

## L'ORDINATEUR ET L'ENSEIGNEMENT DE L'OPTIQUE

**Michel TROPIS, Claude BOUYSSET, Max COUVEIGNES**

L'enseignement de la physique et l'informatique ont depuis des années conclu un mariage parfait. Nous en voulons pour preuve, les nombreuses publications et les différents colloques portant sur ce thème. L'optique semble pourtant être une des parties de la physique qui ait le moins donné lieu à une diversité d'applications.

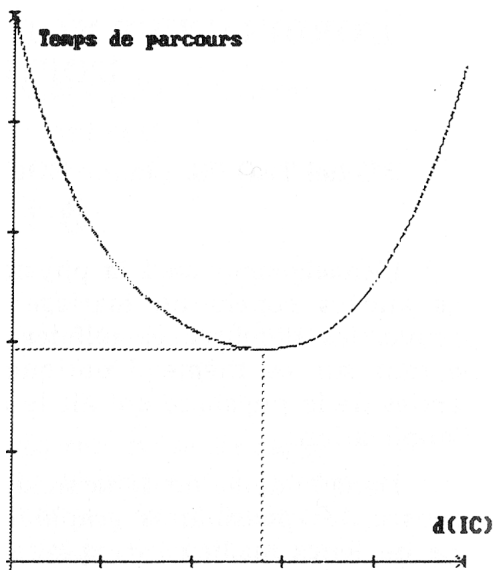
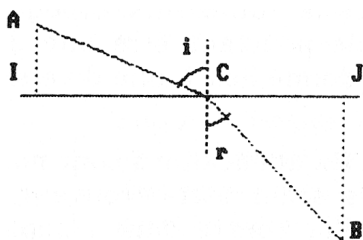
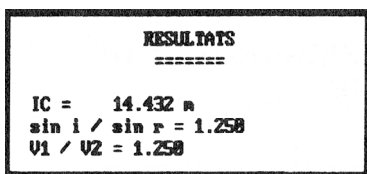
Dans le domaine de la simulation, les applications sont nombreuses, les possibilités graphiques des ordinateurs trouvant là une de leurs meilleures exploitations. Par contre dans l'emploi, pourtant privilégié, de l'ordinateur en tant qu'outil de laboratoire les applications à l'optique sont très rares. La raison réside dans le fait que les grandeurs qu'il faut alors mesurer ne sont pas du tout faciles à capter.

### **LES DIDACTICIELS**

En ce qui concerne les didacticiels purs, peu de réalisations nous sont connues. Seul le didacticiel PHOTO-COULEUR de M. Bourton nous paraît avoir été distribué.

Parmi les applications déjà développées, une, des plus courantes est l'illustration du principe de Fermat. L'application de cette loi au phénomène de réfraction peut être présentée d'une manière interactive qui est parfaitement adaptée aux didacticiels et une visualisation par calculs numériques successifs est plus frappante qu'une démonstration mathématique.

Il s'agit de montrer que le temps mis par la lumière est le plus court possible pour aller d'un point à un autre lorsqu'elle trouve sur son passage un changement de milieu qui provoque une modification de sa vitesse.



On arrive alors à la vérification de la loi mathématique de Descartes :  $\sin i_1 / v_1 = \sin i_2 / v_2$

Le principe peut aussi être illustré de manière plus parlante en prenant une analogie mécanique ou physiologique comme par exemple une course qui commence sur un sol dur puis se poursuit sur un sol mou ou dans l'eau.

