

FORMATION OPTIQUE DES IMAGES : MODÉLISATION INFORMATIQUE ET EXPÉRIENCES DE PHYSIQUE

Christian BUTY

UMR GRIC (Équipe COAST) CNRS-Université Lyon II
CP 11 5 avenue Pierre Mendès-France 69676 BRON CEDEX
Christian.Buty@univ-lyon2.fr

Pierre GAIDIOZ

Lycée Édouard Branly
25 rue de Tourvielle 69005 LYON
Pierre_Gaidioz@lyc-69.ac-lyon.fr

Au cours de l'année scolaire 96-97, une séquence d'enseignement sur la formation optique d'une image, en classe de Terminale (Spécialité Sciences Physiques), a été mise en place et expérimentée grâce à une collaboration entre quatre enseignants¹ de Sciences Physiques de lycées lyonnais qui assuraient cet enseignement, et un chercheur en didactique de la Physique. Cette collaboration constituait une partie d'un projet "recherche-action" de la MAFPEN de Lyon ; ce projet, nommé SOC, se poursuit en 97-98, et réunit une équipe d'enseignants, de chercheurs en didactique des Sciences Physiques et les IPR de Sciences Physiques² ; il a pour but de produire des documents d'enseignement à destination des enseignants et de la formation des maîtres. Ces documents SOC peuvent notamment être téléchargés sur le serveur de l'académie de Lyon (<http://www.ac-lyon.fr>).

L'enseignement de Spécialité est réalisé en cours-TP, les élèves travaillent donc par paires. Chaque paire d'élèves dispose d'un dispositif expérimental (banc d'optique par exemple) et d'un micro-ordinateur. Sur l'écran du micro-ordinateur les élèves observent, manipulent et interprètent des modèles dynamiques des situations expérimentales auxquelles ils sont confrontés. Construits à partir de la théorie physique, et se déformant conformément aux lois de l'optique géométrique, ces modèles sont des "instruments", qui permettent de faire des prédictions ou des vérifications sur les objets matériels et les événements observables. Nous avons réalisé ces modélisations dynamiques grâce au micromonde CABRI-GÉOMÈTRE II (©Texas Instruments). Ce logiciel a été choisi entre autres parce que sa principale fonctionnalité correspond à l'activité caractéristique des manipulations en optique géométrique (sur l'écran de l'ordinateur, les figures tracées conservent leurs propriétés de construction quand on déplace les points mobiles ; dans la réalité expérimentale, on déplace des objets pour faire apparaître l'image, sur un écran par exemple).

Nous tenons à insister sur le fait que dans la séquence que nous avons construite, l'utilisation de l'ordinateur accompagne les expériences, et ne les remplace pas.

Le chercheur a donc construit les fichiers informatiques (que nous appellerons désormais cabri-fichiers) ; ces fichiers ainsi que le déroulement des séances ont été discutés en commun, le deuxième auteur de cette communication écrivant la progression.

¹ Pierre Gaidioz ; Daniel Gibert (Lycée Condorcet, Bron) ; Danielle Oehler (Lycée La Martinière Montplaisir, Lyon) ; Marie-Paule Stroebel (Lycée Faÿs, Villeurbanne).

² Gérard Ganivet et Annie Monneret.

1. Notre analyse du programme à enseigner

Le programme officiel d'optique de l'enseignement de spécialité est intitulé "Formation optique d'une image" et invite les enseignants à proposer «aux élèves des situations expérimentales où ils doivent exploiter quelques notions de base et développer démarches raisonnées, confrontations expérience-théorie et analyse de l'objet technique dans sa dimension physique. En particulier, cette analyse met en évidence la complexité des conditions à satisfaire pour réaliser une "bonne image".

D'une part ce programme implique l'étude des propriétés classiques des lentilles minces et d'au moins un instrument d'optique ; d'autre part il faut aborder aussi des propriétés qui se situent en dehors du cadre de l'optique géométrique ; ces aspects extérieurs ne sont pas pris en compte dans la séquence que nous avons élaborée et nous n'en parlerons pas.

