

DE L'INTUITION A LA CONCEPTUALISATION: LE FIL D'ARIANE DE LA PRATIQUE EXPERIMENTALE

Soizic MELIN, Thierry CASTERMANS et Pierre GILLIS
Université de Mons-Hainaut
Physique expérimentale et biologique
Centre de Didactique des Sciences
Avenue du Champ de Mars, 24
7000 Mons

Le présent article rend compte d'une recherche en éducation qui est la continuation d'un travail précédent (recherche en éducation 65/98), publié dans « le Point sur la Recherche en Education » en mars 2000 (n°15, pp.21-27).

Au centre de notre démarche figure le souci de restaurer le lien entre la construction d'un corpus scientifique, rigoureux, conceptuel et cohérent, et une approche intuitive, voire ludique. Ce lien ne va pas de soi : souvent, tous les épistémologues l'ont fait remarquer d'une manière ou d'une autre, l'émergence d'une théorie scientifique exige une rupture avec les données immédiates du bon sens, et donc avec la spontanéité de l'intuition. Mais cela n'empêche que ce travail se fait à partir d'une matière première, que l'on ne peut puiser que dans une perception attentive du quotidien. La difficulté de cette dialectique se traduit dans des problèmes de vocabulaire que tous les enseignants des sciences doivent affronter : les mots de la physique sont ceux de la vie courante (force, travail, pression, impulsion, etc.), mais leur passage dans un cadre conceptuel a un prix - ils sont, pourrait-on dire, enserrés dans un corset qui restreint la liberté de leur usage.

Il nous semble clair que la tradition de l'enseignement de la physique accentue beaucoup plus le second volet (rupture et redéfinition stricte), alors que le premier (transformation et épuration à partir de l'expérience du vécu) a tendance à se faire évanescer. Nous souhaitons tordre le bâton dans l'autre sens, de manière à éviter un cloisonnement catastrophique entre, d'une part, des connaissances qui ne seraient « que » scolaires et livresques, et d'autre part, la découverte des phénomènes de la nature, directement ou à travers l'exploitation qui en est faite pour mettre au point des objets artisanaux ou industriels. En général, et bien que nous nous soyons efforcés d'éviter un usage inapproprié ou abusif des concepts de la physique, on découvrira peut-être ci et là dans notre travail que notre souci de nous appuyer sur l'intuition a produit une formulation discutable, d'un point de vue puriste - pas dans la partie du travail qui concerne le secondaire, espérons-le, mais à l'occasion, dans la partie destinée au primaire : tout bien pesé, cela ne nous semble pas inacceptable.

Un problème analogue de continuité/rupture, avec les objets de la vie courante cette fois, concerne le matériel destiné aux expériences de laboratoire. Il est aussi possible et utile de montrer que la découverte et l'observation de la physique ne sont pas nécessairement conditionnées par la maîtrise d'un matériel lourd

Nous avons poursuivi parallèlement un double travail. A l'intention d'enfants de 6e primaire, et après avoir exploré les voies d'une initiation à l'électricité (voir « Initier les enfants à l'électricité : pourquoi et comment ? », le Point sur la Recherche en Education », mars 2000, n°15, pp.21-27), nous nous sommes intéressés à l'air et la pression atmosphérique. D'autre part, et à l'intention de l'enseignement secondaire supérieur, nous avons rassemblé et présenté un ensemble de manipulations consacrées à la propagation du son et à l'acoustique.

MONTRER AUX ENFANTS UNE REALITE INVISIBLE : L'AIR

Bien que l'air soit présent partout, les enfants ignorent souvent sa présence.

Pour les enfants de moins de 12 ans, il est difficile d'imaginer qu'il y a « quelque chose » dans une bouteille « vide ». Les psychologues appellent cela le « primat de la perception » l'enfant éprouve des difficultés à concevoir ce qui ne se perçoit pas, et tout particulièrement ce qui ne se voit pas.

L'air permet une belle illustration de cette idée : lorsqu'il est immobile, l'air n'est pas reconnu par les enfants en âge d'école primaire comme étant de la matière ; il n'est détectable que lorsqu'il se déplace (courant d'air, vent, fuite dans un ballon, sèche-cheveux, ventilateur ...).

Mais si l'air n'est pas immédiatement détectable, certaines des manifestations de sa présence le sont facilement. Attirer l'attention des enfants sur ces manifestations permettra en outre de mieux appréhender l'environnement dans lequel ils vivent.

