

NATURE, PHÉNOMENES PHYSIQUES ET VIE QUOTIDIENNE.

Frédéric MARTHALER, Albino IMPÉRIAL
LDES, Université de Genève

MOTS-CLÉS : PHYSIQUE – ÉNERGIE – CHALEUR – MÉCANIQUE – LUMIERE – LASER - INTERFÉRENCES – VIBRATIONS – ACOUSTIQUE – HARMONIQUES – ÉLECTRICITÉ – PHOTOVOLTAÏQUE – PHOTON – ÉLECTRON – COURANT – PRINCIPE DE CONSERVATION – ACCUMULATEUR

RÉSUMÉ : La nature nous parle constamment de physique. Notre vie quotidienne nous met de même en contact avec une foule de phénomènes physiques que nous considérons comme familiers et dont, pourtant, nous ne prenons pas assez conscience. C'est sur quelques-uns de ces domaines de la physique élémentaire (l'énergie, la lumière, l'électricité, l'acoustique...) que les auteurs ont voulu attirer l'attention des participants, ceci à travers la manipulation d'instruments de mesure et des expériences didactiques très variées.

SUMMARY : Nature is always speaking to us from physics. Our every day life puts us in contact with a lot of physical phenomenon which are familiar to us. But we are not sufficiently conscious of this...To attract the attention of the participants, the authors would examine several of these domains (energy, light, electricity, acustic...) and that true manipulation of instruments of measure and with some didactical experiences.

1. INTRODUCTION.

C'est vrai que la physique nous accompagne partout dans notre vie quotidienne. Sans toujours nous en rendre compte, nous sommes en contact avec une foule de phénomènes mécaniques, calorifiques, optiques, acoustiques. Nous en prenons assez rarement conscience, ou alors, un peu naïvement, nous nous créons une vision un peu magique du monde extérieur. Inutile d'approfondir alors, puisque d'autres s'en chargent. Ou bien nous avons peur de n'être pas en mesure de comprendre les phénomènes physiques et encore moins de les dominer. On prend alors l'habitude de « laisser cela aux spécialistes, techniciens et autres initiés ».

Il est vrai aussi qu'il faut 5 à 8 ans d'études pour avoir une bonne idée de la physique. Ce n'est donc pas en une heure et demie que l'on pourra en faire le tour ici !

Cependant, dans ce domaine, chacun a quelques bases qu'on peut tenter de consolider. C'est justement cet aspect didactique et épistémologique qui doit nous retenir, avant tout.

Les domaines principaux de la physique sont autant de chapitres importants des cours conventionnels. Les principaux sont la mécanique, les ondes, l'acoustique, l'optique, la chaleur, l'électricité et la structure atomique de la matière...

Cette séance ne doit pas ressembler à un cours. Il s'agit simplement d'identifier un certain nombre de phénomènes de la physique en relation avec la nature et la vie quotidienne de chacun de nous.

2. CHALEUR.

Chaleur spécifique, chaleur de fusion, chaleur d'évaporation... Pourquoi fait-il plus chaud lorsqu'il pleut ? (Restitution de l'énergie d'évaporation.) Pourquoi il est inutile de mettre la source de chaleur au maximum pour faire cuire plus vite les aliments dans notre cuisine ? Etc. C'est autour de questions semblables que notre atelier a débuté...

Au quotidien, nous avons d'abord, autour de nous, les êtres familiers de notre entourage, les meubles, les objets environnants. Mais il y a aussi l'**air**, qui est invisible.

Composition : L'air est un mélange de 4/5 d'azote et de 1/5 d'oxygène, en négligeant quelques traces de gaz rares...

Caractéristique : Notons d'abord sa température, en degrés Celsius. On constate qu'il fait plus chaud dedans que dehors, en ce moment. C'est impression devrait d'ailleurs être vérifiée, car souvent nos sens nous trompent.

Expérience : Trois petits récipients sont remplis respectivement avec de l'eau froide, de l'eau tiède et de l'eau chaude... Si une main trempée dans le premier récipient ($t_1 = 15^\circ\text{C}$) passe rapidement dans l'eau du second ($t_2 = 30^\circ\text{C}$), l'eau de ce dernier nous paraît chaude. En revanche, si la main est trempée d'abord dans l'eau du troisième ($t_3 = 45^\circ\text{C}$) et passe rapidement dans l'eau du second ($t_2 = 30^\circ\text{C}$), l'eau de ce dernier va cette fois nous paraître froide ! Quelle est la solution pour éviter de graves erreurs d'estimation par nos sens ? La mesure !