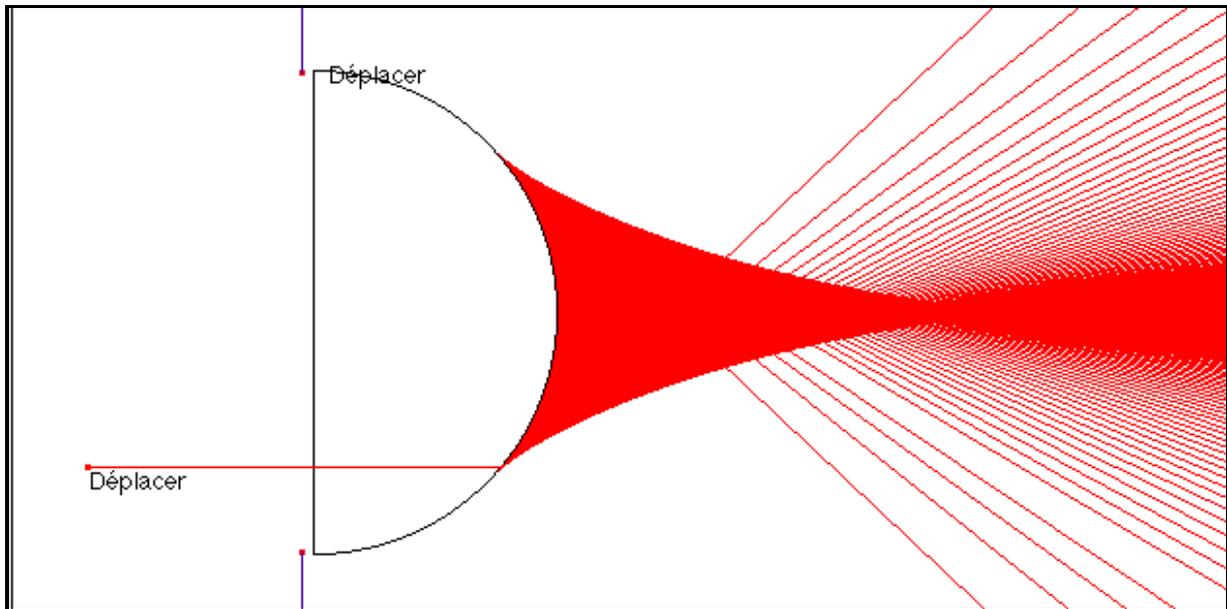
En optique géométrique, l'interprétation des phénomènes lumineux est basée sur le concept de rayon lumineux. Un rayon lumineux est le modèle d'un flux de lumière unidirectionnel ; celui-ci peut être caractérisé par quatre paramètres : sa direction, son intensité, sa longueur d'onde, sa largeur. Un rayon ne prend en compte que deux paramètres, la direction essentiellement et la longueur d'onde, qu'assez souvent on ne précise pas ou qu'on n'envisage que sous l'aspect de la variabilité de l'indice de réfraction. Les lois de l'optique géométrique sont des énoncés sur les rayons lumineux et le trajet qu'ils suivent. Dans les fichiers que nous avons construits sous CABRI-GÉOMÈTRE, les éléments de base des constructions qui apparaissent sur l'écran sont soit des droites, soit des demi-droites soit des segments ; ils représentent des rayons et peuvent comme on a dit être déplacés par les élèves.

Dans les problèmes impliquant des lentilles, deux types de constructions géométriques sont utilisées :

1. la construction de Snell [May 93] permet de construire le rayon réfracté à travers une surface correspondant à un incident donné quand on connaît les indices de réfraction ; cette construction permet de justifier l'approximation des lentilles minces et de définir leurs éléments caractéristiques quand on est placé dans les conditions de Gauss : les foyers principaux et secondaires, image et objet, le centre optique. Six cabri-fichiers utilisent cette construction.
2. Quand on restreint le modèle physique utilisé au cas des lentilles minces, les propriétés des éléments mentionnés ci-dessus fournissent cinq règles énonçant le comportement de rayons particuliers passant par ces points (par exemple «un rayon passant par le centre optique n'est pas dévié»). L'une de ces règles, propriété des foyers secondaires objets, permet de tracer le rayon émergent correspondant à n'importe quel rayon incident. Dix-huit cabri-fichiers utilisent ces propriétés.

L'image d'un point lumineux à travers un système optique est le point où converge (ou bien d'où semble diverger) la partie du faisceau divergent issu du point source qui a rencontré le système optique [Galili 96]. L'image d'un objet lumineux est l'ensemble des images des points dans lesquels on peut décomposer l'objet (cette idée est moins évidente qu'il n'y paraît pour les élèves). Comme l'écrit Laurence VIENNOT [Viennot 96] : « on serait bien en peine de compter les rayons, comme d'ailleurs les points de l'objet. Mais le parti-pris est d'analyser le continu à l'aide du discontinu ». CABRI-GÉOMÈTRE offre deux fonctions pour engendrer un faisceau à partir d'un rayon dépendant d'un point mobile : la procédure "trace", qui laisse à l'écran les positions successives d'un rayon au cours de son déplacement ; la procédure "lieu", qui permet d'afficher et de déplacer aisément un certain nombre de positions du rayon quand le point dont il dépend varie. Par la nature même de l'information numérisée, la trace comme le lieu du rayon mobile sont des objets discontinus. Cependant on peut régler le pas des deux

procédures pour obtenir visuellement une impression de continuité. On obtient alors des figures comme la suivante, qui représente le faisceau émergent d'une lentille hémicylindrique sur laquelle les rayons arrivent sous incidence normale ; les conditions de Gauss ne sont évidemment pas remplies.