Le but de ces séances sera donc double :

- une prise de conscience de la présence constante de l'air autour de nous ;
- découvrir ses effets (parfois surprenants).

Organisation d'une séance

Au début de chaque séance, dans une partie du local, autour d'un tableau, une petite réunion est organisée avec les enfants pour leur présenter le **défi** du jour. Le défi est l'objectif à atteindre, par exemple : prendre une pièce de monnaie placée dans un fond d'eau sans se mouiller les doigts, renverser un verre rempli d'eau sans le vider, trouver un moyen pour mesurer sa cage thoracique, faire décoller une fusée, construire un baromètre...

Les enfants reçoivent, à chaque séance, une (ou plusieurs) fiche(s). Chaque **fiche**¹ est présentée de la même manière : une feuille format A4 pliée en deux proposant ainsi quatre faces. La première face situe le thème et propose le défi. La deuxième face donne la liste du matériel que l'enfant peut utiliser. La troisième face propose une aide, des pistes, que l'enfant peut explorer s'il manque d'inspiration - ce qui est rare. Enfin, la dernière partie propose un jeu, un exercice de fixation.

Pendant l'expérience proprement dite, les élèves sont en possession d'un **matériel** très simple et sont libres de l'utiliser comme bon leur semble, le but étant de réaliser le défi. Ce matériel est essentiellement un matériel de « récupération », fait de « bouts de ficelle » : bouteilles en plastique, élastiques, ballons de baudruche...

Pour certains groupes, l'imagination est fertile, des idées astucieuses sont émises rapidement. Pour d'autres groupes, une aide extérieure est nécessaire.

De manière à stimuler les débats d'idées entre les enfants, nous avons proposé à ceux-ci de travailler en groupes. Des **groupes** de deux ou trois élèves ont donc été formés, ces groupes sont restés inchangés pendant les cinq séances afin de bénéficier d'une certaine continuité dans le travail.

Dans chaque groupe, un rapporteur se propose au début de la séance. Après concertation avec les autres participants du groupe, ce rapporteur retranscrit le défi, dans un **cahier baptisé « cahier d'expériences »**, fait un schéma de l'expérience, note les observations faites, s'essaie éventuellement à une tentative d'explication. Ce rapporteur est différent à chaque séance. Nous (enseignants) pensons que nous devons vraiment être très attentifs à cette rédaction qui permet de fixer, de stabiliser les idées, de chercher et trouver les mots les plus appropriés pour qualifier les gestes, les observations.

D'une manière générale nous avons remarqué que si l'imagination est fertile pour trouver des astuces expérimentales, il en va tout autrement pour rédiger le compte rendu de l'expérience il faut donc permettre aux enfants d'y consacrer un temps suffisant.

En fin de séance, nous proposons à toute la classe un retour près du tableau pour un travail de synthèse. Ce moment est très important car il permet une nouvelle **confrontation des idées**, à l'échelle de la classe cette fois. Chacun a l'occasion de donner son avis, de le justifier, mais aussi - c'est parfois plus difficile - d'apprendre à entendre l'avis des autres. Cette discussion permet à l'élève de remettre en cause sa propre façon de penser. Les conclusions qui se dégagent d'une telle discussion sont généralement davantage intériorisées que si elles étaient le fait d'une imposition (plus ou moins autoritaire) de l'enseignant..

Pour terminer la séance, une synthèse s'élabore souvent autour d'une maquette simple qui permet de visualiser et concrétiser les nouvelles connaissances. Par exemple, l'agitation moléculaire est simulée par le mouvement de morceaux de polystyrène enfermés dans un aquarium en plastique transparent et mis en mouvement par la soufflerie d'un aspirateur.

¹ Ces documents sont accessibles à l'adresse : www.agers.cfwb.be/pedag/ressources/rech65

Les institutrices et instituteurs peuvent utiliser un **fascicule**² qui leur est spécialement destiné. Ce fascicule se voudrait le plus complet possible. Il comprend deux parties importantes. Dans la première, l'enseignant trouve, pour chaque expérience, la liste du matériel nécessaire, la description détaillée de l'expérience, les observations faites et les explications correspondantes.

