
OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD



Olympiades de Physique pensez dès maintenant au septième concours

La Société Française de Physique et l'Union des Physiciens organise, depuis l'année scolaire 1991-1992, un concours s'adressant aux lycéens des classes de première et de terminale scientifiques et baptisé «Olympiades de Physique». Ce concours récompense des projets expérimentaux de physique réalisés par des équipes de quatre à six élèves encadrées par un enseignant et associées à différents partenaires, chercheurs, ingénieurs, extérieurs aux établissements scolaires.

Pour plus de renseignements, on pourra consulter le serveur de l'UdP (adresse provisoire : http://www2.cnam.fr/~haage/UDP_test/index.htm) ou les BUP n° 799 (1), décembre 1997, p. 2243 ; BUP n° 792, mars 1997, p. 500 et BUP n° 784, mai 1996, p. 947.

Le sixième concours des Olympiades de Physique (novembre 1998)

Ce concours rassemble cette année une quarantaine de groupes, soit le double de l'année dernière. Il y aura donc des concours régionaux qui auront lieu en octobre dans les villes de Dijon, Lille, Orléans, Lyon, Toulouse.

Le concours national se déroulera en novembre 1998 à l'École Supérieure des Télécommunications, à Paris dans le XIII^e arrondissement.

Dès cette année, des équipes gagnantes du cinquième concours 1997 iront présenter leur travail à La Ferté-Bernard le 8 mai 1998. Ils y côtoieront les élèves des grandes écoles qui participent au concours de robotique présenté dans l'émission $E = M6$.

Par la suite, grâce au partenariat du CEA, d'EDF et de SIEMENS, nous envisageons l'organisation d'un concours européen bâti selon des modalités équivalentes où les meilleurs équipes du concours national seraient candidates.

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

Vous envisagez de participer au septième concours (novembre 1999)

Déposez **dès maintenant** un dossier auprès de votre chef d'établissement dans le cadre des ATELIERS DE CULTURE SCIENTIFIQUE (voir BO n° 14 du 6 avril 1995 et n° 18 du 4 mai 1995). Voir ci-dessous quelques indications pour remplir ce dossier.

Prévenez aussi l'IPR de votre secteur. Le ministère et l'Inspection soutiennent l'opération.

Dans la procédure prévue, votre demande doit être présentée au conseil d'administration. Si votre dossier est ensuite retenu par les services du rectorat, vous pouvez bénéficier de **trois heures supplémentaires annuelles (HSA)**. Si par malheur votre dossier n'est pas retenu, n'abandonnez pas, des heures supplémentaires effectives doivent vous être attribuées.

N'oubliez pas pour autant de vous inscrire en temps utile (les dates seront annoncées dans le BUP) auprès du délégué physique de votre académie ou de :

Denise THÉVENIN - 61, avenue de Buzenval - 92500 RUEIL-MALMAISON

Bibliographie

Outre les articles déjà parus dans le BUP et sur le serveur, vous pouvez consulter l'ouvrage : «*Olympiades de Physique*», coordonné par Sylvain CHATY, préfacé par P. LÉNA, aux Éditions du CNDP, 110 F. Cet ouvrage regroupe un certain nombre de sujets traités lors des trois premiers concours qui illustrent des aspects très divers de la physique et montrent aussi la variété des approches et des réalisations.

Constitution du dossier «Atelier de culture scientifique»

Il est à demander au chef d'établissement.

Faites ressortir, dans le descriptif et les objectifs, le rôle actif des élèves (plutôt que leur nombre). Dans les «production finales» n'oubliez pas de mentionner la participation au concours avec présentation du travail expérimental.

Dans toute la mesure du possible donnez le nom du partenaire prévu en mentionnant son rôle dans le suivi du travail et la visite des élèves dans le laboratoire.

Pour toute rubrique qui vous pose problème, renseignez-vous auprès de Denise THÉVENIN (voir adresse ci-dessus - Tél. : 01 47 08 27 75 - Fax : 01 47 16 02 03).



Sommaire des différents travaux

- ☆ *Étude de la piézo-électricité*
Besançon - p. 510
- ☆ *Observations radioastronomiques au moyen d'une antenne pour la TV satellite*
Caen - p. 512
- ☆ *Acquisition et traitement d'images en astronomie*
Corse - p. 515
- ☆ *Image 3D - Franchir un obstacle - Jeux de miroirs*
Grenoble - p. 518
- ☆ *Afficheur géant à cristaux liquides*
Lille - p. 520
- ☆ *Mesures de vitesses par effet Doppler*
Limoges - p. 523
- ☆ *La mécanique des fluides appliquée à l'aviation*
Lyon - p. 528
- ☆ *Mise en évidence de la pression de radiation par holographie*
Lyon - p. 531
- ☆ *Réalisation d'un spectrophotomètre*
Lyon - p. 534
- ☆ *Mesure de l'indice optique de l'air grâce à l'interféromètre de Michelson*
Lyon - p. 538
- ☆ *Résonance magnétique nucléaire en champs magnétique terrestre*
Lyon - p. 541
- ☆ *En se promenant dans la Grande Ourse*
Montpellier - p. 545
- ☆ *Le temps vous est compté*
Orléans-Tours - p. 548
- ☆ *«Voir» avec les ondes thermiques*
Paris - p. 553
- ☆ *Réalisation d'une alimentation stabilisée*
Toulouse - p. 556
- ☆ *Réalisation d'une centrale d'alarme*
Versailles - p. 560
- ☆ *Tube accélérateur d'électrons*
Versailles - p. 562



Étude de la piézo-électricité

LYCÉE

Lycée Jules Haag - 25000 Besançon (*Besançon*)

PARTICIPANTS

Pierre BARDET (*Animateur*) ;

N. MONNOT, J. TRALLERO, J. VIENNET, C. VERNIER (*Élèves de première STL*).

RÉSUMÉ DU PROJET

Le point de départ fut l'étude du transducteur sonore d'une carte postale musicale. Ce composant très bon marché nous a permis d'étudier les effets piézo-électriques direct et inverse.

Nous avons cherché ensuite à utiliser ce transducteur comme capteur de force puis d'accélération. C'est ici que les difficultés sont apparues : la tension délivrée sous l'action d'une force constante diminuait pendant la mesure. En effet, le transducteur est par nature capacitif et il se décharge dans l'appareil de mesure. Nous avons appelé à l'aide notre partenaire : le Laboratoire de Piézo-électricité de l'École Nationale Supérieure de Mécanique et de Micromécanique de Besançon. Nous avons ainsi appris à construire un «amplificateur de charge» simplifié qui permet de convertir la charge du cristal piézo-électrique en tension mesurable par tous les appareils classiques. Les performances de nos capteurs sont sans doute modestes (dérive, linéarité...) mais leur prix de revient défie toute concurrence.

MÉTHODE

- Deux heures d'activité par semaine dans une salle de TP disponible.
- Réalisation par les élèves des maquettes, circuits et différents montages.

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

- Utilisation du matériel de mesure de la salle : table traçante, système d'acquisition, oscilloscope à mémoire...
- Visite d'un laboratoire de recherche (ENSMM).
- Visite du musée ÉLECTROPOLIS à Mulhouse.
- Recherche de documentation (CDI, documentation des constructeurs...).
- Le budget alloué par le Comité des Olympiades suffit pour acheter quelques composants, effectuer les visites et payer la reprographie.
- Le Conseil Régional a attribué une subvention tardive qui profitera au groupe 1998.
- Les élèves ont été satisfaits de travailler dans une ambiance décontractée mais productive : un professeur pour quatre élèves, du matériel performant, quelques sorties hors du lycée et pas d'évaluation... excepté la présentation finale !



Observations radioastronomiques au moyen d'une antenne pour la TV satellite

LYCÉE

Lycée Alain Chartier - 14400 Bayeux (*Caen*)

PARTICIPANTS

Bernard DARCHY (*Conseiller technique*) ;

M. CAVAROSZ (*Proviseur, Chef de projet*) ;

Aurélie JEANNE, Jacques LECONTE, Gaëlle LETTIER, Aurélie MATTEOS, Nicolas ROBIN,
Cédric TARGOSWSKI (*Élèves, Réalisation du projet*).

OBJECTIFS

Mesurer le diamètre apparent du disque solaire et la température de brillance du soleil à l'aide d'un dispositif comprenant une antenne pour TV satellite.

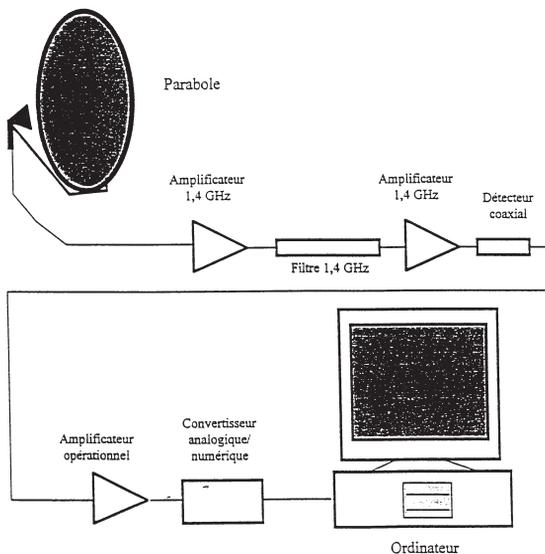


Schéma du montage

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

RÉSUMÉ DU PROJET*Le samedi 8 novembre 1997*

Lorsque l'antenne est dirigée vers le soleil, la variation en sortie est de 136 divisions par rapport au fond du ciel.

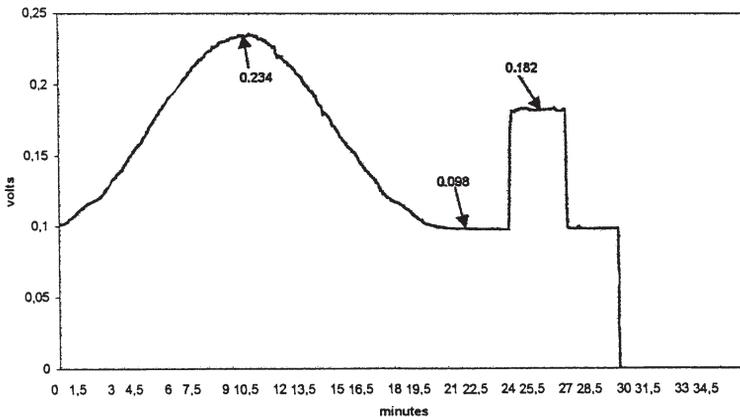
Lorsque l'antenne est dirigée vers le sol, la variation en sortie est environ de 84 divisions par rapport à la ligne de base mesurée sur le fond du ciel.

La température de brillance du soleil vaut environ :

$$(300 \times 136 / 84) \times 1 / 0,0625 = 7770 \text{ Kelvins}$$

avec le coefficient 0,05 conseillé par M. LANTOS :

$$(300 \times 136 / 84) \times 1 / 0,05 = 9710 \text{ Kelvins}$$



Compte tenu de l'éclairement non uniforme de la parabole par le cornet d'une part et d'autre part des différences observées lors des récentes expériences réalisées au Lycée Chartier avec une autre antenne (Philips - Ø 75 cm), il apparaît que la détermination du diamètre apparent du soleil pose un problème complexe mais cependant très intéressant.

Il est donc nécessaire d'analyser tous les paramètres et en particulier la fonction d'antenne et la fonction émissive du soleil...

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

Température de brillance

En relevant sur chaque graphique les valeurs des variations en sortie pour le Soleil et pour la Terre, par rapport au fond du ciel et tenant compte du coefficient de rapport de surface «Soleil-antenne» de 0,0625 dans un premier temps et de 0,05 dans un deuxième temps pour tenir compte du facteur de dilution calculé par M. LANTOS de l'Observatoire de Meudon on obtient :

$$T \text{ brillance} : 300 \times \frac{h \text{ soleil}}{h \text{ terre}} \times \frac{1}{\text{Coef.}}$$

On peut estimer que la température de brillance du Soleil pour la partie de la région de transition est de l'ordre de 8 000 à 10 000 kelvins et est donc nettement supérieur à la température de brillance de la photosphère.

La valeur moyenne donnée pour la température de brillance de la région de transition, en période calme, est de 10 000 kelvins.

LE MOT DES ÉLÈVES

Les Olympiades de Physique ont d'abord été pour nous l'occasion de multiples rencontres intéressantes comme par exemple celle de M. Bernard DARCHY, ingénieur au CNRS, lors de notre voyage au centre de radioastronomie.