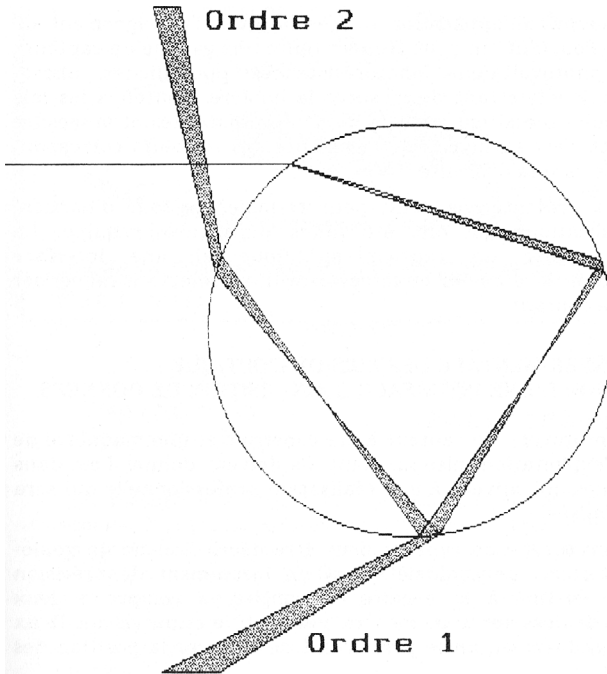
## LA SIMULATION

Utiliser l'ordinateur pour simuler les lois de l'optique est la chose qui paraît la plus évidente. La simulation vient alors au secours de l'expérience qui dans bien des cas est alors défaillante.

Nous avons pu répertorier un certain nombre de publications portant sur ce thème mais seuls les logiciels "Les lentilles minces" de J.-L. Chrétien et OPTICA de F. Padilla nous paraissent avoir connu une diffusion.

Les tracés de rayon dans les lentilles constituent la meilleure application. Expérimentalement on utilise soit des lentilles réelles, soit des profils de lentilles (lentilles cylindriques) et les rayons sont figurés par des faisceaux très fins donnés par des boîtes à lumières munies de fentes.

Ces expériences ne sont pas toujours très démonstratives et le cheminement de la lumière dans le verre n'est pas toujours visible. Dans le cas de la dispersion de la lumière, la simulation apporte un plus certain. C'est par exemple le cas pour la simulation des arcs en ciel primaire et secondaire due à la dispersion par les gouttes d'eau comme le montre la figure ci-dessous.



## L'ACQUISITION DE DONNÉES

C'est l'expression que l'on utilise couramment pour désigner la prise et l'exploitation de mesures physiques par un ordinateur. La plupart des systèmes d'acquisition de données sont constitués par un capteur (ou plusieurs) qui prend la grandeur physique et la transforme en tension et une interface qui transforme la tension en donnée numérique compréhensible par l'ordinateur. On peut aussi utiliser d'autres systèmes pour acquérir des données comme les ports série et parallèles, la table à numériser, la souris...

À notre connaissance, aucune publication n'a encore été faite concernant l'application de ces outils à l'enseignement de l'optique.

Pourtant, on peut trouver toute une gamme de capteurs (cellules photovoltaïque, photorésistantes, photodiodes, phototransistors) permettant de mesurer la lumière. Toutefois les lois de l'optique nécessitent aussi la mesure de distances et la mesure d'angles et c'est au niveau de l'existence des capteurs correspondants qu'existe la difficulté.

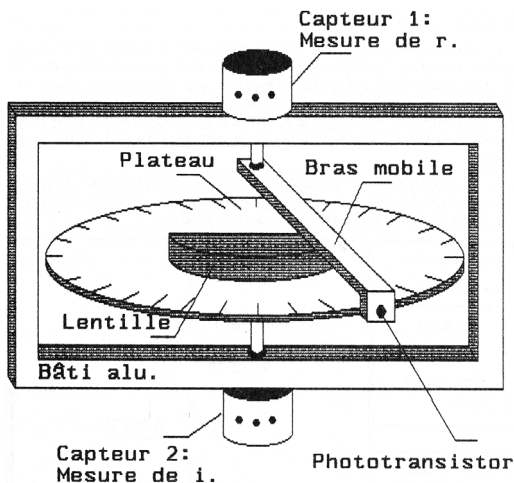
Nous présenterons donc, pour terminer ce tour d'horizon, deux réalisations qui ont été faites dans notre équipe. La première utilise un capteur spécifique et une interface d'acquisition de données et la seconde une tablette à numériser de modèle courant.

### ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES LOIS DE L'OPTIQUE UTILISATION D'UNE INTERFACE D'ACQUISITION DE DONNÉES

Un prototype de capteur à été construit et une maquette de logiciel d'exploitation mise au point. Ils doivent donner lieu, dans les semaines qui suivent à une réalisation professionnelle qui sera commercialisée.

Le prototype de capteur peut être décrit comme un goniomètre interfacé. Le goniomètre est un instrument de précision d'optique destiné à la mesure des angles, il comprend deux parties articulées sur le même axe, une platine et un viseur. Deux échelles graduées en angle permettent de mesurer la position des deux parties.

Il existe un équivalent ultra-simplifié du goniomètre en matériel didactique connu sous le nom de disque optique. C'est sur le principe technique de cet appareil qu'a été conçu le capteur.