Une deuxième partie va plus loin dans les informations, elle s'intitule d'ailleurs « Pour en savoir plus ». Cette partie permet d'anticiper des questions plus spécifiques et plus profondes que pourraient poser les enfants.

Le programme des séances

Cinq **séances** d'une heure et demie chacune ont été programmées

- Prise de conscience
- La magie au service de l'éveil scientifique
- La respiration
- Propulsion d'engins
- La météorologie

L'objectif principal de la **première séance** est de faire prendre conscience, aux enfants, que bien qu'invisible, l'air est présent tout autour de nous.

Nous proposons trois défis très simples pour déclencher cette prise de conscience : est-il facile de soulever, de manière brutale, une feuille de journal posée sur une table en donnant un coup sec sur une latte posée en dessous ? Est-il facile de gonfler un ballon de baudruche préalablement introduit à l'intérieur du goulot d'une bouteille en plastique ? Est-il possible de gonfler un ballon de baudruche sans souffler dedans ?

Dans les deux premiers cas la réponse est non, « quelque chose » empêche d'atteindre le but fixé. Dans le troisième cas la réponse est oui, « quelque chose » joue en notre faveur.

Après réflexions et discussions, « l'obstacle » aux deux premiers défis et « l'allié » au troisième est identifié comme étant l'air. Les enfants qui, en début de séance, pensaient que la bouteille posée sur la table est vide, sont maintenant convaincus que cette bouteille contient « quelque chose » qu'ils appellent « air ».

L'objectif principal de la **deuxième séance** est de montrer, en réalisant des « tours de magie », les effets de la présence de l'air. A partir de ces différents tours de magie, les enfants découvrent quelques propriétés de l'air. .

L'expérience du mouchoir « plongé » dans l'eau (chiffonné et coincé dans le fond d'un verre retourné et plongé - l'ouverture vers le bas - dans un récipient rempli d'eau, le mouchoir en ressort sec) permet aux enfants de constater que l'air peut être comprimé.

² Ces documents sont accessibles à l'adresse : www.agers.cfwb.be/pedag/ressources/rech65

Imaginer que l'air appuie sur les objets qui nous entourent en exerçant une force dirigée du haut vers le bas, est relativement facile. Par contre, imaginer que l'air exerce cette force dans toutes les directions et notamment du bas vers le haut, est moins évident. Les enfants prennent conscience de cette propriété en réalisant l'expérience du verre rempli d'eau, recouvert d'un carton, renversé et qui ne se vide pas même quand le carton est lâché.

L'expérience de la pièce de monnaie posée dans un fond d'eau et qu'il faut prendre sans se mouiller les doigts, ou celle de l'oeuf trop gros qui rentre dans le goulot d'une bouteille dont le diamètre est a priori trop petit pour le laisser passer montrent qu'en chauffant (il faut utiliser une bougie pour relever le défi), l'air se dilate et qu'en refroidissant, il se contracte.

L'objectif principal de la **troisième séance** est de comprendre le mécanisme de la respiration chez l'homme et de mesurer la capacité thoracique de chacun.

Les enfants construisent un modèle très simple de cage thoracique (avec une bouteille de plastique dont le fond a été découpé et remplacé par une feuille de plastique souple attachée par un élastique, un ballon de baudruche fixé à l'intérieur de son goulot). Ce modèle extrêmement simple, et parlant permet aux enfants de visualiser les variations de volume et donc de pression à l'intérieur des poumons.

Une autre expérience leur permet d'estimer la quantité d'air inspirée et expirée par jour, dans des conditions normales. Leur étonnement est à la mesure de la valeur obtenue en m³ ...
Les questions posées alors par les enfants fusent dans toutes les directions. Il est question d'apnée, de la respiration chez les poissons ... Leur curiosité est immense et rarement rassasiée !

La quatrième séance montre que l'air peut aussi servir à la propulsion de certains engins.

Lors de cette séance; les enfants, construisent différents engins : un « avion » propulsé avec de l'air, une « fusée » propulsée avec de l'eau et de l'air, et un « aéroglisseur » ...

Si, avec un peu de chance, le temps le permet, faire décoller la fusée à plusieurs mètres de hauteur est un vrai régal. C'est de loin la séance qui remporte le plus de suffrages ...

Il faudra cependant spécifier que dans l'espace, les fusées n'ont pas besoin d'air pour se déplacer. Les enfants entrevoient, sans le formaliser, le principe de l'égalité de l'action et de la réaction.