Rencontres intéressantes mais également très enrichissantes pour avoir côtoyé les scientifiques directement sur le terrain. Ce fut aussi la mise en place d'un projet et d'un travail en équipe durant toute une année qui ont permis la formation de liens solides entre les différents membres du groupe.

Nos différentes interventions lors, par exemple, de la visite de Bayeux des élèves anglais de Cambridge, ou encore de la Science en fête nous ont également permis de présenter notre travail à d'autres étudiants et d'établir un contact privilégié entre eux.

Par ailleurs nous avons apprécié l'ambiance chaleureuse qui régnait entre tous les lycéens pendant le déroulement des épreuves du concours national à Saclay et les contacts enrichissants avec les membres du jury et l'ensemble des professeurs, c'était la science en fête.

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD



Acquisition et traitement d'images en astronomie

LYCÉE

Lycée de Porto-Vecchio - 20137 Porto-Vecchio (*Corse*)
en collaboration avec l'Astro-Club

PARTICIPANTS

Mme BRUNO et M. FERRANT (*Professeurs*).

NATURE DU PROJET

L'acquisition d'images en astronomie pose des problèmes spécifiques liés à la très faible luminosité apparente des objets photographiés (à l'exception de la lune et des planètes).

La photographie traditionnelle nécessite l'utilisation de films hypersensibilisés et des temps de pose très longs, souvent supérieurs à une heure ! Pendant cette durée, le télescope doit rester parfaitement pointé dans la direction de l'objet photographié, le moindre écart se traduisant par un flou sur la photo obtenue.

Il existe depuis quelques années des caméras numériques spécialement adaptées à l'imagerie astronomique, qui permettent de réduire sensiblement les temps de pose. L'image des objets photographiés apparaît en quelques secondes sur l'écran d'un ordinateur.

Cette image doit ensuite être traitée grâce à un logiciel spécialisé de façon à réduire le bruit de fond, améliorer le contraste, faire ressortir les détails peu visibles, ...

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

Les élèves participants au projet ont donc dans un premier temps appris à se repérer dans le ciel nocturne et à pointer le télescope vers l'objet qu'ils souhaitent photographier.

Ils se sont ensuite familiarisé avec la caméra CCD et son logiciel d'acquisition d'images : centrage de l'objet photographié, mise au point, choix du temps de pose, contrôle de l'image obtenue et enregistrement dans un fichier.

Ce travail a été réalisé à l'observatoire de l'Astro-Club qui a mis à la disposition des élèves son télescope Newton de 40 cm de diamètre, la caméra CCD, l'ordinateur et les logiciels nécessaires à l'acquisition des images ainsi que des animateurs capables de les conseiller dans leur démarche.

Après avoir acquis les connaissances préalables concernant le principe de l'imagerie numérique, les élèves ont également appris à traiter les images par ordinateur, dans la salle informatique du lycée de Porto-Vecchio, à raison d'une heure hebdomadaire :

- réduction du «bruit de fond»,
- choix des seuils de visualisation,
- traitement logarithmique,
- addition de deux images partielles,
- masque flou.

Ils ont ainsi pris conscience de l'existence d'un phénomène physique important, celui du «bruit de fond», présent dans le traitement de tous les signaux faibles. Ses différentes origines et son caractère aléatoire ont été mis en évidence et développés le jour du concours, ainsi que les moyens envisageables pour minimiser ses conséquences.

LE MATÉRIEL UTILISÉ

Nous avons durant l'année de première S travaillé sur le logiciel MIP'S (The Microcomputer Image Processing System), conçu par Christian BUIL et Alain KLOTZ et commercialisé par la Société SYNONYME - 20 bis, rue Sibuet - 75012 PARIS.

Ce logiciel présente l'avantage d'être livré avec une notice explicative très détaillée et agrémentée de nombreux exemples concrets. D'autre part, il peut être installé sur plusieurs ordinateurs sans supplément de prix, ce qui a permis à chaque élève de

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

progresser à son propre rythme dans l'apprentissage des connaissances de base du traitement d'image.

En contrepartie, il est peu pratique à utiliser car fonctionnant sous DOS.

Pendant la phase de répétition dans les conditions du concours, un seul ordinateur étant nécessaire, nous avons utilisé un logiciel récent travaillant sous WINDOWS 95, très convivial mais ne pouvant être installé qu'une seule fois : ATLAS DES PISES PRISM97, conçu par C. CAVADORE et B. GAILLARD et commercialisé par les éditions «la lorgnette» - B.P. 55 - 93141 BONDY.

En ce qui concerne l'acquisition des images, une caméra CCD HI-SIS 24 associée à son logiciel EDITIMPLUS ont été utilisés. Ce matériel est commercialisé par la société SYNONYME citée ci-dessus.

Le livre de Patrick MARTINEZ et Alain KLOTZ : «*Le guide de l'astronomie CCD*» aux éditions ADAGIO nous a été une aide considérable tout au long de notre travail.

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD



Images 3D

Franchir un obstacle

Jeux de miroirs

LYCÉE

Lycée Saint-Joseph - 74200 Thonon-les-Bains (*Grenoble*)

PARTICIPANT

Jean-Claude BOUCHET (*Professeur*).

Cette année, à la suite de plusieurs participations aux Olympiades, il y avait toute une classe désireuse de participer. Nous avons donc choisi de développer trois sujets après une visite au TECHNORAMA de Winthertür en Suisse.

Ces sujets ont été traités :

- en partie en classe **dans le cadre de l'option de première**,
- en partie en travail personnel sur le temps libre des élèves et des intervenants.

1. IMAGES 3D

Ce thème avait pour objet l'étude des techniques de restitution des images :

- prises de vue stéréoscopiques : appareils couplés, doubles prises de vue,
- restitution des images : procédé anaglyphique (lunette rouge-cyan), procédé par polarisation (projection), historique des procédés.

Ce projet a été mené à bien avec l'aide bénévole de :

- divers membres du stéréoclub de France,
- plusieurs photographes de la région qui nous ont permis des prises de vue en studio.

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

Nous avons ainsi présenté des vues stéréoscopiques de paysages en reproduction papier, et de molécules de parfum en reproduction sur écran. Cela a permis à ces élèves de se familiariser en particulier avec la prise de vue macro au flash.

2. FRANCHIR UN OBSTACLE

Ce thème avait pour objet d'étudier comment, à l'aide de matériaux de dimension réduite, on pouvait franchir des obstacles de grande dimension.

Les élèves concernés, après recherches, ont construit des maquettes (en polystyrène, contreplaqué, ficelle, ...) leur permettant d'étudier les répartitions des actions dans ces structures, ainsi que leur déformations quand une charge supplémentaire se déplace sur cette structure.

Ont ainsi été étudiées : les voûtes (romanes ou gothiques), les voûtes à contreventement, les ponts suspendus, les ponts à haubans ...

Le projet a été réalisé avec l'aide de documents divers, et de bénévoles pour la construction des maquettes.

3. JEUX DE MIROIRS

Là, c'est un groupe d'élèves pratiquement autonome qui a travaillé sur ce thème. Ils ont réalisé, après étude, un certain nombre d'appareils ou «gadgets» utilisant les propriétés des miroirs plans ou sphériques. On peut citer entre autres :

- kaléidoscopes divers,
- combinaison de plusieurs miroirs pour retrouver les solides platoniciens,
- observation d'images «réelles» dans l'espace, ...

En conclusion, je ne reconduirai pas l'expérience de mener plusieurs groupes à la fois.

Mais je reste un fervent partisan des Olympiades pour tout ce qu'elles apportent aux élèves (motivation autour d'un projet fédérateur, goût de la recherche personnelle et d'équipe) et au professeur (rencontres et échanges avec d'autres, collaborations diverses...).

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD



Afficheur géant à cristaux liquides

LYCÉE

Lycée Jean Bart - 59140 Dunkerque (*Lille*)

PARTICIPANTS

Georges KHAZNADAR (Professeur) ;

Naïma AOUTI, Rachid ALBAY, Jonathan DUSAUTOIR, Ahmed SALIH, Malik ZEKRI (*Élèves en terminale S*).

LABORATOIRE D'ACCUEIL

Laboratoire de Thermophysique de la Matière Condensée, dirigé par Jean-Marc BUISINE

LES CRISTAUX LIQUIDES ET LA LUMIÈRE

Lors de notre première visite au laboratoire d'accueil, nous avons vu sur un rétro-projecteur un bien étrange liquide : entre deux polariseurs croisés, une minuscule goutte de celui-ci faisait réapparaître la lumière, de la même façon qu'un cristal de quartz bien plus épais. Contrairement aux cristaux, il coulait, contrairement aux liquides, il faisait tourner la polarisation de la lumière. C'est ce genre bien particulier de matière, qui se trouve dans un état liquide cristallin, plus précisément un état nématique, qui permet la réalisation des petits afficheurs à cristaux liquides de nos montres et de nos calculettes.

De retour au lycée, nous avons fait en sorte de comprendre au mieux ce qu'était une onde lumineuse, la polarisation, et quel était l'effet du cristal liquide sur celle-ci. Pour cela, nous avons mis au point deux manipulations aux principes simples : une mise en évidence d'une onde progressive dans un aquarium très mince, et la polarisation d'une onde mécanique qui se propage le long d'une chaîne à l'aide de peignes bien glissants. L'aquarium que nous avons mis au point possède une petite originalité : les ondes qui arrivent à son extrémité ne se reflètent pas !

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

Nous avons ensuite participé à un séminaire donné par Abdelyllah DAOUDI, au laboratoire d'accueil sur les cristaux liquides et leurs applications. Nous y avons appris le portrait-robot de la majorité des molécules qui peuvent donner des cristaux liquides d'usage courant : elles possèdent un cœur rigide allongé, qui se prolonge par une extrémité flexible. Quand le cœur allongé est riche en liaisons doubles conjuguées, comme dans le cas d'un biphenyle, les électrons y possèdent une direction privilégiée pour vibrer. De telles molécules peuvent s'organiser en phases nématiques, c'est-à-dire devenir à peu près parallèles à une direction commune, tout en restant parfaitement désordonnées quant aux positions de leurs centres, ou encore en phases smectiques, où les centres des molécules sont plus nombreux au voisinage d'un réseau de plans parallèles, nommé plans smectiques. Quand une phase cristalline liquide, du type nématique ou smectique est formée, les axes des cœurs rigides possèdent une direction privilégiée, si bien que les électrons y possèdent aussi des directions privilégiées de vibration. De telles phases sont biréfringentes. Si de plus ces molécules sont faciles à orienter à l'aide d'un champ électrique, on tient un composé idéal pour manipuler la lumière et concevoir un afficheur dynamique.

AFFICHEURS «NÉMATIQUES TORSADÉS»

Les afficheurs les plus couramment rencontrés sont du type «nématique torsadé» : un cristal liquide nématique est pris en sandwich entre deux vitres où un matériau d'ancrage l'oblige à faire tourner d'un angle droit la direction d'orientation nématique entre une vitre et l'autre. Cela crée un guide d'onde pour la lumière polarisée : si on injecte une lumière polarisée parallèlement à l'axe nématique sur la vitre d'entrée, elle ressort tournée de 90° en atteignant l'autre vitre. Un polariseur et un analyseur croisés de part et d'autre laissent donc paradoxalement passer la lumière. Il suffit d'un champ électrique minime pour décrocher le nématique du matériau d'ancrage ; alors, le guide d'onde est brisé momentanément, et une zone noire apparaît entre polariseur et analyseur. Nous avons pris contact avec des sociétés produisant des cristaux liquides, pour nous apercevoir que la réalisation d'un écran de grande taille nécessiterait un budget considérable : plus de 2000 F pour un écran de 20 × 20 cm en considérant les prix de détail. C'était un peu risqué pour une réalisation que nous n'étions pas sûrs de réussir au premier essai. Les ingrédients les plus chers sont le cristal liquide (300 F le gramme, il en fallait 5 grammes), les polaroïds et le matériau d'ancrage.