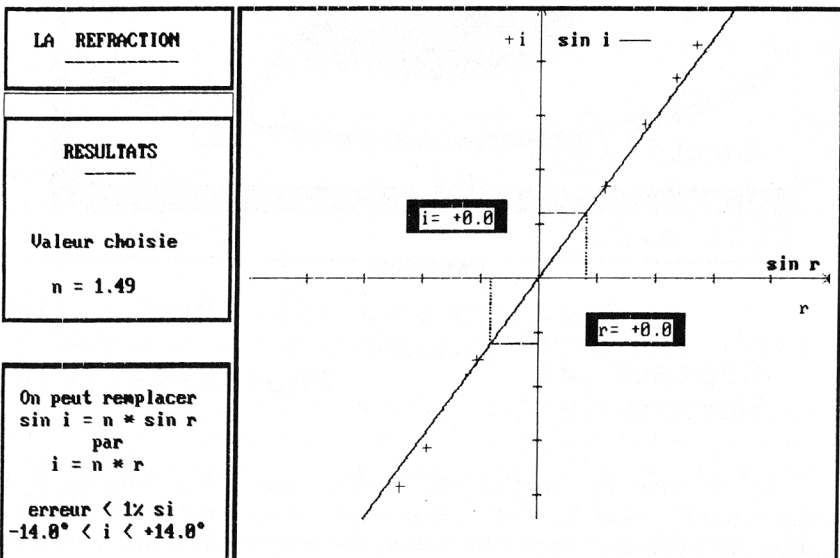
La mesure des angles est réalisée par deux "capteurs de déplacement" rotatifs. Ces composants sont très utilisés dans l'industrie pour les machines outils. Ce sont en fait des potentiomètres de grande précision. Ils sont en général très coûteux. Un modèle à moins de 300 francs pièce a pu être trouvé dans la mesure où, pour cette application, un montage sur roulement à billes n'est pas nécessaire, la linéarité étant la qualité primordiale.

Le premier capteur est solidaire de la platine et le second du bras de visée. Le viseur a été remplacé par une cellule photoélectrique ou plus exactement par un photo-transistor.

Le capteur a été utilisé avec l'interface CANDIBUS sur ordinateurs compatibles PC.

Les mesures d'angle sont appliquées à l'étude des principales lois de l'optique où on détermine des inclinaisons de rayons : réflexion, réfraction, déviation par un prisme ... Dans ces applications, le phototransistor est utilisé en détecteur de rayon. Le bras support est déplacé à la main et la mesure de l'angle est réalisée automatiquement lorsque la cellule détecte la lumière du rayon.

Le logiciel trace le graphique donnant l'angle d'émergence en fonction de l'angle d'incidence ou donnant des fonctions dérivées de ces deux angles comme par exemple le sinus.



Divers autres traitements sont possibles. En particulier pour la loi de la réfraction, l'application de la méthode des moindres carrés permet :

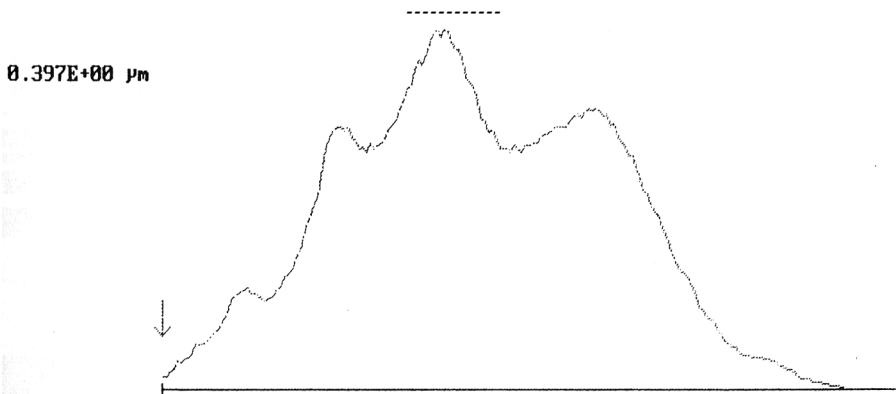
- de vérifier la loi de Descartes,
- d'évaluer l'écart entre la loi de Descartes et celle de Képler,
- de déterminer par moindres carrés ou par statistique la valeur de l'indice de réfraction.