La mesure, c'est l'arme du physicien ! Il a conçu des instruments de mesure qui, précisément, sont *fidèles* en donnant toujours la même valeur de mesure lorsque les conditions sont les mêmes.

Il y aurait évidemment toute une philosophie à développer concernant les mesures de certaines grandeurs comme l'espace, le temps, la masse... Mais notre propos est aujourd'hui ailleurs.

L'un des phénomènes annexes de la chaleur, c'est la dilatation des corps, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, lorsque s'élève la température ! L'agitation thermique, due à la chaleur, augmente la vitesse des particules constituant la matière, si bien que les molécules ou les ions d'un cristal ont tendance à s'éloigner les uns des autres... Cette particularité est d'ailleurs à la base du fonctionnement des thermomètres.

À certains moments, des phénomènes nouveaux peuvent se greffer sur les anciens... Un morceau d'aluminium chauffé fortement va se dilater et, à une certaine température, il va fondre et le corps prend alors l'état liquide. Ses propriétés changent (il épouse la forme de récipient qui le contient). Si l'on continue de le chauffer, le liquide passe à l'état de vapeur et ses molécules occupent alors tout l'espace disponible, comme l'air de cette pièce...

Mais revenons à nos instruments de mesure. Qu'est-ce qu'un thermomètre de laboratoire ? C'est un petit récipient de liquide (alcool coloré ou mercure), surmonté d'un fin capillaire dans lequel on a gradué la hauteur de la colonne, linéairement.

Mais inutile de le secouer avant de faire une mesure, comme un thermomètre médical ! (Comme l'a fait un professeur de Rome dans un cours de perfectionnement !) Il suffit de le mettre en contact avec le corps dont on veut connaître la température. Si c'est l'air, il faut avoir bien soin de relever la température sous abri, sinon, on risquerait de ne mesurer que la température du thermomètre, lequel pourrait bien s'échauffer davantage au soleil !

Revenons à notre air environnant. Sa masse spécifique est $\rho = 1.3 \text{ kg/m}^3$. L'air est *léger* ! Une autre de ses caractéristiques, c'est sa pression p . Au bord de la mer, elle est d'un peu plus de 1000 hPa (hectopascal).

Dans ce mélange particulier qui est l'air, on peut encore se trouver d'autres corps gazeux, selon les circonstances. Par exemple, dans cette enceinte fermée, il peut y avoir de la vapeur d'eau. Si elle était *en équilibre thermodynamique* avec une grande bassine pleine d'eau, elle pourrait saturer l'atmosphère, c'est-à-dire que la quantité de vapeur (invisible) dans l'air, ne pourrait pas être dépassée à la température considérée. Si on en mettait davantage, de l'eau se déposerait à l'état liquide sur les parois du récipient, ou de la salle hermétiquement fermée dans laquelle nous pourrions nous trouver. (La rosée !) On dirait qu'il y a alors 100% d'humidité (H) ! Si l'on peut établir qu'il n'y a que la moitié de cette valeur de saturation, on dit alors que le taux hygrométrique de l'air est de $H = 50\%$! Il est important de bien comprendre cela pour faire sécher son linge dans les meilleures conditions, ou pour s'expliquer pourquoi, dans une atmosphère tropicale très humide, notre transpiration naturelle n'aide plus du tout à nous rafraîchir...

L'**eau** est très importante aussi, sur notre planète. Elle se trouve toujours quelque part dans notre environnement direct. Tous les êtres vivants en ont besoin. Elle se trouve quelquefois à l'état solide (la neige, les glaces polaires), mais aussi à l'état liquide (dans les mers, les lacs et les rivières et dans tous les êtres vivants !) et enfin à l'état gazeux, comme nous l'avons vu plus haut.

Mais l'eau a aussi des propriétés physiques importantes. Par exemple, sa chaleur spécifique est très élevée¹... Elle est plus élevée que celle des métaux comme le bronze ou l'aluminium, comme nous avons pu nous en persuader en les mettant, dans un récipient d'eau froide de masse égale, chacune des pièces métalliques chauffées à 100°C (température d'ébullition de l'eau).

La température finale était d'environ 50°C ! L'eau n'a gagné que 30°C, tandis que le morceau d'aluminium a perdu à peu près 50°C !