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

AFFICHEURS À PDLC

Nous avons opté pour une autre réalisation qui exploitait des recherches menées dans le laboratoire d'accueil : un afficheur à PDLC (Polymer Dispersed Liquid Crystal), qui permet l'économie d'une bonne part du cristal liquide, des polariseurs, et du matériau d'ancrage. Le principe de ce type d'afficheur est différent : on prépare une dispersion de gouttelettes de cristal liquide dans un polymère transparent. L'astuce est de faire en sorte que le cristal liquide, qui est biréfringent, possède un indice optique minimal égal à celui du polymère. En l'absence de champ électrique, les axes nématiques dans les gouttelettes sont orientés aléatoirement, si bien que la lumière traverse une foule de dioptries qui la dispersent, et le PDLC se comporte comme du papier-calque, translucide. Un champ électrique suffisant peut forcer les axes nématiques à s'aligner parallèlement à lui. Alors, la lumière qui se propage dans la direction du champ électrique ne rencontre qu'un seul et même indice optique, commun au polymère et au cristal liquide, si bien que le PDLC devient transparent.

Nous avons réalisé selon ce principe un pixel (élément d'image) d'environ 1 cm^2 , qui passe de l'état translucide à l'état transparent quand on le soumet à une tension alternative d'environ 100 V d'amplitude, avec une fréquence de 1 kilohertz. Placé sur un rétroprojecteur, ce pixel semble passer de noir à blanc, puisque quand il est translucide la lumière qui le traverse n'est que très peu dirigée vers l'écran. Un écran géant peut être composé par exemple d'une matrice de 640×480 pixels de cette sorte, ce qui lui ferait mesurer huit mètres de diagonale.

DOCUMENTS PLUS COMPLETS

L'afficheur que nous avons réalisé ne paie pas de mine par lui-même, ce n'est qu'un petit carré de verre qui change d'état. On n'y voit ni bielle, ni ressort, ni mécanisme. L'essentiel du merveilleux est situé dans la structure des molécules qui ont été employées pour le réaliser, et la difficulté de notre exposé a été d'explicitier toutes les propriétés de phases qui sont utilisées pour jouer avec la lumière. Vous pouvez trouver un dossier complet avec schémas et explications détaillées sur internet, aux adresses suivantes :

<http://perso.netinfo.fr/GeKhaJoFour/general/index.html>

<http://perso.netinfo.fr/GeKhaJoFour/dunk/dossier.html>



Mesures de vitesses par effet Doppler

LYCÉE

Lycée Paul Eluard - 87200 Saint-Junien (*Limoges*)

PARTICIPANTS

M. BOUSQUET et M. OUSSET (*Professeurs*).

GENÈSE DU PROJET

A partir des activités de **sciences expérimentales de première scientifique** sur l'effet Doppler, nous avons voulu mettre au point des dispositifs variés permettant de mesurer des vitesses.

Nos essais nous ont conduit des ultrasons vers la lumière.

L'EFFET DOPPLER

Cet effet, découvert en 1842 par Christian Doppler, physicien autrichien, est bien connu de nos oreilles. En effet, nous avons tous remarqué que, lorsque l'on croise une ambulance, le son de la sirène change de tonalité.

Cette observation peut d'ailleurs être simulée dans une cuve à ondes par des ondes à la surface de l'eau.

La variation de fréquence, appelée fréquence Doppler, est donnée par la relation :

$$\Delta f = f v \cos \alpha / C$$

dans laquelle f et C représentent la fréquence et la vitesse de l'onde.

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

Donc la mesure de la fréquence Doppler permet d'atteindre la mesure de la vitesse de déplacement si l'on connaît sa direction :

$$v = C \Delta f / f \cos \alpha$$

CINÉMOMÉTRIE ULTRASONORE

Principe du montage ultrasonore

Nous ne pouvons disposer ni l'émetteur, ni le récepteur sur le mobile, nous travaillons donc par réflexion sur un écran en carton fixé sur le mobile.

L'émetteur et le récepteur ultrasonores sont disposés côte à côte dans l'axe du déplacement à mesurer.

La vitesse relative est doublée par réflexion et l'angle de visée est nul, la formule de la vitesse devient alors :

$$v = C \Delta f / 2 f$$

avec $C = 340$ m/s vitesse du son dans les conditions habituelles d'utilisation.

Pour déterminer la vitesse du mobile, nous devons mesurer la différence entre les fréquences d'émission et de réception de l'onde. Dans le cas des ultrasons, ces deux fréquences sont trop élevées et trop proches pour que l'on puisse les déterminer séparément avec une précision suffisante pour en faire la différence.

Il est donc nécessaire de mesurer directement cette différence. Deux méthodes sont alors possibles : l'addition ou la multiplication des deux ondes émises et reçues.

Effet Doppler par superposition : phénomène de battements

La somme des signaux émis et reçus est réalisée par un amplificateur sommateur.

Cette somme donne une fonction de fréquence f à l'intérieur d'une enveloppe de fréquence $\Delta f/2$: c'est le phénomène de battements dont la fréquence est double Δf , c'est-à-dire la fréquence Doppler à mesurer.

Le traitement électronique a pour but de transformer ces battements en signal logique TTL de même fréquence.

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

Effet Doppler par modulation

Le produit des signaux émis et reçus est réalisé par un multiplieur.

Ce produit donne une fonction de fréquence $2f$ se superposant à une fonction de fréquence Δf : c'est le phénomène de modulation dont la fréquence modulante est Δf , c'est-à-dire la fréquence Doppler à mesurer.

Le traitement électronique a pour but de transformer cette modulation en signal logique TTL de même fréquence.

Traitement informatique

Nous avons, dans le cadre de l'option informatique de l'établissement, conçu un programme, en turbo-pascal, qui consiste, par le biais d'une carte d'acquisition, en une mesure de la période Doppler du signal TTL obtenu, puis un calcul de la vitesse mesurée.

Une série de mesures peut ainsi être saisie automatiquement au cours du temps et stockée dans un tableur, ce qui permet une exploitation graphique des résultats.

Applications cinématiques

Nous avons utilisé le cinémomètre réalisé pour étudier divers mouvements mécaniques sur banc soufflant : plan incliné, pendule élastique, etc.

DU SON À LA LUMIÈRE

On se propose de réaliser une expérience similaire au cinémomètre précédent, les ondes lumineuses remplaçant les ondes ultrasonores.

Principe du montage optique par réflexion

On conserve le principe de superposition des ondes émises et réfléchies ainsi que la visée dans l'axe du déplacement à mesurer.

Le cube séparateur associé à un miroir collé sur une de ses faces permet de réaliser physiquement la superposition des ondes dans une direction orthogonale à l'axe de visée. C'est dans ce faisceau que la sonde viendra prendre place.

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

La détermination de la vitesse est de la même forme :

$$v = C \Delta f / 2 \quad f = \lambda \Delta f / 2$$

avec $C = 3.10^8$ m/s vitesse de la lumière ou longueur de l'onde laser.

Traitement électronique

Le montage électronique diffère des précédents par la nature du signal enregistré. En effet la photodiode utilisée détecte un éclaircissement proportionnel au carré de l'amplitude résultant de la superposition des ondes lumineuses.

La photodiode ne peut détecter les termes de fréquence double, il reste donc un éclaircissement constant auquel se superpose un éclaircissement variant à la fréquence Doppler. Il suffit donc de filtrer le fond continu dans l'éclaircissement résultant.

Mesure de vitesses

Un fréquencesmètre permet de mesurer la fréquence Doppler et l'ordinateur, avec lequel il communique par la liaison série, calcule la vitesse du chariot mobile équipé du rétro-rélecteur.

La confrontation à des mesures classiques a donné des accords satisfaisants.

Notre dispositif présente l'avantage de pouvoir mesurer des vitesses extrêmement faibles.

VÉLOCIMÉTRIE OPTIQUE

Le souci d'aboutir à la mesure de la vitesse d'un écoulement fluide nous amènera à changer radicalement le principe du montage.

Principe du montage optique par diffusion

Le faisceau laser est dédoublé en deux faisceaux parallèles, une lentille les fait converger en un point où va s'effectuer le phénomène Doppler.

C'est la lumière diffusée à partir de ce point qui va être analysée de la même façon que précédemment. Pour favoriser la diffusion, on introduit des particules les plus petites possibles : dépoli d'un verre, trouble d'un liquide, fumée dans un gaz...

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

La détermination de la vitesse doit cette fois tenir compte de l'angle α entre la direction de l'onde et celle de l'écoulement :

$$v = C \Delta f / 2 f \cos \alpha = \lambda \Delta f / \theta$$

avec θ l'angle entre les deux faisceaux imposé par la convergence de la lentille.

Dans notre montage cet angle est déterminé par le rapport de l'écart des faisceaux parallèles à la distance focale de la lentille $\theta = 15/150 = 1/10$ rad.

Le programme de calcul de la vitesse à partir de la saisie de la fréquence Doppler en a été modifié en conséquence.

Mesure de vitesses d'écoulement

Nous avons, pour vérifier la fiabilité du montage, réalisé des mesures de vitesses linéaires verticales d'un point d'un disque de verre dépoli entraîné en rotation par un moteur.

Enfin, nous avons testé ce dernier montage sur divers écoulements :

- écoulement de l'eau dans une burette,
- mouvement de convection de la fumée d'une cigarette.

Le tout suivi acoustiquement car les fréquences Doppler mises en jeu sont audibles.



La mécanique des fluides appliquée à l'aviation

LYCÉE

Lycée du Parc - 69000 Lyon (*Lyon*)

PARTICIPANTS

Professeurs responsables

Mathieu BARTHÉLÉMY (*Professeur stagiaire IUFM*) et
Christine RIVAS (*Formateur IUFM*) ;

René TARDIEU (*ENS, Encadrement scientifique*) ;

Fayçal CHERIF, Pierre DELANNOY, Bilel HADRI, Nicolas HORAST, Nicolas LAFAURY
et Marc SOUCHET (*Élèves au lycée du Parc*).

PROJET

Voler a toujours été un grand rêve de l'être humain qui, touchant le ciel, se mettait à l'égal des oiseaux, ou des Dieux. Cependant, les travaux de mécanique des fluides permettant d'essayer de comprendre les phénomènes physiques liés à l'air, ne virent le jour pour la première fois qu'avec Léonard de Vinci, vers 1500. Dès lors, les travaux entrepris s'avèrent longs et d'une complexité peu attendue de prime abord, vu que l'on doit étudier un milieu que l'on ne sent pas et que l'on peut matérialiser très difficilement, simplement parce que l'on ne le voit pas (les expériences tendant à présenter des phénomènes en mécanique des fluides demandent alors une certaine ingéniosité) !

Cependant, l'histoire de la physique nous a fait acquérir un certain nombre de théories et de lois nous permettant de prévoir les écoulements de fluides dans certaines conditions. Ainsi, de longues études aussi bien théoriques que purement expérimentales, on finalement aboutit à la découverte de l'équation dite de *Navier-Stockes* :

$$\rho \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \rho (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = \mu \Delta \vec{v} + \vec{f} \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} / \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

- $\rho \cdot \vec{\Psi}$: forces de volume.
 où ρ : masse volumique du milieu.
 où Ψ : potentiel scalaire (pour la pesanteur $\Psi = \dots$).
 $\vec{\dots}$: forces de pression.
 $\mu \vec{\Delta v}$: forces de viscosité.
 où μ : coefficient de viscosité dynamique.
 $\vec{\Delta v}$: laplacien de la vitesse.
 $\rho (\vec{v} / \dots)$: accélération.

Cette équation n'a pas de solution au sens purement mathématique du terme, mais on peut la résoudre dans certains conditions, ce qui nous permet d'énoncer la relation dite de Bernoulli, liant dans une même relation la vitesse de l'écoulement étudié et la pression extérieure qui lui est appliquée :

$$v^2/2 + \dots / \rho + \dots = \text{constante}$$

On voit donc de cette façon, que l'on peut, dans certaines conditions extérieures très précises, caractériser un écoulement par une vitesse et une pression. C'est une étude de ce type qui nous a permis de donner une explication assez complète du phénomène de vol des avions, en montrant comment, selon les géométries d'ailes très précises, on peut, à condition de fournir une vitesse suffisante à l'écoulement, créer une surpression en-dessous des ailes, qui attire les ailes vers le haut, ce qui crée la force souhaitée, qu'on appelle la portance. Une fois cette explication donnée, il nous a paru alors nécessaire de donner, en additif des études théoriques, une présentation pratique des phases de vol, avec des explications détaillées.