Le modèle de l'aéroglisseur est aussi remarquablement simple : un disque en verre percé en son centre d'un trou, et sur lequel on colle un petit tuyau, on fixe sur celui-ci un ballon de baudruche gonflé. Ce ballon se dégonfle progressivement, le disque se soulève et l'aéroglisseur démarre... Certains enfants se découvrent alors une vocation d'ingénieur ! Arrivent alors, inévitablement, les questions sur les sous-marins. Nous ne sommes plus très loin du principe du ludion et de la poussée d'Archimède. .

Une **cinquième séance** est également possible. Nous ne l'avons malheureusement pas réalisée, faute de temps. Cette séance a comme objectif l'étude de la météorologie et peut rejoindre le cours de technologie. En effet, elle permet le maniement de la girouette, ou la réalisation d'un pluviomètre, l'observation du thermomètre et la construction d'un baromètre. Même si les résultats obtenus, avec ce modèle de baromètre, ne sont pas spectaculaires, celui-ci a le mérite de visualiser, de manière simple, les variations de pression atmosphérique.

Le public

Deux écoles sont venues participer à ces séances. Il s'agit des deux écoles de Mons qui étaient déjà venues participer aux séances proposées sur le thème de l'électricité : l'école du SacréCoeur (réseau catholique) située au Chemin de la Procession à Mons et l'école du Rossignol (école communale) située rue du Rossignol à Mons.

Nous avons proposé ces séances cette fois, uniquement, aux enfants de 6ème primaire et plus aux enfants de 5ème et 6ème primaire. En effet, nous avons pensé que le concept de pression atmosphérique est un peu difficile à acquérir pour les enfants de 5e".

A deux ans déjà, l'enfant compare ce qui flotte et ce qui coule, à trois il teste le fonctionnement d'objets techniques, à huit il se pose des questions naïves et profondes, celles-là même qui sont à l'origine de la science...

Nous pensons qu'il faut s'appuyer sur ce questionnement, et le stimuler. C'est ce que nous avons voulu faire en prenant le thème de « l'air et la pression atmosphérique ».

En passant, l'enfant se sera étonné : la réalité est parfois différente de l'idée qu'il s'en fait, la bouteille « vide » contient bien quelque chose. Il aura remis en cause une idée reçue : l'air n'exerce pas uniquement une force dirigée du haut vers le bas. Il aura aussi appris à travailler par essais-erreurs, par « erreurs rectifiées » : pourquoi construire le modèle du poumon d'une telle manière plutôt que d'une autre ?

Notre but premier était donc que les enfants se familiarisent avec cette pratique scientifique élémentaire. Comme indiqué en introduction, le vocabulaire utilisé se veut volontairement simple, de manière à ne pas « décoller » du quotidien. La rigueur viendra ensuite, par petites touches successives.

De l'avis général, le notre et celui des institutrices, l'expérience a rencontré un vif succès. C'est sans doute pour cela que nous nous permettons de penser que les bénéfices retirés par les enfants sont substantiels.

Et dans le futur ?

Cette expérience nous a permis de confirmer que l'obstacle le plus important qui s'oppose à une généralisation de ce type d'initiation scientifique dans l'enseignement primaire a trait à la formation des enseignant(e)s. C'est à cette tâche que nous souhaitons consacrer nos efforts futurs : il serait souhaitable d'infléchir la formation des futurs instituteurs et institutrices de manière à y incorporer de tels éléments de programme.

L'ACOUSTIQUE, UN DOMAINE INSUFFISAMMENT EXPLOITE

Il y a plusieurs années que nous organisons une exposition annuelle à l'intention des rhétoriciens, et nous avons souvent abordé le thème des ondes à cette occasion. Nous avons remarqué que dans ce domaine, l'acoustique fait un peu figure de parent pauvre, nettement moins souvent mise en valeur que l'optique ou la mécanique des cordes vibrantes. Pourtant, l'acoustique est un domaine riche de possibilités expérimentales. Nous avons dès lors concentré nos efforts dans cette direction, afin de fournir aux enseignants un protocole d'expériences traitant des divers aspects physiques de l'acoustique.