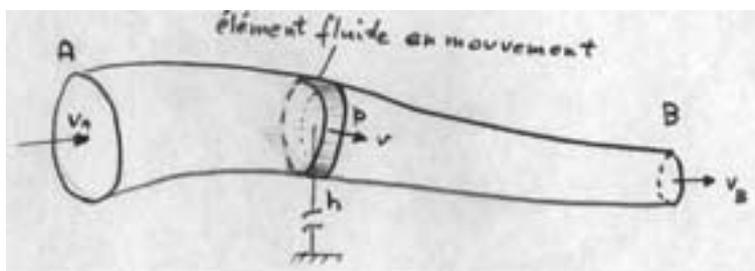
Un rappel s'impose, ici. À la pression normale, lorsque l'eau atteint 100°C, elle se met à bouillir. Sa température ne monte plus. Toute l'énergie qui lui est fournie sert à libérer les molécules d'eau, qui s'échappent du liquide. C'est l'évaporation, car les molécules d'eau quittant le liquide sont maintenant sous forme gazeuse. Inutile donc de forcer la flamme pour faire bouillir les pâtes plus vite ! La température de l'eau de la casserole ne monte plus. (Il faut y penser. Économie d'énergie oblige !)

De même, à la pression normale, lorsque la température tombe à 0°C, l'eau gèle. Elle passe de la phase liquide à la phase solide ! (Formation des cristaux de neige.) Si la pression est plus élevée, l'eau bout à une température inférieure à 100°C, mais elle gèle en revanche à une température plus élevée ! Cela permet de comprendre pourquoi le patin glisse sur la glace. La pression exercée par le patineur fait fondre la glace et le patin roule sur les molécules d'eau ! Si la pression est inférieure à la pression normale, comme en haute altitude, l'eau se met à bouillir à une température bien plus basse. (Difficulté de faire cuire des spaghettis à 4000 mètres !)

3. FLUIDES EN MOUVEMENT.

En faisant le bilan d'énergie le long d'un *filet de courant* d'un fluide, le physicien suisse Bernoulli a découvert une relation fort intéressante pour les liquides et les gaz peu compressibles :

Dans un filet de courant, le fluide doit donc traverser la section en B plus vite que la section en A.

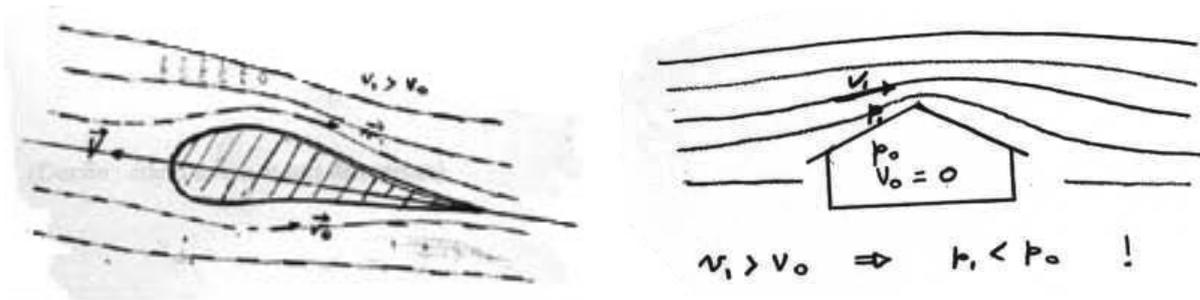


Dessin :
Tube de courant selon Bernoulli...
 $p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{Const.}$

(**p** est la pression, **ρ** la masse spécifique, **v** la vitesse, **g** l'accélération de la pesanteur, **h** la hauteur)

Cette formule explique bien des paradoxes intéressants, comme le vent qui soulève des toits de chalets de montagne, la portance des ailes d'avions ou encore les oscillations qui prennent naissance à l'embouchure d'une flûte traversière ou sur l'anche d'une clarinette !

¹ La molécule d'eau a 6 degrés de liberté, 3 de translation, 3 pour la rotation. Elle peut donc absorber beaucoup d'énergie dans ses mouvements ! Les atomes formant les mailles d'un réseau cristallin (métal) ne peuvent, eux, que « vibrer » dans 3 directions ! Leur chaleur spécifique est donc plus faible que celle de l'eau !



Dessins : aile d'avion et toit de maison

La différence de pression donne une poussée de bas en haut, dans les deux cas !

Concernant le comportement de l'air, l'équation des gaz parfaits est une autre relation intéressante :

$$pV = RT$$

Où p est la pression du fluide, V son volume, R une constante physique invariable et T la température absolue².