Cependant, il serait incomplet de parler de l'aviation en ne montrant que la théorie qui explique «comment ça marche», parce que l'on est loin de s'imaginer à quel point ces phénomènes peuvent être complexes. En effet, les fluides sont, par définition, des matériaux susceptibles de se déformer sous l'action de faibles contraintes. C'est cette aptitude à la déformation qui nous a fait nous intéresser à ce qui constitue la plupart des études actuelles dans ce domaine, c'est-à-dire l'étude des turbulences. Les deux premières parties de notre travail ne sont donc orchestrées autour de l'analyse des turbu-

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

lences d'une part et de la résolution des problèmes qu'elles engendrent pour l'aviation d'autre part.

Il faut savoir qu'un écoulement de fluide est caractérisé par un nombre sans dimension, appelé Nombre de Reynolds (Re) du nom du physicien qui l'a introduit :

$$e = (v \cdot l) / \nu$$

v : vitesse de l'écoulement ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

l : longueur (m).

ν : viscosité cinématique ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).

On peut donc constater que ce nombre est fonction de la vitesse, de la longueur de l'écoulement et de la viscosité de l'écoulement. C'est donc lui qui matérialise la capacité de l'écoulement à être turbulent. Ainsi, un fluide très visqueux (comme le miel par exemple) aura une viscosité cinématique très importante, et donc un Nombre de Reynolds très faible, ce qui indique donc bien que la valeur du Nombre de Reynolds est un bon indicateur. En général, on observe un passage à des régimes turbulents pour des nombres de Reynolds supérieurs à 2000 ou 3000.

Sur une aile d'avion, où les vitesses sont très élevées, le Nombre de Reynolds a donc une importance cruciale. Pour étudier les effets des turbulences sur une aile, on introduit alors la notion de *couche limite*, appelant ainsi la fine couche de fluide (quelques millimètres) située exactement à l'interface entre l'aile et l'écoulement d'air environnant. En effet, pour des forts Nombres de Reynolds, on observe que cette couche limite a tendance à se détacher du profil d'aile et à créer des tourbillons à sa surface, ce qui peut provoquer un décrochage de l'avion. A moindre échelle, c'est ce genre de création de turbulence, sur le profil, ou plus fréquemment en bout de profil, qui est à l'origine des «zones de turbulences» que nous annoncent les hôtessees de l'air.

La fin de notre étude a donc été consacrée d'une part à l'observation des turbulences, notamment à l'aide d'un TP que nous avons pu organiser à l'ENS-Lyon avec la collaboration de M. TARDIEU, et d'autre part aux moyens de contrer ces turbulences, comme par l'étude précise des profils d'aile ou par la modélisation informatique des écoulements, permettant de limiter les décrochages.

Les Olympiades nous ont alors permis de sortir un peu du cadre habituel de nos études pour pouvoir nous intéresser à l'intégralité d'un problème physique complexe.

Marc SOUCHET

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD



Mise en évidence de la pression de radiation par holographie

LYCÉE

Lycée du Parc - 69000 Lyon (*Lyon*)

PARTICIPANTS

Mathieu BARTHÉLÉMY (*Professeur stagiaire IUFM*) et
Marie-Christine RIVAS (*Formateur IUFM*) ;

Étienne BOURSEY et Bernard JACQUIER (*UFR-Lyon I, Conseillers scientifiques*) ;

Antoine BERTHOLON, Cyril CHIOLLAZ, Nicolas JAUFFRET, Élise PARENT (*Élèves au lycée du Parc*).

PROJET

Comment des photons, réputés sans masse, peuvent-ils exercer une force ?

L'holographie est une des méthodes permettant de démontrer l'existence de la force exercée par la lumière et de mesurer des micro-déplacements.

On utilise la propriété des interférences lumineuses de conserver la totalité des informations présente dans la lumière. On réalise un hologramme, enregistrement des franges d'interférence créées par une onde de référence cohérente avec une onde provenant d'un objet dont on a provoqué le micro-déplacement.

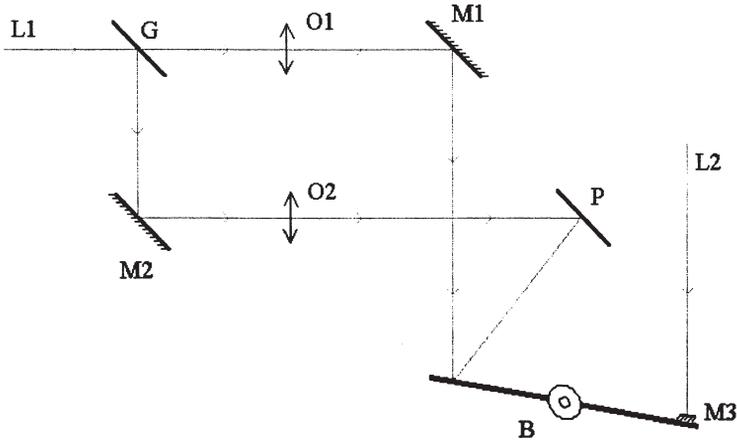
L'hologramme, image en 3D, restitue les informations ; cet hologramme est réalisé sur une plaque photographique.

L'expérience se réalise dans le noir, selon le montage.

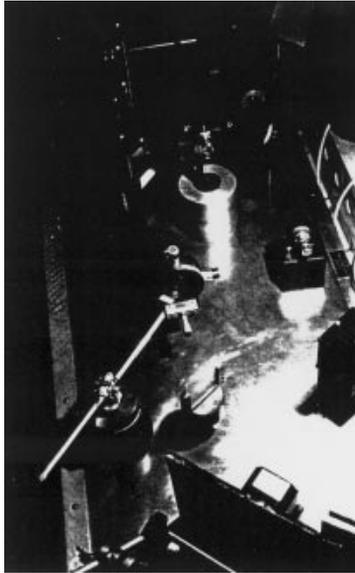
 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

Le rayon d'un laser L2 frappe le petit miroir (M3) fixé sur la barre (B) dont on veut créer le déplacement.

Un laser L1 permet d'obtenir, grâce à une séparatrice, deux rayons, l'un de référence, l'autre réfléchi par un miroir (M1) puis par la barre, impressionne la plaque photographique P comme l'a fait le rayon de référence. On superpose les hologrammes de la barre avant et après déplacement. Après développement de la plaque photographique, on observe des franges d'interférence ce qui permet de vérifier l'existence de la pression de radiation. On peut cependant, se poser la question de savoir si le déplacement de la barre est bien dû à la pression de radiation ou à la chaleur créée par le rayon lumineux au contact de la barre.



OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD



Notre dispositif expérimental.



Hologramme de la barre présentant des franges d'interférences
(*temps d'exposition : trois minutes*).



Réalisation d'un spectrophotomètre

LYCÉE

Lycée Condorcet - 69800 Saint-Priest (*Lyon*)

PARTICIPANTS

Noureddine MESBAHI (*Professeur*) ;

Chiraz SOLTANI, Amélie JAILLET, Fabienne GAUTIER, Céline GALLION, Chérif TOUHAMI (*Élèves*).

PRINCIPE DU SPECTROPHOTOMÈTRE RÉALISÉ

1 - *L'idée*

A la demande de M. MESBAHI, soutenu par M. SIBUE Proviseur de notre lycée, le souhait de coopération lycée-entreprise a trouvé un écho favorable chez M. CADET directeur, et ses assistants, du Laboratoire des analyses physico-chimiques et biologiques de la Compagnie Générale des Eaux, qui proposent l'accueil des élèves du lycée une fois par semaine, d'avril au mois de juin. Intéressés par ce projet, nous avons accepté d'effectuer ce stage que nous avons trouvé très intéressant. Pour bien profiter de la spécificité de ce stage et l'intégrer dans le cursus scolaire, nous avons décidé de nous présenter au concours de ces Olympiades de Physique. Lors de notre séjour dans le Laboratoire de l'entreprise doté des techniques de pointe, nous avons constaté que la méthode d'analyse spectrophotométrique constitue une des techniques la plus utilisée pour l'analyse des eaux. D'où l'idée, proposée par M. MESBAHI, de réaliser un spectrophotomètre.

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

2 - Principe du spectrophotomètre réalisé

Nous avons étudié plus particulièrement le spectrophotomètre visible monofaisceau très utilisé dans les laboratoires des lycées . Il est composé (cf. figure 1) :

- D'une source lumineuse et d'un système optique focalisant le faisceau : le flux lumineux monochromatique est obtenu.
- En interposant entre le flux lumineux et la substance à étudier (solution colorée) des filtres colorés (interférentiels de préférence ou en gélatine qui peut bien faire affaire) sélectionnant ainsi les différentes longueurs d'onde.
- Ensuite le flux lumineux choisi, après avoir traversé la cuve contenant la solution absorbante est capté par une photodiode.
- Le courant fourni est ensuite amplifié par un dispositif électronique qui le convertit en tension que l'on mesure à l'aide d'un voltmètre (ou galvanomètre à grand cadran).

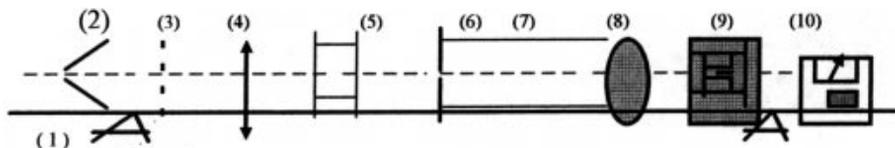


Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental.

a - Matériels utilisés

- (1) : Banc optique.
- (2) : Source lumineuse
(lampe halogène 12 V-50 W alimenté par une alimentation continue 12V).
- (3) : Filtre interférentiel SEAVOM $\lambda_a = 540 \text{ nm}$.
- (4) : Lentille convergente $f = 12,5 \text{ cm}$.
- (5) : Cuve à faces parallèles + support.
- (6) : Diaphragme.
- (7) : Tube PVC de longueur 20 cm (protège la photodiode de la lumière ambiante).
- (8) : Photodiode CDA651A $\Phi = 45 \text{ mm}$.
- (9) : Module amplificateur (voir figure 2).
- (10) : Voltmètre.

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

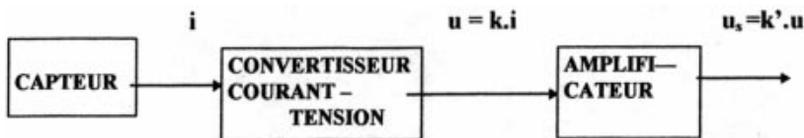


Figure 2 : Schéma fonctionnel du module amplificateur.

PRINCIPE DE LA MANIPULATION ET DÉTERMINATION DES CONCENTRATIONS

C'est l'application de la loi de Lambert-Beer pour déterminer la concentration d'une solution de permanganate de potassium.

1 - Choix d'une longueur d'onde

Connaissant le spectre d'absorption de la solution à étudier, on choisit la longueur d'onde. Celle-ci correspond au maximum d'absorption. Dans le cas de permanganate de potassium, on utilise un filtre interférentiel vert centré à 540 nm.

2- - Utilisation d'un témoin

A l'aide d'une solution étalon de concentration C , on détermine, par mesure de son absorbance A , le coefficient $(\epsilon.l)$ à la longueur d'onde choisie tel que :

$$(\epsilon.l) = A / C$$

Il suffit alors de mesurer l'absorbance A de la solution de concentration inconnue C' . La solution se déduit de la relation :

$$C' = A' / (\epsilon.l) = C \cdot A' / A$$

Cependant cette méthode est à réserver pour les spectrophotomètres à grande précision.

3 - Utilisation d'une courbe d'étalonnage

Il faut réaliser une gamme de témoins de concentrations différentes et vérifier dans quel domaine de concentration la loi de Lambert-Beer est vérifiée.

Ensuite il suffit de mesurer l'absorbance A de la solution de concentration inconnue C' et de reporter sa valeur sur le graphe et en déduire C' (méthode que nous utiliserons).

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE

L'absorbance A est déterminée par la mesure de la transmittance T : en pratique la tension (voir dispositif expérimental) est proportionnelle au flux lumineux reçu par la photopile. On mesure la transmittance T en effectuant le rapport :

$$= \frac{U_{\text{sol}}}{U_{\text{ref}}} \quad (\text{sol : eau distillée ou la elle} = 0)$$

MODE OPÉRATOIRE

- En l'absence de la cuve, déplacer la lentille de façon à obtenir la déviation maximale de l'aiguille du voltmètre (à pleine échelle).
- Mettre de l'eau distillée dans la cuve et effectuer les réglages au moyen des potentiomètres P1 et R2 de telle sorte que le voltmètre fonctionne à pleine échelle.
- Avant d'ôter la cuve, baisser la tension au moyen de R2 pour éviter une déviation dangereuse de l'aiguille du voltmètre vers la droite du cadran. Avant chaque mesure, on redonnera à R2 sa valeur initiale.
- Utiliser des solutions de permanganate de potassium de diverses concentrations (faibles). Mesurer T dans chaque cas.