L'autre application du capteur prototype est le tracé de l'intensité du rayon lumineux en fonction de l'angle de déviation. On peut ainsi enregistrer des figures de diffraction ou d'interférences et transformer l'appareil en spectrophotomètre.

Des mesures ont ainsi été faites sur le spectre de différentes lumières avec des réseaux optiques de qualité courante. On obtient une détermination convenable des longueurs d'onde en lumière mono ou polychromatique.

Nous avons étudié, par comparaison des courbes spectrales obtenues par ce dispositif, l'absorption de différents filtres (essentiellement de trichromie) ou solutions aqueuses (sulfate de cuivre, permanganate de potassium, chlorophylle). Dans tous les cas, les bandes passantes théoriques ont été convenablement reproduites.

*UTILISATION D'UN RÉSEAU*  
*Étude d'un spectre d'émission*



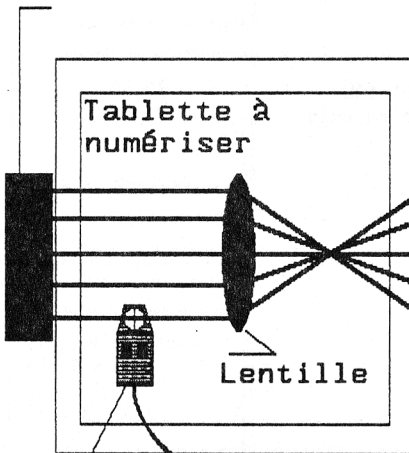
## ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES LOIS DE L'OPTIQUE UTILISATION D'UNE TABLE A DIGITALISER

Le matériel décrit dans le paragraphe précédent se prête parfaitement à l'étude expérimentale de la grande majorité des lois de l'optique. Par contre, il n'est pas très approprié à l'étude des lentilles et de la construction des images.

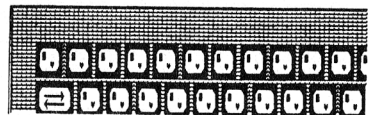
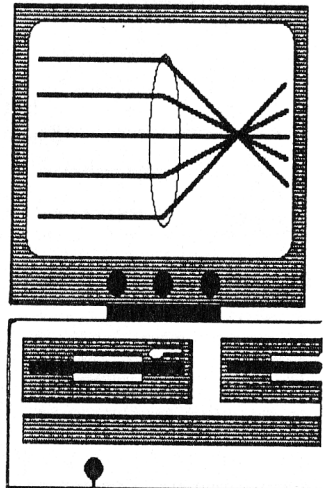
Pour cette application, les données à acquérir sont essentiellement des distances. Au delà de bricolages de capteurs que l'on peut toujours réaliser, il nous a paru astucieux d'utiliser la table à numériser qui permet des mesures de distance avec précision voisine du dixième de millimètre.

On utilise un dispositif didactique courant constitué d'une boîte à lumière et de lentilles cylindriques qui permet de visualiser sur une feuille de papier la trace des rayons lumineux. On capte alors manuellement la position des rayons avec le stylet de la table.

Boîte à lumière



Pointage  
des traces  
des rayons  
avec la souris



**BIBLIOGRAPHIE**

- Optique géométrique matricielle et informatique par F. Padilla dans Actes 1<sup>re</sup> IPSP, Poitiers 1984.
- L'utilisation du mode graphique par M. Tropis dans Ordinateurs en Physique et Chimie, publication UdP-INRP 1985.
- Redressement des images dans les jumelles à prismes par A. Cantegreil dans Actes 2<sup>ème</sup> IPSP, Nancy 1986.
- Principe de Fermat par A. Durey et R. Journeaux dans Cours et TP de Physique et Chimie avec Ordinateur, Publication UdP-INRP 1987.
- Mesurer sur l'image, utilisation des techniques de numérisation pour l'enseignement de la physique par D. Beaufiles dans Actes 4<sup>ème</sup> IPSP, Toulouse 1990.
- La mécanique sur coussin d'air avec la table à digitaliser par A. Megel dans Actes 4<sup>ème</sup> IPSP, Toulouse 1990.

Michel TROPIS, Claude BOUYSSSET

Laboratoire I.D.E.A.O., Université Paul Sabatier,  
118 route de Narbonne,  
31062 TOULOUSE Cedex.

Direction des Lycées et Collèges,  
Bureau des Innovations pédagogiques

Max COUVEIGNES  
Lycée Lapérouse,  
81000 ALBI