Si p augmente, à volume constant, la température du gaz augmente ! (Pompe à vélo.)

4. L'ACOUSTIQUE ET LES ONDES SONORES..

Un autre domaine fascinant a été évoqué, celui des ondes en général.

Exemples : Les ondes mécaniques (pierre dans l'eau), les ondes sonores ou acoustiques (variation de pression brusque dans l'air), les ondes lumineuses (variation du champ électrique dans le vide) ou encore les ondes radio (de la même nature que la lumière). Etc.

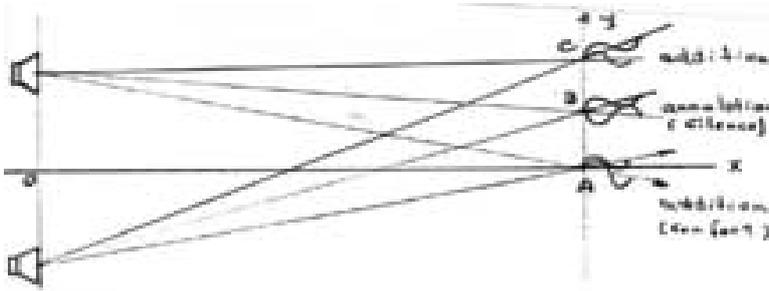
Les *ondes acoustiques* (ou *sons*) ont des fréquences auxquelles notre oreille est sensible (entre 20 Hz et 20 kHz). Elles peuvent être provoquées par des chocs d'objets, le vent, la vibration d'une membrane de haut-parleur, une corde vibrante ou encore par les oscillations d'une colonne d'air dans un tuyau d'orgue...

À l'instar des ondes électromagnétiques, examinées plus loin, les sons résultent également de vibrations, mécaniques celles-là, qui se propagent dans notre espace environnant matériel. Cela signifie qu'il faut absolument qu'il y ait de la matière (solide, liquide ou gazeuse), afin que ces ondes, qui progressent de proche en proche, viennent frapper notre oreille, le détecteur ! C'est également une forme d'énergie qui est transportée d'un point de l'espace à un autre.

Les propriétés générales des ondes se manifestent aussi, bien sûr. Les **interférences sonores**, mettant en évidence les endroits privilégiés où les ondes s'additionnent ou se soustraient, selon les

² Si toutes les particules d'un corps devenaient immobiles, sa température absolue serait nulle. La température absolue donne donc une mesure de l'agitation thermique. À 0 °C, la température absolue est $T=273,15$ K (Kelvin). Donc le zéro absolu correspond à -273.15 °C.

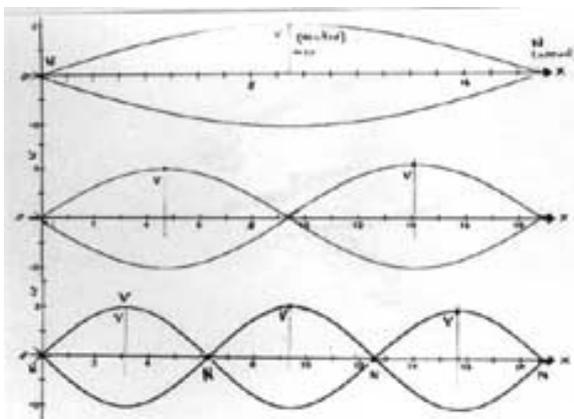
différences de phase. Dans notre atelier, deux sources sonores, distantes de quelques mètres et constituées par deux haut-parleurs, émettaient en même temps un signal sonore de 1000 Hz (1000 oscillations à chaque seconde).



En déplaçant la tête dans l'espace environnant, on a pu constater les renforcements des sons à certains endroits et, au contraire, leur disparition en d'autres endroits !

Dessin : Interférences acoustiques de 2 HP

Une autre démonstration a illustré un phénomène extrêmement intéressant : l'existence des ondes stationnaires dans un tube de plastique que l'on fait tourner dans l'air. Les perturbations produites par le frottement à une extrémité se propagent comme une onde jusqu'à l'autre bout du tuyau, où elles sont réfléchies. Au milieu du tuyau, elles s'additionnent, mais elles restent évidemment nulles aux extrémités. On a ainsi une sorte de ventre au milieu et des nœuds aux extrémités. D'autres cas de figure peuvent se présenter, il y a toujours des nœuds aux extrémités, mais il peut apparaître deux ventres équidistants dans le tuyau, ou même trois, ou quatre... etc.