RÉSULTATS

- Déterminer $\log T$.
- Tracer $\log T = f(C)$.
- Déterminer la limite de linéarité. La pente de la partie linéaire permet de calculer connaissant « l ». La valeur théorique : (KMnO_4 pour $\lambda = 540 \text{ nm} = 216 \text{ m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$).
- Déterminer $\log T$ puis C pour la solution de permanganate de potassium inconnue et en déduire C .

$C \cdot 10^4$ /	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2	2,5	3
	93	82	73	57	46	36,5	31	25,5
$\log T$	0,03	0,09	0,14	0,24	0,34	0,44	0,51	0,59

Variation de l'absorbance A en fonction de la concentration
solutions de permanganate de potassium ($\lambda = 540 \text{ nm}$).



Mesure de l'indice optique de l'air grâce à l'interféromètre de Michelson

LYCÉE

Lycée du Parc - 69000 Lyon (*Lyon*)

PARTICIPANTS

Mathieu BARTHÉLÉMY (*Professeur stagiaire IUFM*) et
Marie-Christine RIVAS (*Formateur IUFM*) ;

Christophe DUJARDIN (*UCBL-Lyon I, Conseiller scientifique*) ;

Gérard PEROT (*Lycée du Parc, Conseiller technique*) ;

Jean-François CHASSAGNEUX, Morgan DESORT, Timothée FRAISSE (*Élèves*).

PROJET

La lumière est un phénomène de nature ondulatoire, une onde lumineuse est caractérisée, entre autres, par sa fréquence et sa vitesse de propagation, liée à l'indice du milieu. L'indice du vide étant de 1, c'est l'indice de l'air que nous nous sommes proposés de mesurer.

Le principe utilisant l'interféromètre de Michelson

Un rayon lumineux arrive sur une lame séparatrice, générant deux rayons qui se reflètent sur deux miroirs perpendiculaires et viennent se superposer.

Une cuve étant placée sur un des bras du Michelson, on lui impose une variation de pression, entraînant une variation de différence de marche :

$$\Delta\delta = 2 \left(\left(1 \right) \left(2 \right) \right) \quad \Delta\delta = \lambda \text{ (aux maxima de lumière)}$$

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

La cuve étant pompée, on rétablit lentement la pression et on voit ainsi défileur des anneaux d'interférence. A chaque anneau qui défile, la différence de marche varie de λ . On obtient donc :

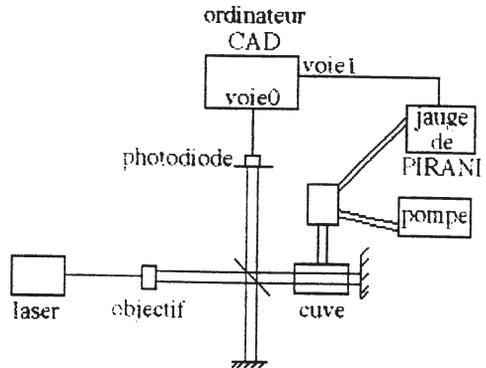
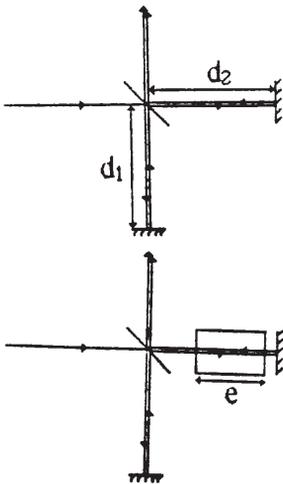
$$2 \left((x - 1) \lambda \right) = \lambda$$

où x est le nombre d'anneaux ayant défilé.

Le résultat de nos manipulations

$$n(\text{air}) = 1,002801$$

Le montage expérimental



OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

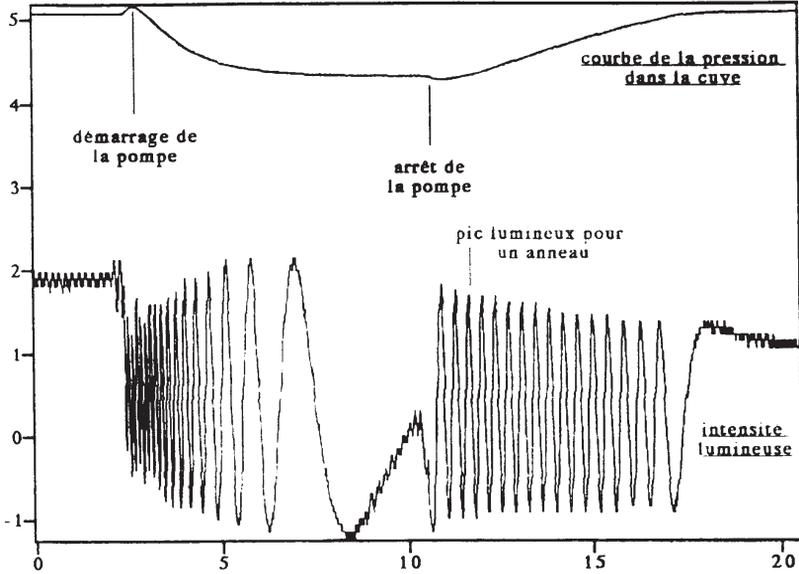


Figure 8 : Courbes intensité et pression.

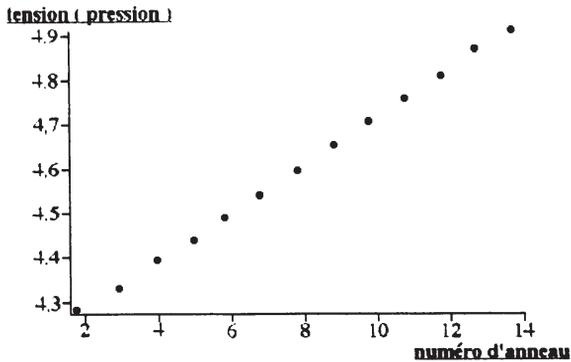


Figure 9 : n° anneau-tension.

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD



RMN

Résonance Magnétique Nucléaire en champ magnétique terrestre

LYCÉE

Lycée Saint-Exupéry - 69000 Lyon (*Lyon*)

Laboratoire de Résonance Magnétique Nucléaire - Université Claude Bernard

PARTICIPANTS

Mme BERTRAND et Mme PIGUET (*Professeurs*).

PROJET

L'objectif du directeur de recherche l'honorable M. BRIGUET, était de présenter le phénomène de la résonance magnétique nucléaire à un niveau accessible pour des élèves de terminale.

Il s'agissait en fait :

- d'une part d'élaborer un texte,
- d'autre part de réaliser quelques modestes expériences portant sur les propriétés magnétiques de certains noyaux atomiques.



PRINCIPE

Le phénomène de résonance magnétique nucléaire s'observe avec les noyaux qui possèdent un moment magnétique. Seuls les noyaux ayant un nombre de spin I non nul (protons, carbone 13, fluor 19) sont doués de magnétisme nucléaire.

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

Le noyau, soumis à un champ magnétique, est comparable à une toupie en rotation qui tourne sur elle-même tout en étant animée d'un mouvement de précession.

Ce phénomène s'appelle la *précession de Larmor*. Sa fréquence, égale à $\omega / 2\pi$, vaut :

$$\nu = \gamma \cdot \frac{\hbar}{2\pi}$$

C'est la *fréquence de Larmor* ; elle dépend de la nature du noyau et est proportionnelle au champ magnétique extérieur.

EXPÉRIENCES

Pour observer le phénomène de précession, il faut un *champ magnétique externe uniforme et constant* ; ceci demande un aimant de très grande qualité. Nous avons donc choisi d'utiliser le champ magnétique terrestre qui localement peut être très uniforme. Or, en champ magnétique terrestre dont la valeur est très faible l'aimantation macroscopique est insuffisante pour visualiser un phénomène RMN. Il faut donc augmenter momentanément cette aimantation en réalisant une phase de polarisation. Pour cela, on soumet l'échantillon à un champ magnétique polarisant \vec{B}_1 perpendiculaire au champ magnétique statique \vec{B}_0 (champ magnétique terrestre) et de valeur de l'ordre de $2 \cdot 10^{-2}$ à 0.1 T.

Ce champ \vec{B}_1 , en raison de son orientation, a également pour effet de provoquer un basculement de l'aimantation nucléaire.

Ensuite, on coupe très rapidement \vec{B}_1 . L'aimantation macroscopique ne voit plus alors que le champ faible \vec{B}_0 et revient à sa position d'équilibre en exécutant autour de \vec{B}_0 un mouvement de précession.

Ce mouvement va induire une force électromotrice dans une bobine dont l'axe est placé normalement à \vec{B}_0 et qui est accordée à la fréquence de précession.

On recueille un signal de précession libre, à la pulsation de Larmor :

$$\omega_0 = \gamma \cdot \hbar$$

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

Il y a *résonance* entre le circuit électrique correctement accordé et le mouvement de précession de l'aimantation nucléaire.

On peut donc utiliser la même bobine pour polariser l'échantillon et recevoir le signal RMN lorsqu'on opère à champ faible.

Pour le proton la valeur de son rapport gyromagnétique est :

$$\gamma = 2. \pi. 42.576 \text{ } ^6 \text{ / /}$$

La fréquence de Larmor en champ terrestre vaut donc :

$$f_0 = \cdot \omega_0 / 2\pi$$

soit :

$$f_0 = 42.576 \cdot 0.47 \cdot 10^{-4} \quad f_0 \text{ voisin de 2 kHz}$$

La bobine est la pièce maîtresse du montage : elle sert d'abord à créer le champ magnétique polarisant \vec{B}_0 , perpendiculaire à $\vec{\omega}_0$, puis à recevoir le signal.

Une bobine cylindrique, ouverte à chacune de ses extrémités, devra être protégée des parasites dus aux ondes électromagnétiques de radiofréquence en la plaçant dans une cage de Faraday en cuivre.

L'intérêt d'une bobine fermée est d'être plus hermétique au milieu extérieur. En effet les lignes de champ sont canalisées par la bobine qui joue ainsi le rôle d'une cage de Faraday minimisant les parasites.

On applique une tension de 54 V aux bornes de la bobine pendant le temps de polarisation (3s). Avec l'oscilloscope à mémoire on enregistre alors la force électromotrice induite oscillante. On obtient des oscillations amorties, c'est le signal de précession libre attendu de fréquence $f_0 = 2$, et connaissant $\gamma / 2\pi = 42.576 \text{ /}$ pour le proton on peut calculer $\omega_0 = 2\pi f_0 / \gamma$:

$$\omega_0 = 2000 \cdot 42.576 \cdot 10^{-6}$$

soit :

$$\omega_0 = 4.70 \cdot 10^{-5}$$

Cette valeur correspond bien à celle, habituellement connue, du champ magnétique terrestre sous nos latitudes.

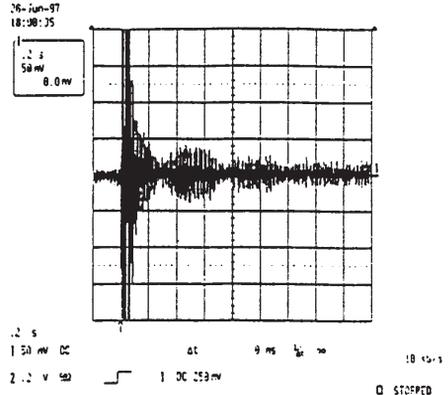
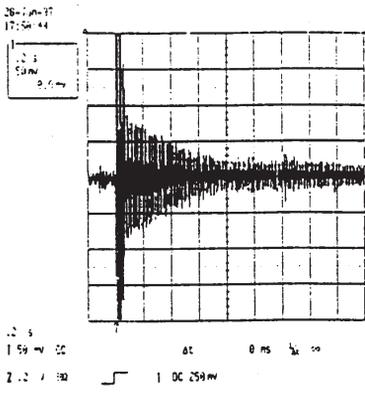
 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

APPLICATIONS

Il est possible de mettre en évidence des perturbations en déposant un objet métallique (clefs, tournevis...) sur la cage de Faraday ; on obtient un signal perturbé : son amplitude est plus faible et il est de plus courte durée.