2. La progression de la séquence mise en place

Cette analyse explique que notre séquence comprenne deux parties d'égale importance :

- la mise en place des éléments des lentilles minces (foyers principaux/secondaires image/objet, centre optique), de leurs propriétés, en même temps que la démonstration de l'utilité des conditions de Gauss ; la définition du deuxième modèle des lentilles minces et son application immédiate que constitue la focométrie,
- l'utilisation de ce modèle dans d'autres situations (loupe, lentille divergente), l'étude de l'œil modélisé par une lentille convergente, l'étude d'un instrument d'optique.

3. Les hypothèses d'apprentissage et leurs conséquences sur la séquence mise en place

On ne peut pas définir dans le détail une séquence d'enseignement sans faire des hypothèses sur la façon dont les élèves vont apprendre ce qu'on souhaite leur enseigner. Quelques unes des hypothèses d'apprentissage que nous avons utilisées sont explicitées ci-dessous.

1. Nous attachons une importance primordiale aux activités de modélisation des élèves [Tiberghien 94]. C'est pourquoi nous avons choisi de rendre explicite dans le discours de l'enseignant l'utilisation des différents modèles physiques, en particulier de bien marquer par des activités spécifiques demandées aux élèves la transition entre les deux modèles étudiés plus haut.
2. Une abondante littérature didactique [Kaminski 89, 91] a exploré les difficultés des élèves dans le domaine des phénomènes lumineux et de l'optique géométrique. Dans le contexte de notre étude, c'est-à-dire avec des élèves de Terminale, un nœud possible de ces difficultés réside dans le passage entre un rayon (élément abstrait d'un modèle physique), et un faisceau (qui est plus proche de leur perception des phénomènes lumineux). Les élèves ont des connaissances sur les lois très simples qui s'appliquent aux rayons ; mais au cours de leurs expériences ils voient des faisceaux ou la trace des faisceaux dans des plans de section divers : cette différence explique que les expériences d'optique géométrique ne sont pas toujours simples à réaliser et à interpréter. La conséquence sur notre travail a été

qu'il a été demandé assez systématiquement aux élèves de faire apparaître un faisceau à partir d'un rayon générique.

3. Pour lutter contre ce rôle privilégié attribué aux trois rayons spéciaux (ceux qui passent par les foyers et le centre optique), ces rayons ne sont fréquemment pas représentés dans plusieurs cabri-fichiers ; l'image d'un point est alors définie comme l'intersection du rayon central (non dévié) et d'un rayon quelconque, construit comme on l'a dit par les propriétés du foyer secondaire objet, et que les élèves peuvent déplacer.

4. Premiers résultats sur les réactions des élèves

Au vu d'une première année d'utilisation de cette séquence, nous constatons que les élèves :

- manipulent correctement le logiciel sans apprentissage préalable,
- identifient sans problèmes les traits sur l'écran de l'ordinateur comme les représentants de rayons lumineux,
- assimilent effectivement un déplacement du tracé à la prise en considération d'un autre rayon dans le faisceau, et la "trace" d'un représentant de rayon à la silhouette d'un faisceau auquel ce rayon appartient,
- associent avec pertinence le déplacement de certains symboles sur l'écran avec le déplacement de certains objets dans la réalité,
- après utilisation de l'ordinateur, réalisent certaines expériences un peu complexes, comme la focométrie par la méthode de Bessel, avec une plus grande aisance et en un temps plus court.

5. Références

[Galili 96] Galili I., Students' conceptual change in geometrical optics, *International Journal of Science Education*, vol. 18, n° 7, 1996, 847-868.

[Kaminski 89] Kaminski W., Conception des enfants (et des autres) sur la lumière, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, Juillet-Août-Septembre 89, 973-997.

[Kaminski 91] Kaminski W., *Optique élémentaire en classe de quatrième : raisons et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement*, Thèse, Université Paris VII, 1991.

[May 93] May M., *Introduction à l'optique*, Paris : Dunod, 1993.

[Ronen & al 93] Ronen M., Bat-Sheva E., Rivlin O., Ganiel U., Designing and using an open graphic interface for instruction in geometrical optics, *Computer Education*, Vol 20, n°4, 1993, 299-309.

[Tiberghien 94] Tiberghien A., Modelling as a basis for analyzing teaching-learning situations, *Learning and Instruction*, Vol 4, 1994, 71-87.

[Viennot 96] Viennot L., *Raisonnement en physique (la part du sens commun)*, Paris, Bruxelles : De Boeck Université, 1996.