Nous nous en sommes tenus à un impératif du même ordre que celui qui nous a guidés pour le primaire : éviter, dans la mesure du possible, le matériel coûteux. Nos expériences sont en général réalisables avec un minimum de matériel et ne demandent pas de la part du professeur une grande expérience en bricolage. Il est parfois nécessaire de passer plus de temps pour mettre certaines manipulations au point, mais celles-ci sont alors souvent spectaculaires et ne peuvent laisser l'auditoire sans réaction. L'ordre dans lequel nous les présentons relève de la convention et le professeur aura toute latitude dans le choix des expériences qu'il réalisera avec ses élèves. En général, plusieurs expériences ont trait au même thème principal de l'acoustique (ondes stationnaires, phénomènes de résonance, ...) et nous avons ajouté des variantes aussi souvent que possible, afin de multiplier les possibilités de choix. Les développements qui suivent ne constituent pas une liste exhaustive des manipulations mises au point, mais seulement une illustration de la démarche suivie, et quelques exemples simples de manipulation.

La production d'un son

Dans un premier temps, nous mettons en évidence qu'un son est toujours dû à la vibration d'un objet (la corde pincée d'une guitare, la membrane d'un haut-parleur, les cordes vocales, une cloche, etc.)

La propagation du son

Une fois produit, ce son a besoin d'un milieu élastique (gaz, liquide, solide) pour se propager. Le son est un exemple d'onde longitudinale, c'est-à-dire que la perturbation du milieu élastique est parallèle à la direction dans laquelle se propage l'onde.

Contrairement à la lumière, le son ne se propage pas dans le vide. C'est en général l'air qui sert de milieu élastique entre la source vibrante et l'oreille, mais on peut remplacer l'air par des solides (si l'on place l'oreille contre le sol d'une route, par exemple, celle-ci transmet les sons ou bruits mieux que l'air) ou des liquides (les plongeurs entendent sous l'eau, les poissons s'enfuient lorsque l'on fait du bruit sur le rivage). Expérimentalement, ces constatations seront établies en vérifiant qu'on n'entend pas un réveil qui sonne à l'intérieur d'une cloche à vide, ou en se parlant à l'aide d'un « téléphone » constitué de deux boîtes de conserve reliées par une corde de chanvre tendue, de quelques mètres de long.

La transmission d'un son depuis la source jusqu'à l'oreille ne se fait pas instantanément. On voit par exemple l'éclair avant d'entendre le coup de tonnerre. Si le milieu dans lequel le son se propage est homogène, la vitesse du son est uniforme et les fronts d'onde sont des sphères centrées sur le point source. La vitesse de propagation d'un mouvement vibratoire produit dans l'air est indépendante de la fréquence de ce mouvement vibratoire. C'est ainsi que l'audition d'une série de sons très rapprochés et très différents, par exemple d'un morceau de musique, n'est pas altérée par la distance, ce qui montre que les intervalles de temps qui séparent l'audition des différents sons sont les mêmes que ceux de leur émission. Pour mesurer la vitesse du son, on peut donc utiliser un son quelconque.

Nous proposons d'effectuer cette mesure en étudiant la variation du déphasage entre le signal émis par un générateur et le signal capté par un micro, en fonction de la distance qui les sépare.

La vitesse du son ne dépend pas de sa fréquence, mais elle dépend du milieu dans lequel il se propage : mesure à l'aide du tube de Kundt, qui permet de déterminer la longueur d'onde de l'onde sonore en repérant les noeuds et les ventres de l'onde stationnaire qui s'installe dans le tube et qui provoque l'accumulation de la poudre placée dans le tube, précisément là où se trouvent les noeuds de cette onde.

L'impression produite par un son

Outre la *durée*, on peut distinguer trois qualités essentielles dans un son : l'intensité, la *hauteur* et le *timbre*.

L'*intensité* d'un son dépend de l'amplitude du mouvement vibratoire de la source qui lui donne naissance ; le son produit par un diapason, par exemple, s'affaiblit au fur et à mesure que ses oscillations s'amortissent. L'intensité dépend également de la surface de la source sonore, de la distance d de l'observateur à la source sonore (décroissance en $1/d^2$) et de la nature du milieu élastique interposé entre la source et l'oreille (le feutre et la laine affaiblissent considérablement les sons).

La *hauteur* d'un son est liée à la fréquence du mouvement vibratoire de la source sonore : les sons les plus aigus ont les fréquences les plus grandes et inversement.