La mesure du champ magnétique terrestre est utilisée pour :

- La détection de masses métalliques ; par exemple en immergeant des magnétomètres :
 - on récupère les boosters d'Ariane lorsqu'ils tombent en mer,
 - on a retrouvé le Titanic et d'autres navires coulés en mer,
 - on peut aussi surveiller le mouvement des sous-marins.
- La surveillance des volcans : les mouvements de lave produisent des variations du champ mesurées par des magnétomètres sensibles à 100pT.
- La surveillance de l'activité de la magnétosphère : les satellites embarquent des magnétomètres.



Signal obtenu avec la bobine torique
balayage : 0,2 s / div, sensibilité : 50 mV / div

- a) conditions normales
durée d'amortissement : environ 0,6 s
amplitude maximale voisine de 80 mV

- b) avec tournevis à proximité

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD



En se promenant dans la *Grande Ourse*...

LYCÉE

Lycée Jules Fil - 11000 Carcassonne (*Montpellier*)

PARTICIPANTS

Huguette COMBES (*Animateur*).

PROJET

D'une réflexion sur les sectes... aux olympiades de physique

Automne 1996, l'opinion s'émeut du suicide collectif d'un groupe d'adeptes de la secte du «Temple Solaire». Ils croyaient, dit-on, arriver plutôt au Paradis : Sirius !

Sirius est une étoile de la constellation du Grand Chien, la plus brillante du ciel d'hiver. Une poignée d'élèves de première S décide de développer des activités documentaires sur cette étoile afin de la démythifier.

L'opération européenne «**Astronomy on line**» leur donne l'occasion de dialoguer avec des astrophysiciens de plusieurs observatoires français et européens via Internet. Une multitude de renseignements sur Sirius est collectée.

Un bonheur ne vient jamais seul : l'ANSTJ lance l'opération «lycée de nuit». Notre candidature est acceptée : pendant le long week-end de Pâques nous serons en mission à l'Observatoire de Haute-Provence. Un télescope de 80 cm équipé pour la photométrie sera à notre disposition pendant quatre nuits. Contents mais néanmoins déçus, car nous sommes priés d'abandonner Sirius, trop brillante elle saturerait les capteurs !

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

Un contact avec le CNES nous remonte le moral. Il nous est conseillé d'effectuer des mesures photométriques sur une binaire à éclipses de courte période. Ce sera W Ursae Majoris. D'après la littérature sa période n'a pas été éprouvée depuis plus de dix ans.

Par une nuit glaciale de janvier, sous la coupole de l'observatoire de Pauligne (Aude) les animateurs du club alpha Centauri de la MJC de Carcassonne nous initient à la photométrie stellaire : caméra CCD et logiciel MIPS nous livrent au bout de deux heures un des secrets de WUMa : sa luminosité varie. Seulement deux heures de mesures nous montrent que l'énergie rayonnée croît, passe par un maximum puis décroît... «Ça marche» ! Nous serons candidats aux Olympiades de Physique.

A l'OHP on a voulu jouer aux pros... et on s'est... «plantés» !

Partager la vie des astronomes, des techniciens de coupole, des thésards pendant quatre nuits est une expérience inoubliable pour les élèves et le professeur qui les accompagnait. En prime avec les œufs de Pâques nous avons eu le merveilleux spectacle de Hale-Bopp à son périhélie dans un ciel d'une extrême pureté. Nous avons ramené sur cédérom des images d'une remarquable qualité, certaines acquises avec des filtres B et V.

Au retour il a fallu déchanter...

Nous constatons d'abord qu'une mauvaise manipulation a écrasé deux nuits de mesures dont la dernière, la nuit du dimanche au lundi de Pâques dont tous les astronomes qui travaillaient à l'OHP se souviendront : un ciel très pur sans la moindre turbulence. Donc les meilleures images perdues !

Mais le pire nous attendait. Nos images acquises avec le logiciel MIDAS sous LINUX destiné aux professionnels doivent être traitées avec ce même logiciel. Une vraie galère pour des amateurs ! Nous n'avons pas réussi malgré de très nombreuses heures de labeur. Ceux qui connaissent comprendront et ne seront sans doute pas surpris .

On a tout laissé tombé en juin un peu dégoûtés. Rendez-vous à la rentrée pour de nouvelles mesures à Pauligne chez nous.

Suite...

A la rentrée début septembre, panique à bord ! WUMa ne daigne se lever qu'au petit matin... et qui plus est... derrière la colline au nord de la coupole !

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

Denise réclame un mémoire et nous n'avons aucun résultat qui tienne la route. Nous allons donc raconter la saga de nos déboires...

Le samedi 24 octobre (pratiquement la veille du concours) la météo est favorable et WUMa se lève vers minuit. On dort debout mais toutes les cinq minutes une acquisition est enregistrée jusqu'au lever du soleil. Nous traitons les images immédiatement. Avec le logiciel MIPS sous DOS on sait faire. La courbe de luminosité est là : elle ressemble vaguement à une sinusoïde redressée, la période est bien de huit heures.

...Et pas fin !

Pendant le cocktail qui a suivi la distribution des prix dans les locaux du CEA, nous avons rencontré un astrophysicien qui nous a mis sur la piste d'un de ses collègues qui sait convertir les images MIDAS en images MIPS. Le contact avec cette providence s'est effectué par e.mail et nous sommes aujourd'hui en possession de la procédure. Ainsi les images de grandes qualités capturées à l'OHP vont pouvoir être exploitées. Nous serons alors en mesure de déterminer plusieurs paramètres de WUMa : non seulement la période mais aussi la distance, la température et le rapport des rayons. Rendez-vous à l'**Expo-Sciences Régionale EINSTEIN du Languedoc-Roussillon** du 27 au 31 mai 1998 à Carcassonne où nous exposerons nos résultats.

Le club Sirius du Lycée Jules Fil de Carcassonne
E.mail : J.FIL@wanadoo.fr

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD



«Le temps vous est compté»

LYCÉE

Lycée Pothier - 45000 Paris (*Orléans-Tours*)

PARTICIPANTS

Marie-Christine BAURRIER (*Professeur*) ;

Karine DUPRET-DREYER (*Stagiaire IUFM en 1996/1997*) ;

Élèves de première scientifique.

Conseils

M. BIGLIER - CNRS, Laboratoire de physique et Métrologie des Oscillateurs de Besançon.

M. DIMARCQ - Laboratoire de l'horloge atomique, Université Paris XI - Orsay.

M. GAITE - Laboratoire de cristallographie, Université d'Orléans.

PRÉSENTATION

Ce projet consiste à étudier le fonctionnement d'un objet banal, la montre à quartz, et de mesurer son écart de fréquence par rapport à un oscillateur de référence.

Les notions de base de ce projet sont dans la partie «Tensions et intensités» de seconde (tensions sinusoïdales, mesure de tensions avec multimètre et oscilloscope, amplificateur opérationnel), dans la partie «Systèmes oscillants» de la classe de terminale scientifique (oscillateurs électriques) et dans la partie «Télécommunication» de l'enseignement de spécialité (montage multiplieur).

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

DESCRIPTION**1 - Comment ça marche ?**

L'analyse des tensions aux bornes de différents points du circuit imprimé montre notamment qu'il existe une tension alternative sinusoïdale aux bornes du quartz de fréquence voisine de $f = 32768 \pm 15$.

Des questions se posent alors :

- Comment peut-il exister une tension alternative avec une pile ?
- La fréquence des oscillations dépend-elle de la tension d'alimentation (pile neuve ou usagée) ? de la température (montre au poignet ou sur la table de nuit) ?
- Comment comparer les fréquences de deux montres ?

Un réveil radiopiloté permet d'étudier la stabilité en fréquence, à température ambiante (22°C) de six montres bas de gamme. Les quatre plus stables sont alors placées dans un réfrigérateur (6°C) pendant trois semaines puis sous une lampe (30°C). Dans les deux cas, elles retardent.

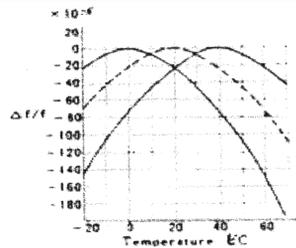


Figure 1

L'étude des oscillations du quartz, directement sur la montre, pose deux problèmes :

- d'une part, la prise de la mesure de fréquence est mal aisée (contacts adaptation d'impédance) : il s'avère nécessaire de créer un oscillateur à quartz,
- d'autre part, la mesure, elle-même est peu précise aussi bien avec l'oscilloscope (33 2 kHz) qu'avec le fréquencemètre (32,77 ± 0,05 kHz) : il faut alors trouver une méthode permettant de mesurer de faibles écarts de fréquences. En effet, la dérive d'un quartz horloger ne doit pas excéder six secondes par mois ce qui donne un écart de 0,075 Hz par rapport à un étalon atomique.

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

2 - Réaliser un oscillateur à quartz horloger

<p style="text-align: center;">Figure 2</p>	<p>Une alimentation stabilisée continue, réglable (non représentée sur le schéma) permet d'alimenter la porte NON.</p> <p>Les oscillations sont amorcées pour une tension d'environ 4 V. En diminuant la tension, on obtient les oscillations avec leur maximum d'amplitude pour une tension voisine de 2,3 V (tension de décrochage des oscillations).</p>
--	---

3 - Comparer deux fréquences

• La simulation

Soit deux fonctions sinusoïdales de même amplitude et de fréquences f_1 et f_2 voisines telles que $u_1(t) = \cos(2\pi f_1 t)$ et $u_2(t) = \cos(2\pi f_2 t)$.

$$u = u_1(t) + u_2(t) = 2 \cos \left[2\pi \left(\frac{f_1 + f_2}{2} \right) t \right] \times \cos \left[2\pi \left(\frac{f_1 - f_2}{2} \right) t \right]$$

$$u = u_1(t) \times u_2(t) = \frac{1}{2} \left[\cos 2\pi f_1 (t + t_2) + \cos 2\pi f_1 (t - t_2) \right]$$

<p>Le montage sommateur</p> <p style="text-align: center;">Figure 3</p>	<p>Le montage multiplieur</p> <p style="text-align: center;">Figure 4</p>
--	--

• Les montages

Remarque : le montage sommateur, une fois réalisé et compris est remplacé par la fonction ADD d'un oscilloscope à mémoire.

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

On peut facilement évaluer une différence de fréquence de 0,1 Hz avec un oscilloscope réglé sur la sensibilité 5 s/div.

4 - Application : le tri des quartz

Deux oscillateurs sont réalisés. L'un est pris arbitrairement comme référence, l'autre comme oscillateur testeur dans lequel les quartz à étudier sont introduits.

En modifiant la tension d'alimentation d'un seul des oscillateurs, on montre que la fréquence des oscillations d'un quartz est fonction de la tension d'alimentation. Dans le cas d'une montre, les piles type «bouton» à oxyde d'argent fournissent une remarquable stabilité en fréquence des oscillations quelques heures après la mise en place des piles neuves et un ou deux jours avant l'arrêt de la montre (figure 5).

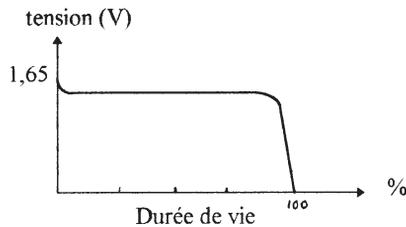


Figure 5 : Diagramme de décharge des piles à oxyde d'argent.

En branchant les deux oscillateurs sur la même alimentation, on peut comparer les fréquences et trier les quartz. Ce travail est la deuxième étape de l'industrie horlogère après la synthèse du cristal et sa taille.

Pour une température et une tension données, la fréquence des oscillations dépend de la taille du cristal et d'une possible inclusion d'ions ou dislocation de la structure cristalline lors de la fabrication du quartz. Les quartz qui ont un décalage de moins de 1/10 Hz par rapport à une référence sont sélectionnés et employés dans les montres de marques prodigieuses. Les autres sont vendus par sac, au kilogramme, pour les montres bas de gamme. Parmi ces montres, c'est la loterie : certaines auront des quartz avec de faibles dérives, d'autres subiront des dérives importantes.

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

RÉFÉRENCES

Matériel

- Montres à quartz de récupération pour démontage.
- Montres à quartz neuves (39 F chez «Palafsolde»).
- Réveil radiopiloté (79 F chez Leclerc).
- Quelques quartz horlogers 32768 Hz (12 F dans un magasin d'électronique).
- Oscilloscope à mémoire, Amplificateur opérationnel, Porte NON.