On peut voir successivement le 1^{er} mode (1 ventre, 2 nœuds), le 2^e mode (2 ventres, 3 nœuds) et le 3^e mode (3 ventres, 4 nœuds)...

LES DIFFÉRENTS MODES D'ONDES STATIONNAIRES

Notre oreille peut alors nettement entendre des sons différents, correspondant aux différentes longueurs d'ondes adaptées à la longueur du tuyau. Les fréquences, liées à la vitesse de propagation (ou célérité c) du son dans le tuyau, obéissent à la relation simple $\lambda \cdot \nu = c$. Ainsi plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence augmente. Les sons que nous entendons possèdent donc une certaine fréquence pour le son fondamental (le plus *bas*), disons 200 Hz. Les suivants auront donc les valeurs successives double (400 Hz), triple (600 Hz), quadruple (800 Hz), quintuple (1000 Hz), etc.

Ce sont les sons harmoniques, qui sont à la base de la musique et des notes traditionnelles des gammes musicales que nous utilisons pour chanter ou jouer des instruments !

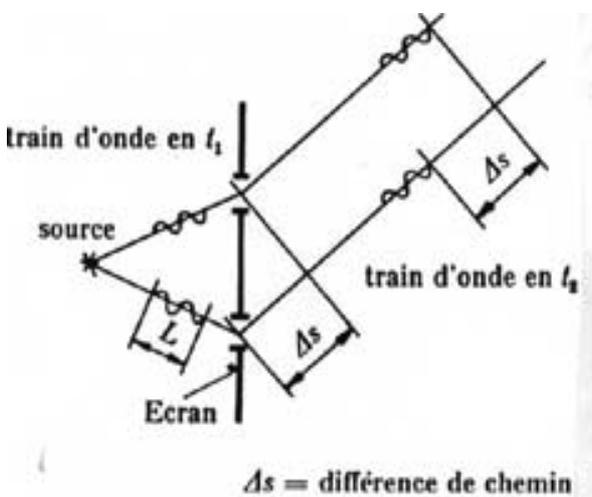
L'expérience faite devant les participants, avec un simple tuyau souple en plastique, a permis de mettre en évidence les différents harmoniques naturels à l'origine des notes de musique...

5. ONDES ET ELECTRICITE.

Un rayon de lumière, c'est quoi, au juste ? Le moteur de l'Univers, c'est l'énergie et, donc, tous les phénomènes physiques ne sont que des transformations d'énergie d'une forme à l'autre... Ces transformations se manifestent très souvent sous forme d'ondes. Par exemple la lumière, qui se propage aussi dans le vide, sans support matériel, nous montre les deux facettes de sa nature : le dualisme onde-particule.

Notre atelier a cherché à montrer son **comportement ondulatoire** à l'aide d'un rayon laser (issu d'un petit générateur à lumière rouge, de 650 nm de longueur d'onde).

Les différents aspects communs à toutes les ondes (réflexion, réfraction, diffraction) ont été montrés au moyen de miroirs, plans et convexes, de lentilles et de réseaux...



Lors du passage de ce rayonnement cohérent à travers deux fentes minces rapprochées, les ondes apparaissant de l'autre côté des fentes reproduisaient les figures typiques des interférences.

Le même phénomène a pu être constaté, ensuite, par la réflexion du faisceau rouge sur un *réseau*, fait de nombreuses lignes parallèles. L'écartement des maxima d'interférences est alors aussi beaucoup plus grand.

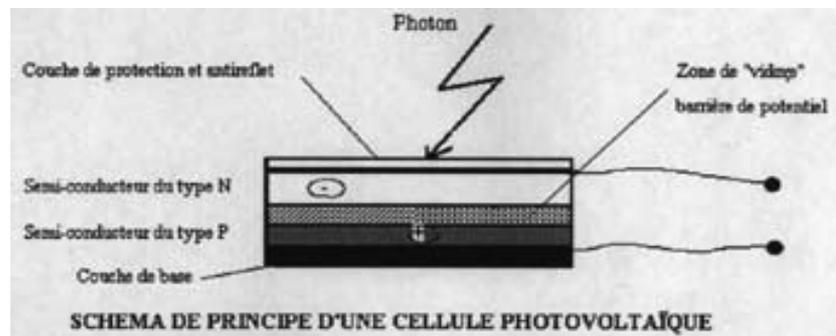
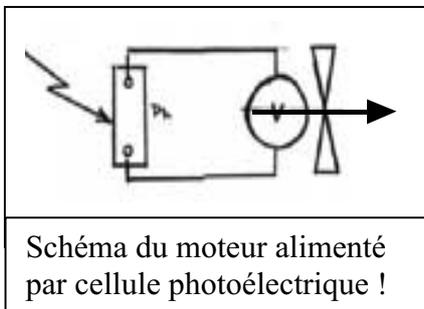
C'est d'ailleurs pourquoi la lumière blanche du jour, réfléchiée sur la surface du disque, nous le fait apparaître comme brûlant de mille feux représentant les couleurs de l'arc-en-ciel.