Deux sons de même intensité et de même hauteur peuvent donner naissance à des sensations différentes. Ainsi, deux instruments de musique donnant la même note à l'unisson peuvent se distinguer l'un de l'autre ; on dit que ces deux sons diffèrent par leur « timbre ». L'analyse d'un son à l'oscilloscope via un micro montre que les différences de timbre correspondent à des différences de profil du signal périodique.

Il a aussi été établi que les impressions sonores ne prennent naissance que si la fréquence des vibrations est comprise entre certaines limites qui sont légèrement variables d'un individu à l'autre (il peut d'ailleurs être intéressant de faire l'expérience avec un haut-parleur relié à un générateur à fréquence variable). Pour donner naissance à un son audible, la fréquence d'un mouvement vibratoire doit être comprise entre 20 et 20 000 Hz.

Tout cela peut être vérifié à l'aide d'un microphone et d'un oscilloscope, sur lequel on visualisera les signaux produits par différentes sources sonores (voix humaine, diapasons, enregistrement de différents instruments de musique, ...).

Le même appareillage peut être utilisé pour illustrer la différence entre un son et un bruit, en observant la périodicité du signal correspondant au son émis par un diapason, par exemple, et l'absence de périodicité du signal correspondant au claquement des mains.

L'onde sonore

Tout comme la lumière, le son peut être réfléchi et réfracté. La *réflexion* du son donne lieu au phénomène bien connu de l'écho, qui est à la base de l'acoustique d'une salle de concert ou de cinéma. La *réfraction* du son, quant à elle, est mise en évidence en interposant dans un faisceau sonore un ballon rempli d'un gaz autre que l'air, par exemple du CO₂, dans lequel le son se propage moins vite que dans l'air, ou de l'He, dans lequel le son se propage plus vite que dans l'air. Dans le premier cas, le ballon agit comme une lentille convergente, et on observe derrière le ballon une augmentation de l'intensité sonore ; dans le second cas, le ballon se comporte comme une lentille divergente, et on observe derrière le ballon une diminution de l'intensité sonore.

Si le son est une onde, on doit pouvoir mettre en évidence les phénomènes *d'interférence* et de *diffraction*. En effet: on peut montrer cette interférence en divisant une onde sonore monochromatique en deux, et en confinant chacune des moitiés dans un tuyau de PVC. Les deux tuyaux se rejoignent plus loin, et la longueur du trajet parcouru dans l'une des branches peut être ajustée par une coulisse. L'intensité du signal enregistré par un micro varie périodiquement avec la longueur de la coulisse variable, précisément à cause de l'interférence entre les deux signaux.

Une des raisons d'être des baffles est de restreindre les effets non souhaités de la diffraction du son. On constate que les basses passent très mal dans le petit haut-parleur. Par contre, lorsque l'on tient le haut-parleur derrière le baffle, le son devient nettement plus fort, en phénomène de battement. Si la fréquence d'une des deux sources est légèrement changée, on remarque que le rythme auquel l'amplitude du son varie change également. Ce rythme est appelé fréquence de battement. Lorsque la différence entre la fréquence des deux sources diminue, la fréquence de battement devient plus faible. Un guitariste, par exemple, peut tirer parti de cet effet pour accorder sa guitare avec un diapason. En augmentant ou en diminuant la tension de chacune des cordes, il écoute la fréquence de battement. La corde est accordée au diapason lorsque la fréquence de battement devient nulle.

Deux diapasons, dont l'un est légèrement désaccordé parce qu'un cavalier est attaché à l'une de ses branches, permettent d'entendre ce battement.

Ondes stationnaires

De manière générale, la présence d'ondes stationnaires est inhérente au fonctionnement de tous les instruments de musique. Cette présence est conditionnée par la satisfaction d'une relation précise entre la longueur d'onde du son produit, et les caractéristiques géométriques des caisses de résonance, ou plus simplement du support de ces ondes sonores. On vérifiera par exemple que la fréquence du son émis par un tube fermé lorsqu'on souffle dedans est approximativement la moitié de celle du son émis lorsqu'on souffle dans un tube de même longueur, mais ouvert. Approximativement seulement: à cause d' « effets de bord » qui s'appliquent à l'extrémité ouverte d'un tube, le rapport de fréquence est légèrement inférieur à une octave. Nous proposons également un modèle simple du système vocal humain, qui permet de comprendre la notion de formants et pourquoi la voix devient subitement aiguë lorsqu'on inhale de l'hélium...