Bibliographie

Il n'existe que peu de documents précis sur le fonctionnement de la montre à quartz. La documentation utilisée a été donnée par la bijouterie - horlogerie PEPIN à Orléans (document pour le dépannage) et envoyée par le service recherche et développement de ROLLEX - Genève.

A. DEIBER, O. KEMPF, I. MARKIEWICZ : «*Du réveil à la montre à quartz*»
BUP n° 799, décembre 1997, pp. 2023-2050.

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

**«Voir» avec les ondes thermiques**

LYCÉE

Lycée Maurice Ravel - 75000 Paris (*Paris*)

PARTICIPANTS

Mme CHAVY et Mme MAUREL (*Professeurs*).

PROJET

Le titre même de ce projet peut paraître surprenant. En effet, il est normal de s'attendre à entendre parler d'ondes lumineuses lorsqu'il s'agit de vision. En fait, «voir» ici signifie détecter ; le but étant de détecter des objets cachés.

Pour cela nous avons utilisé, deux phénomènes physiques : le mirage et la diffusion thermique.

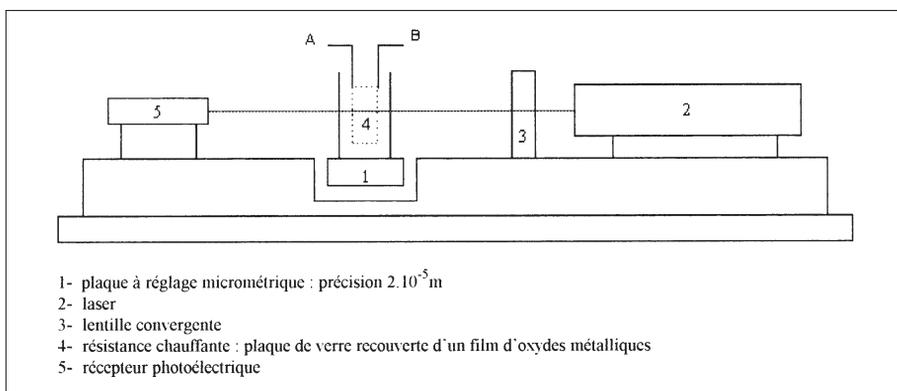
La diffusion thermique est le phénomène qui accompagne la propagation de l'échauffement d'un matériau. Quel que soit le matériau chauffé, il existe une distribution des températures dans l'ensemble du matériau dépendant des conditions extérieures et du matériau choisi. Si le chauffage est périodique, la zone chauffée sera limitée à un volume réduit du matériau.

L'effet mirage est le fait qu'un rayon lumineux ne se propage pas de la même manière selon les propriétés du milieu qu'il traverse. La traversée d'un milieu homogène s'effectue en suivant une ligne droite, alors que dans un milieu hétérogène, la trajectoire n'est plus rectiligne. Un milieu soumis à une différence de température est hétérogène. L'énergie s'échelonne alors dans le milieu en décroissant d'intensité, créant ainsi des «couches» de températures différentes, formant un gradient de températures. Ces phénomènes sont observables dans la nature, notamment dans les déserts, ce sont les

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

«mirages». Il est possible de recréer les conditions de ce phénomène en laboratoire à l'aide d'un laser en incidence quasi-rasante sur une source de chaleur.

C'est en combinant ces deux phénomènes que deux montages ont été réalisés et sont basés sur le même principe : un rayon laser passe de manière presque rasante à une source de chaleur. Toute déviation de ce laser est perçue par un module photoélectrique et répercutée sur un oscilloscope où elle se traduit par l'observation d'une variation de tension.



Dans le premier montage, la source de chaleur est une sorte de résistance électrique plongée dans une cuve de glycérol. L'avantage est qu'il est facile de contrôler la puissance dissipée en faisant varier la nature de la tension appliquée à cette résistance (continue ou alternative, amplitude et fréquence). Cela nous a permis de retrouver expérimentalement le modèle théorique (*cf. encart*).

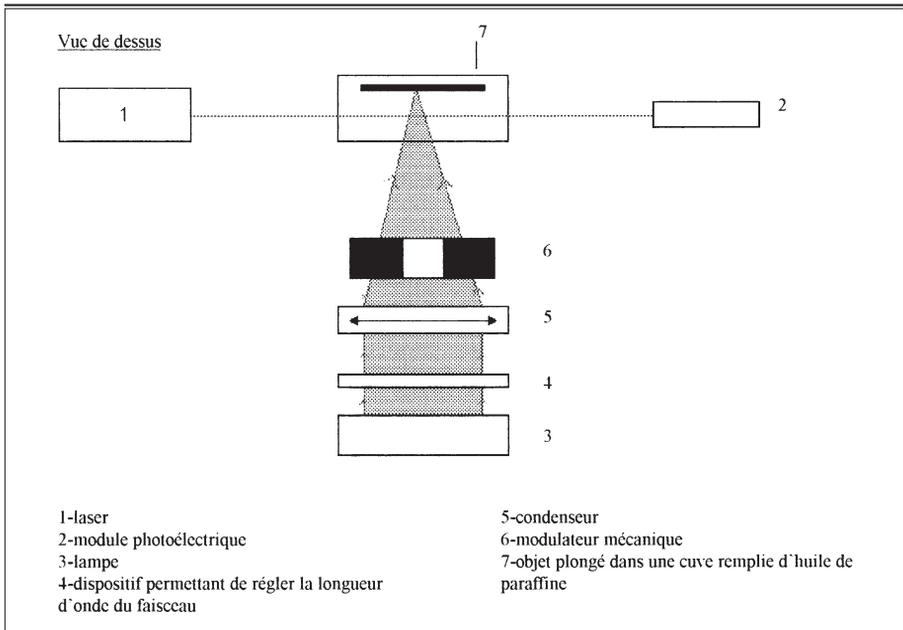
Modèle théorique

La température dans un milieu chauffé par une source de chaleur modulée à une distance x de la source est donnée par :

$$T(x, t) = T(0) + \theta e^{-x/\mu} \cos(\omega t - x/\mu)$$

où $T(x)$ la température en un point x , $T(0)$ une température de référence, θ amplitude de modulation, $e^{-x/\mu}$ est le facteur d'amortissement et x/μ le facteur de déphasage, et μ est appelé longueur de diffusion thermique.

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD



Le second montage est plus une application. La résistance est remplacée par une fine lame de verre recouverte d'un vernis coloré. C'est ce vernis qui éclairé par un flux lumineux intense constitue la source de chaleur. En l'éclairant dans différentes gammes de longueur d'onde et en mesurant l'amplitude des signaux données par le module photoélectrique, on peut tracer son spectre d'absorption. Mais le plus intéressant est l'étude d'objets composites (plusieurs couleurs de vernis superposées). Par exemple, si on éclaire un objet bi-couche dans une gamme de longueurs d'onde où la couche apparente (connue) ne devrait pas chauffer et que, pourtant le module photoélectrique signale une forte oscillation du laser, c'est que la couche inférieure chauffe. On a donc réussi à la détecter et par complémentarité des couleurs, on peut dire sa couleur. Ainsi on «voit» bien ce qui est caché grâce aux ondes thermiques. Ce procédé pourrait compléter les techniques déjà existantes dans l'expertise des œuvres d'art (radiographie, détection infrarouge, ...).

Il faut ajouter que l'étude de la diffusion thermique dans un objet chauffé grâce à l'effet mirage ne se limite pas à un seul domaine. En effet, ce type de contrôle non destructif peut avoir de nombreuses applications notamment pour la recherche de défaut dans les pièces métalliques utilisées en aéronautique et dans les centrales nucléaires.



Réalisation d'une alimentation stabilisée

LYCÉE

Lycée Raymond Naves - 31075 Toulouse Cedex (*Toulouse*)

PARTICIPANTS

Serge MONSALVE (*Professeur*) ;

Grégory DELBART, Bruno LONGHI (*Élèves*).

PROJET

Nous avons fait le choix de traiter, pour notre première participation un sujet simple ne faisant appel, pratiquement, qu'à des notions de première S en nous attachant à une approche expérimentale et en limitant les considérations théoriques au minimum.

Il s'agit de la réalisation d'une alimentation stabilisée capable de donner à partir du courant électrique fourni par EDF une source de tension continue de 6 volts, capable de débiter un courant pouvant aller jusqu'à un ampère, sans variation importante de la tension. On cherchera aussi à obtenir une tension bien redressée avec le minimum d'oscillations résiduelles possible.

Une partie des études préliminaires a été effectuée grâce à un logiciel de simulation. Ainsi nous avons pu effectuer plus rapidement les essais sans risques de détérioration des composants. Les candidats ont imprimé les oscillogrammes obtenus afin de les joindre à leur exposé ce qui est habituellement impossible.

1. ÉTUDE DU TRANSFORMATEUR À VIDE

- Primaire, secondaire, rôle du transformateur.
- Forme de la tension à la sortie du transformateur.

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

- Fréquence de la tension d'entrée et fréquence de sortie
- Tension de sortie :
 - à vide,
 - lorsque le transformateur débite en charge,
 - variation de la tension de sortie en fonction de l'intensité de sortie.

2. ÉTUDE DU REDRESSEMENT DU COURANT ÉLECTRIQUE ET DU FILTRAGE

- Observation du courant redressé :
 - à vide,
 - en charge.

3. ÉTUDE DU FILTRAGE, RÔLE DU CONDENSATEUR

- Observation du courant redressé et filtré à l'ordinateur et sur l'oscilloscope :
 - à vide,
 - en charge,
 - oscillation résiduelle,
 - influence de la capacité du condensateur de lissage.
- Peut-on déjà parler de courant continu ?

4. ÉTUDE DE LA DIODE ZENER EN INVERSE

- Tracé de la caractéristique de la diode Zener en inverse.
- Découverte de la fonction de régulation.
- Obtention d'une tension régulée mais limitée en intensité (10 mA).
- On voit que pour obtenir une intensité de sortie égale à 1 A, il faut amplifier le courant électrique provenant de cet étage.

5. AMPLIFICATION PAR UN TRANSISTOR

- Il faut polariser le transistor entre la base et l'émetteur pour qu'il puisse laisser passer le courant entre le collecteur et l'émetteur. Une tension de 0,6 à 0,7 V est nécessaire pour polariser le transistor.
- En raison de cette tension de polarisation, qui vient se soustraire à la tension de la diode Zener, la tension à la sortie du transistor ne sera que de 5,4 V environ.

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

Il conviendra donc de prévoir une diode Zener de tension inverse plus importante (6,8 V valeur prévue par le constructeur) pour obtenir une tension d'environ 6 V à la sortie du transistor.

- En réalité on s'aperçoit que le montage avec un seul transistor ne convient pas car on n'arrive pas à maintenir une tension de 6 V lorsque l'intensité dépasse 400 mA.

6. MONTAGE AVEC DEUX TRANSISTORS MONTÉS EN DARLINGTON

Le courant sortant de l'émetteur du premier transistor entrera dans la base du second. Ainsi le courant qui passera dans la base du premier transistor sera beaucoup plus faible. Le courant qui sort de l'étage de la Zener sera amplifié par les deux transistors.

On remarque que $i_2 = 100 \cdot i_1$ et $i_3 = 100 \cdot i_2$ avec les valeurs du gain du logiciel de simulation.

Donc en réalité :

$$i_2 = 100 \cdot i_1$$

$$i_3 = 100 \cdot i_2$$

soit :

$i_3 = 100 \cdot 100 \cdot i_1$

Nous choisirons pour T_2 un transistor de puissance 2N 3055, capable de supporter dix ampères, qui a un gain moins important mais suffisant malgré tout.

Comme nous avons deux transistors à polariser nous voyons que nous devons utiliser une diode de tension de Zener égale à 7,5 V que l'on trouve dans le commerce (deux fois 0,7 V + 6 V à la sortie). La simulation et surtout l'expérience montre que ce montage fonctionne convenablement.