Ces phénomènes d'interférences, de nature géométrique, font évidemment apparaître la dépendance de la longueur d'onde, d'où la séparation spatiale des différentes longueurs d'ondes constituant la lumière blanche...

Ensuite, pour illustrer l'**aspect corpusculaire** de la lumière, on a pu voir le fonctionnement d'une petite cellule photovoltaïque à semi-conducteur. L'explication repose sur les travaux d'Einstein (qui a d'ailleurs reçu, en 1925, le prix Nobel pour ses travaux en photoélectricité, et non pas pour la théorie de la relativité !) Son hypothèse, vérifiée par la suite, était basée sur le fait qu'un faisceau lumineux voyageant dans l'espace est divisé en « paquets » appelés **photons**, et que l'énergie E de chacun de ces grains correspond à $E = h\nu$, où h est la constante de Planck et ν la fréquence de l'onde ! Einstein a écrit : $h\nu = E_0 + K_{\max}$.

Si $E = h\nu$ est l'énergie du photon et E_0 l'énergie par laquelle l'électron est arraché à son atome, alors K_{\max} est l'énergie cinétique (de mouvement) du photoélectron produit par le rayon lumineux sur le métal. Ce sont ces électrons « arrachés » par la lumière qui donneront le courant électrique...

En guise de démonstration pratique, on a envoyé sur une petite cellule photovoltaïque la lumière d'une ampoule ordinaire, puisque le soleil faisait défaut à Chamonix ce jour-là. Les électrons libérés dans la pièce de silicium ont été dirigés par deux fils sur un petit ventilateur, qui s'est mis à tourner ! On a vérifié ainsi le principe de conservation de l'énergie. L'énergie lumineuse s'est transformée en énergie électrique, puis en énergie mécanique. Le même montage a permis encore de retrouver de l'énergie lumineuse, en branchant une petite diode lumineuse (LED). On a aussi essayé de stocker cette énergie électrique en dirigeant le courant sur deux charbons plongés dans une solution saline (NaCl). Après quelques minutes, on a pu récupérer cette énergie en faisant à nouveau tourner pendant quelques secondes le ventilateur à partir de cet accumulateur primitif. En tenant compte des pertes, on peut transformer l'énergie électrique en énergie chimique et la stocker puis, inversement, la transformer de nouveau en énergie électrique ! Pour les plus curieux, nous avons illustré l'expérience à l'aide d'un schéma de la pièce à semi-conducteur !



6. CONCLUSIONS.

Pas loin d'une quarantaine de personnes ont tenu à assister à cet atelier, malgré l'exiguïté du local qui nous avait été attribué. L'intérêt était manifeste et les nombreuses questions l'ont prouvé. Certains participants sont cependant restés sur leur faim et nous ont demandé une deuxième séance pour approfondir la discussion sur les expériences. Cela n'a malheureusement pas été possible dans le cadre des horaires établis.

Nous espérons cependant avoir pu répondre à quelques questions pertinentes, apparues dans le débat informel qui s'est déroulé en même temps que les exposés et les démonstrations des auteurs. L'essentiel reste de susciter des interrogations, des réflexions et des recherches personnelles, aussi banales et aussi quotidiennes qu'elles puissent paraître.

Comme l'a dit Proust : « La véritable découverte ne consiste pas à rechercher des terres nouvelles, mais d'avoir plutôt des yeux nouveaux... »

7. BIBLIOGRAPHIE.

ROSSEL J., *Physique générale*, Griffon Neuchâtel, 1980.

PSSC (Physical Science Study Comittee), *La Physique*, Traduction, Dunod Paris, 1967

SARMANT J-P., *Dictionnaire de Physique*, Hachette Paris, 1981.

Ferry / Michalet / Provost, *Dictionnaire de Physique*, Cedic Paris, 1981.