, le jour suivant, les deux frères se mirent à nous regarder avec beaucoup d'intérêt, et nous les vîmes, par la fenêtre, dessiner de nombreux plans. Une fois de plus, Barnabé le canari nous fut d'un précieux secours : il était temps maintenant pour les frères Montgolfier de voir les choses en grand, de construire un gigantesque ballon, rempli d'air chaud, et de le faire s'élever devant les hommes les plus importants qui soient, afin que cette invention demeure à jamais la leur. Pourquoi pas devant le roi de France lui-même ? Il n'en croirait pas ses yeux. Et pourquoi ne pas aussi faire monter un homme à bord, pour cette expérience ? Le premier homme à quitter la Terre, rencontrer les nuages, toucher le Soleil peut-être ? Non, trop dangereux décidément, l'homme n'est peut-être pas fait pour cela. Peut-être pourrait-on envoyer des animaux à la place des êtres humains ? S'ils survivent, alors l'homme pourra partir à la conquête des cieux sans aucun souci.

" Nous comprîmes tous alors pourquoi les frères Montgolfier nous regardaient avec insistance depuis peu...

" Le grand jour finit par arriver. Ce fut le 19 septembre 1783, dans le parc du château de Versailles. Beaucoup de curieux s'y étaient rassemblés, pour voir l'événement bien sûr, mais aussi pour saluer le roi, qui était entouré de majestueux vieillards à barbes blanches parlant beaucoup entre eux.

" Pour la première fois, nous eûmes l'occasion de voir le résultat fini de toute l'agitation des deux frères : un énorme ballon, construit à partir de toile de coton cousue sur du papier, gonflé par un feu de paille et à la base duquel était accroché un panier. Pour quelle raison ? Nous ne le savions que trop bien. Nous allions devoir vérifier s'il était possible de voler et rester en vie... Je ne vous cache pas que nous avions une peur bleue, même si Franz paraissait s'en moquer et qu'Hubert, l'air faussement détendu, grignotait un des parterres de fleurs du grand jardin. "Pourquoi ne pas plutôt utiliser le gros livre des deux frères ? marmonnait-il. Il ferait le poids, au moins..." Mais Barnabé le fit taire d'un vif coup de bec sur le crâne.

" Une fois le ballon de toile cousue entièrement rempli d'air chaud, il fallut le retenir avec des cordes, parce qu'il menaçait de s'élever tout seul. On se saisit alors de nous, les animaux, doucement, mais fermement, pour nous placer dans le panier.

" Les cordes qui retenaient le ballon furent vite coupées et alors commença pour nous trois la plus formidable aventure qu'il soit donné de vivre à une créature terrestre, devant des yeux royaux démesurés. Tout sembla devenir si petit, si ridicule ! Même les hommes, d'habitude si menaçants et maladroits avec leurs longues pattes, ne nous paraissaient pas plus grands que de petites fourmis. Franz, voulant paraître blasé, ne pouvait s'empêcher de faire des remarques désagréables et Hubert, fasciné par le spectacle grandiose du paysage, lui écorcha l'aile d'un coup de dent pour le réduire au silence. Pas un bruit, pas un cri, et la Terre qui défilait lentement sous nos pattes. Au bout de quelques minutes, Hubert, levant la tête, remarqua que l'air du ballon n'était plus si chaud et Franz, penché sur le rebord du panier, nous annonça que nous nous rapprochions du sol. "Logique, pensais-je, l'air chaud, si léger, refroidit. Nous devenons plus lourds à mesure que le ballon perd de sa chaleur. Et donc, d'ici à quelques minutes, nous devrions toucher terre, quand le ballon aura totalement refroidi."

" À notre grande tristesse, cela finit en effet par arriver, et, tout en douceur, nous nous posâmes dans un champ, à 3 kilomètres et demi de notre point de départ, comme nous devions l'apprendre plus tard. L'expérience n'empêcha pas Hubert de se chercher un carré d'herbe bien goûteuse pour se remettre de ses émotions ; Franz se plaignait de son aile blessée; quant à moi, l'esprit encore dans les nuages, je ne rêvais que de pouvoir y retourner.

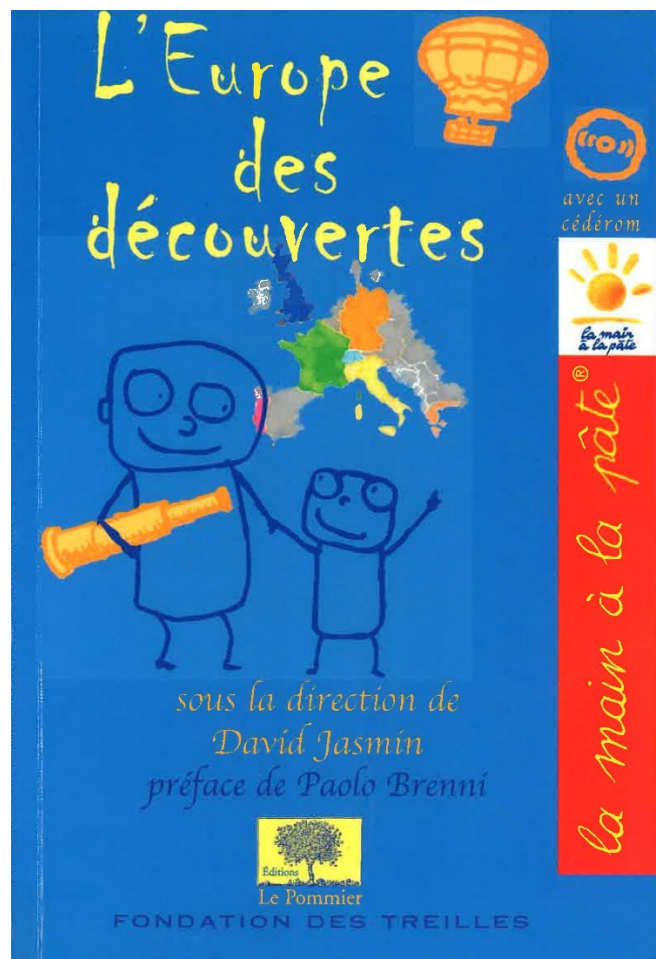
" Soudain, nous vîmes émerger de tous côtés les vénérables vieillards qui entouraient le roi au parc du château. Écarlates, hors d'haleine, ils parlaient très vite et écrivaient fébrilement des choses sur le papier qu'ils avaient apporté. Les frères Montgolfier arrivèrent enfin et furent chaudement félicités par les vieux messieurs. Barnabé nous apprit plus tard qu'ils étaient membres de la célèbre Académie des sciences et qu'ils étaient les auteurs du gros livre consulté par les frères. À partir de ce jour, les frères feraient partie du livre et d'autres liraient le récit de leur fabuleuse expérience.

" Franz, Hubert et moi avions l'impression d'être les héros dorlotés et bichonnés d'une incroyable découverte. Comme nous aurions voulu retourner là-haut, retrouver les vents et les nuages, rire du minuscule petit monde s'agitant sous nos pieds... Hélas pour nous, ce furent les hommes qui nous remplacèrent bientôt. Imaginez les fantastiques possibilités que cette invention offrait à ces créatures à deux pattes que la nature avait attachées à la Terre !

" Toujours est-il que, quelques jours après notre mémorable périple, le 21 novembre, au cours d'une expérience similaire à la nôtre, pour la première fois un homme survola la surface de la Terre, mais cela, mes enfants, c'est déjà une autre histoire. "

Mathias Dilys

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 cd-rom, 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 cd-rom, 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