Les résonances

Nous proposons ensuite quelques expériences qui ont pour but de montrer les conséquences parfois spectaculaires de la résonance. Les vibrations communiquées à l'air par une source sonore peuvent amplifier les vibrations d'une source voisine ou même les provoquer si les périodes des deux sources sont égales ou des multiples entiers l'un de l'autre. Par exemple, si l'on place deux diapasons identiques l'un en face de l'autre et que l'on fait vibrer l'un d'eux, on constate que l'autre entre en vibration.

Les résonateurs sont des cavités dont l'air entre en vibrations peu amorties pour une ou plusieurs fréquences bien déterminées ; en particulier, les tuyaux sonores sont des résonateurs pour les sons qu'ils sont capables d'émettre. On utilisera les résonateurs pour renforcer le son émis par une source ; par exemple, en posant un diapason sur une caisse de résonance accordée avec le son qu'il émet, on en augmentera l'intensité.

Il est aussi possible d'utiliser un tuyau comme **résonateur afin de filtrer** un bruit blanc : on passe l'enregistrement d'un bruit blanc (par exemple, le bruit de fond émis par une cassette usagée) sur un lecteur de cassette, et on place deux tubes de carton coulissant l'un dans l'autre, de manière à pouvoir en faire varier la longueur, sur le haut-parleur de la machine. Lorsque la longueur du tube augmente, on perçoit un son de plus en plus grave, c'est-à-dire de fréquence de plus en plus basse.

Certains résonateurs, tels les résonateurs sphériques, n'entrent en vibration que pour une seule fréquence. Les caisses de résonance des instruments de musique doivent être au contraire très peu sélectives, de façon à ne pas renforcer inégalement certains sons ou certaines harmoniques.

La bouche, grâce aux formes différentes qu'elle est susceptible de prendre, sert de résonateur pour les différents sons de la voix.

Enfin, et en guise de conclusion tout à fait provisoire, on rappellera que de nombreux phénomènes de la vie courante sont liés à l'acoustique. Nous avons choisi d'expliquer le principe du sonar et le système vocal humain.

QUELQUES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Pour nous guider dans la réalisation des séances destinées au primaire, nous nous sommes inspirés des livres suivants

- o Ardley N.* - A la découverte de la science - Editions Bordas Jeunesse - Paris 1995
- o Ardley N.* - Le petit chercheur - L'air - Editions Bordas Jeunesse Paris - 1992
- o Ardley N.* - Le petit chercheur - La météo - Editions Bordas Jeunesse Paris - 1993
- o Beaumont E.* - La météo, pour la faire connaître aux enfants - Editions Fleurus - Paris -1998

- o Canal J-L.* - *Margotin M.* - *Pierrard M-A.* - *Tavernier R.* - *Cahier d'activités* - CM 1 et CM2 -Physique et technologie -Nouvelles collections Tavernier- Editions Bordas -1996
- o Dupré J-P.* - Méga Junior - Encyclopédie vivante Nathan - Paris -.1996
- o Sella M.* - *Mawet D.-P.* - *Air, vent, vol* - Atelier Science - Editions Gamma - Les Editions Ecole Active - London - 1992

Une revue nous a aidés pour la réalisation de la fusée

Space Connection-n°33, décembre 2000 articles sur les microfusées à eau.

Nous avons aussi consulté certains sites du Web, en particulier

o <http://www.edres74.cur-archampsfr> (IUFMacadémie de Grenoble) o <http://www.lesdebrouillards.qc.ca/experiences/> o <http://www.inrpfirillamap> (la main à la pâte)

Des **CD-roms** nous ont été aussi fort utiles

o CD-rom «Adi »-accompagnement scolaire collège de la 6ème à la 8ème, Sciences Cocktail o CD-rom « Comment ça marche ? » - Nathan multimédia o CD-rom « 103 découvertes » - Emme Paris - Lascaux Belgium

Et pour les expériences d'acoustique,

- E. R. Jones et R. L. Childers, 1993, « Physics », 2^e de édition, Addison-Wesley Publishing Company.
- Y. Pérelman, 1987, « La physique récréative », éditions Mir
- De nombreuses pages web, que nous avons reprises dans les « liens » de notre site « Physique Passion » (<http://eurekalia.umh.ac.be/sitepedago/eurekalia.htm>)