7. MESURES

Nous avons vérifié au voltmètre :

- que la tension obtenue est bien égale à 6 V environ,
- que la tension de sortie ne varie que très peu entre :

$$T = 0 \quad U_0 = 6,3 \quad T = 20^\circ \text{C}$$

$$T = 1 \quad U_1 = 5,96 \quad T = 20^\circ \text{C}$$

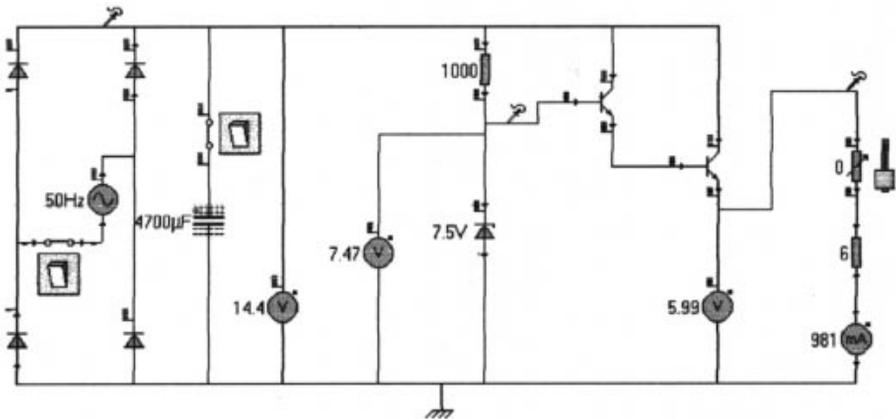
 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

Au bout de quelques minutes :

$$= 1 \quad I_1 = 6,10 \quad = 102^\circ \text{C}$$

Ensuite la tension et la température restent stables pendant des heures de fonctionnement. L'oscillation résiduelle, mesurée à l'oscilloscope, pour $= 1$ est égale à 6 mV.

On conclue que l'alimentation réalisée remplit bien le cahier des charges.





Réalisation d'une centrale d'alarme

LYCÉE

Lycée de Magnanville - 78200 Versailles (*Versailles*)

PARTICIPANTS

M. BESSY (*Professeur*).

PRÉSENTATION

Cinq élèves du lycée polyvalent régional de Magnanville ont réalisé pour les Olympiades de Physique 1997 une centrale électronique d'alarme. Nous avons bénéficié des conseils de M. PUISSANT de l'Institut d'Électronique Fondamentale de l'Université d'Orsay.

FONCTIONNEMENT ÉLECTRIQUE DE LA CENTRALE

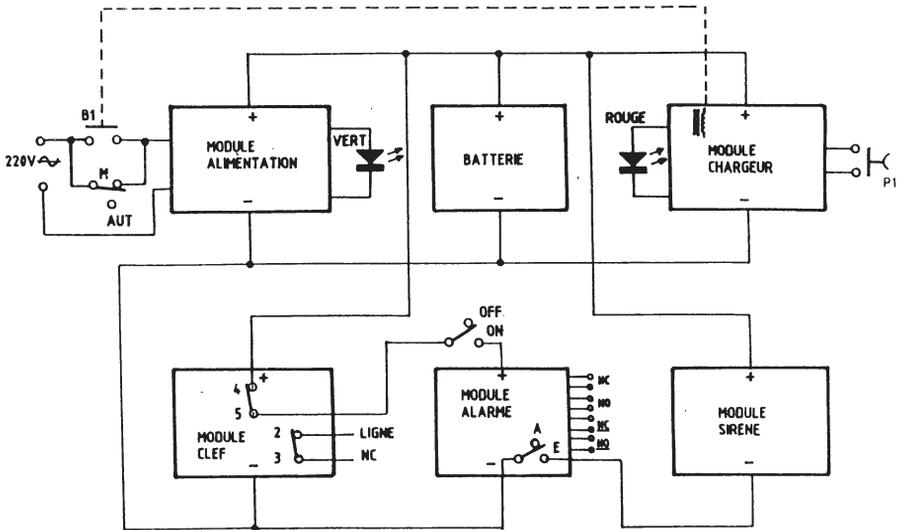
Le module alimentation fournit la tension et le courant nécessaire pour maintenir constamment chargée la batterie d'alimentation de la centrale.

Le module chargeur de batterie automatique contrôle à tout instant l'état de charge de la batterie. Lorsque la charge est terminée il déconnecte l'alimentation. La centrale et les signalisations sonores sont donc alimentées en permanence par la batterie indépendamment de la présence ou non de la tension secteur.

Le module sirène électronique fournit la signalisation acoustique d'alarme lorsqu'il reçoit la commande d'un module d'alarme.

Le module d'alarme constitue le «cœur» du système antivol. Il doit traiter les signaux provenant de divers détecteurs en tenant compte des temporisations préfixées et déclencher, le cas échéant, la sirène électronique.

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD



Synoptique de la centrale.

Le module clef électronique permet d'activer ou de désactiver la centrale d'alarme au moyen d'une clef appropriée à combinaison de résistances. Lors de l'introduction de la clef dans la prise du module, un circuit d'identification entre en fonction et lit la combinaison de la clef. A ce point, la clef peut être retirée. L'introduction d'une fausse clef entraîne l'activation du module alarme. En activant la centrale avec la clef appropriée, les entrées des lignes de protection instantanée et le circuit de temporisation de sortie sont validées. Ce dernier circuit fixe le temps dont l'utilisateur dispose pour s'éloigner de la zone protégée. Un monostable envoie une commande à l'étage de sortie et met en action les signalisations d'alarme pendant une durée fixée.

Au terme du temps établi, le signal d'alarme cesse. Le module alarme examine la situation. Si la cause ayant déclenché l'alarme a disparu, les conditions initiales de fonctionnement sont rétablies. Sinon, le cycle de sonnerie de la sirène électronique se répète après un intervalle de temps réglable et ce, jusqu'à ce que la cause disparaisse ou bien jusqu'à ce que l'utilisateur intervienne en neutralisant la centrale.



Tube accélérateur d'électrons

LYCÉE

Lycée Saint-Exupéry - 78180 Montigny-le-Bretonneux (*Versailles*)

PARTICIPANTS

D. GAUDELETTE (*Professeur*).

1. HISTORIQUE

En 1995 le groupe d'Olympiades avait réalisé une chambre à brouillard afin d'observer les trajectoires de particules Alpha et un certain nombre de leurs interactions avec la matière.

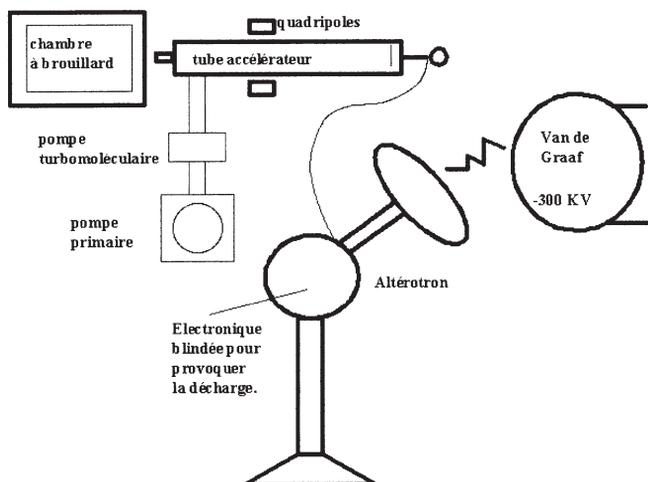
En 1996 un autre groupe d'Olympiades a réalisé un générateur électrostatique de THT de type Van de Graaff (– 300 kV).

En 1997 un troisième groupe a réalisé un tube accélérateur d'électrons et un alterotron, éléments qui complètent la chaîne précédente :

- Le Van de Graaff permet de fournir au tube accélérateur le potentiel nécessaire à l'accélération des électrons. L'alterotron permet la décharge du van de Graaff, à distance et à l'instant voulu, dans le tube accélérateur.
- La chambre à brouillard permet d'observer les trajectoires des électrons et leurs interactions avec le milieu ambiant dans la chambre.

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

2. SCHÉMA DE L'ENSEMBLE DU DISPOSITIF



3. CARACTÉRISTIQUES DU TUBE ACCÉLÉRATEUR D'ÉLECTRONS

Le tube comporte à une extrémité le canon à électrons et à l'autre la fenêtre de sortie (feuille mince en aluminium). Il constitue une seule cavité accélératrice. Les électrons sortent donc du tube avec une énergie de 300 keV.

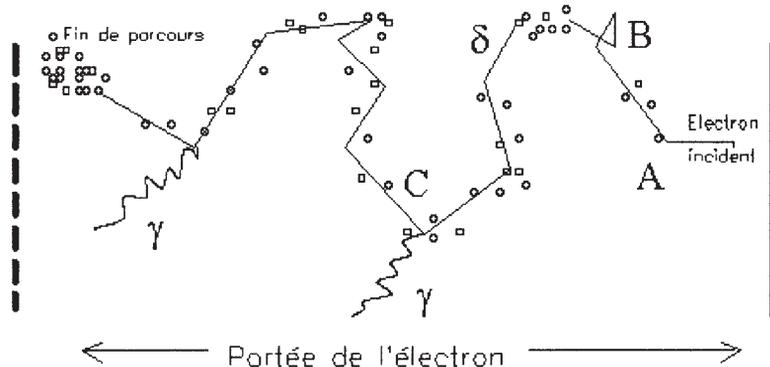
Afin d'éviter les interactions des électrons avec les molécules de l'air, il faut un vide poussé dans le tube accélérateur. Une pompe primaire associée à une pompe turbomoléculaire (prêtées par le CEA) ont permis d'obtenir un vide de l'ordre de 10^{-5} .

Les électrons, à la fin de leur trajet dans le tube, viennent percuter à grande vitesse la fenêtre de sortie, ce qui donne naissance à des rayons X qui peuvent être dangereux. Pour éviter tous risques d'irradiation, la sortie est blindée au Plomb et le tube ne fonctionne que par impulsions brèves. Les calculs de dose absorbée montrent qu'une dizaine de décharges irradient deux mille fois moins que la radioactivité naturelle annuelle. Les mesures confirment : aucun rayonnement X décelable pendant le fonctionnement du tube.

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

4. VISUALISATION DU FAISCEAU D'ÉLECTRONS OBTENU DANS LA CHAMBRE À BROUILLARD

A cette énergie (300 keV), les électrons subissent de nombreuses diffusions sur les particules du milieu ambiant dans la chambre à brouillard (méthanol + eau). Cela engendre des trajectoires erratiques accompagnées de trajectoires latérales supplémentaires dues aux électrons secondaires : belles images de diffusions électroniques.



Les diffusions se traduisent par des changements de directions observés en A, B et en d'autres points. En B on observe de plus qu'une énergie importante est transférée à un électron du milieu qui produit alors une nouvelle trace. En C une radiation γ est engendrée par effet de freinage «Bremsstrahlung». En fin de parcours la densité ionique augmente et donc les points «traces» sont plus nombreux. Une caméra reliée à un téléviseur permet d'observer, à distance, ces beaux phénomènes.

5. COMMENTAIRES

- En moyenne, deux à trois heures hebdomadaires pour mener à bien le projet.
- Collaboration fructueuse et sans faille du CEA.
- Ce qui a été étudié et réalisé par les élèves :

a - Amélioration du Van de Graaff

A partir du montage de fin 1966, à la suite de discussions avec les élèves, de nombreuses améliorations ont dû être apportées au Van de Graaff afin d'assurer un fonc-

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

tionnement sûr de ce dernier. Chacune supposait une connaissance de physique associée à cette amélioration :

- Mécanique des vibrations,
- Électrostatique, décharges froides, Coronas, transport des charges par courroie,
- Importance de l'humidité,
- Fonctionnement d'un oscilloscope en impulsion,
- Détection des faibles courants d'électrons avec un électroscope.

b - L'altérottron

Tout ce dispositif a été réalisé par les élèves et a impliqué des connaissances particulières :

- Décharges d'une self.
- Transistors.
- Circuit RC - Constante de temps.
- Claquage et sécurité.

c - Le tube accélérateur

Réalisé par le CEA, les élèves sont intervenus :

- Pour son montage (structures mécaniques), dispositif de protection.
- Pour étudier le fonctionnement des groupes de pompage primaire et secondaire, surveiller la mise en vide, casser le vide suivant les besoins.

d - Chambre à brouillard

– Modification des commandes : en effet les décharges du Van de Graaff dans l'altérottron émettaient des ondes électromagnétiques brèves mais intense qui provoquaient un *plantage* systématique de l'ordinateur de pilotage de la chambre à brouillard. Ces commandes informatiques ont dû être remplacées par des commandes mécaniques automatisées.

– Amélioration de l'isolement thermique de la chambre pour obtenir une température plus homogène au niveau de l'entrée des électrons.