

Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière

par W. KAMINSKI

L.D.P.E.S.

Université Paris VII

INTRODUCTION

Demandez à un enseignant de sciences physiques «comment» on voit une petite lampe, où se trouve l'image d'un objet formée par un miroir plan ou par une lentille mince - vos questions seront jugées «élémentaires» et les réponses faciles : on voit la petite lampe, ou un objet éclairé, parce que la lumière nous arrive dans les yeux ; pour trouver l'image donnée par un système optique, il suffit de tracer quelques rayons de construction.

Ces réponses se réfèrent au modèle des rayons lumineux, et, pour la formation de l'image, à l'idée que tous les rayons émis par un point convergent en un autre. Ceci constituera le seul cadre théorique de référence des recherches qu'on citera ici.

Malgré l'apparente simplicité de ce modèle, des difficultés surgissent à son propos. Dans cet article, nous essaierons de montrer quand et pourquoi. Nous parlerons tout d'abord des difficultés des élèves, et de celles des professeurs ensuite.

Cela nous amènera à repenser les caractéristiques de l'enseignement actuel, en particulier en ce qui concerne le rôle des manipulations traditionnelles et celui des schémas classiques, et à proposer des modalités précises d'intervention pédagogique.

1. LES ÉLÈVES D'ABORD

1.1. Difficulté en quoi ?

L'enseignement de l'optique est construit autour de la notion de la lumière, plus ou moins élaborée selon le niveau: modèle des rayons (collège), ondes lumineuses et photons (lycée), élargissement et approfondissement de l'optique géométrique, ondulatoire et quantique (enseignement supérieur).

Au collège, la **lumière** est produite par les **sources** telles que le soleil ou la flamme d'une bougie, et l'on étudie des phénomènes liés à sa **propagation** à travers différents **dispositifs optiques** : petit trou (chapitre de la chambre noire), réseau (spectre), lentille (appareil photo), etc. En revanche, sur tout ce qui se passe entre la lampe et le petit trou, entre le petit trou et le fond de la chambre noire, entre l'objet ou l'image regardée et l'œil, l'enseignement actuel n'apporte quasiment rien. Dans la plupart des expériences proposées, les élèves ne voient rien, même si dans le manuel ou au tableau ils trouvent des lignes qui traversent cet espace, et qui lient les différents éléments du montage. On leur dit que ces lignes représentent la lumière qui se propage en ligne droite, et qu'il faut mettre une flèche dans le bon sens, mais ce n'est qu'une affirmation purement verbale - manquent les activités de formation, et les preuves expérimentales quant à l'existence de la lumière là où l'on ne voit rien. De plus, la lumière «visible» des phares marins, ou des «rayons laser» n'arrange pas vraiment les choses, parce que, justement, elle est visible, et les systèmes qui permettent son observation n'ont rien à voir avec des montages où elle ne l'est pas, et que les élèves étudient en classe. Depuis une dizaine d'années, les recherches sur les conceptions des enfants (entre 10 et 14 ans [1] et [2]) à propos de la lumière montrent que **l'existence de la lumière dans l'espace entre la source et l'objet éclairé, la propagation rectiligne de la lumière, le rôle de la lumière dans l'interprétation de la vision**, ne sont pas acquis à cet âge - au contraire, les enfants «expliquent» les différents phénomènes optiques liés à la vie courante sans mettre en jeu ces notions.

1.2. Quelques exemples

Les exemples ci-dessous sont extraits de la recherche effectuée par Edith Guesne [2].

Les adolescents de 13-14 ans assimilent la lumière à sa source (*«Y'a de la lumière, mais enfin elle est pas allumée... faudrait allumer sur le bouton là-bas...»*/14 ans 3 mois/) ou à ses effets (par exemple les taches lumineuses sur le mur).

Ils sont incapables d'interpréter le 'bain de lumière' dans lequel nous sommes plongés quand il fait jour :

«Il y a de la lumière partout (dans la salle)...enfin c'est pas de la lumière, c'est quelque chose pour qu'on puisse se voir, quoi... C'est pas vraiment de la lumière... Quand on regarde une bougie ou une lampe, on dit bon, ben ça, ça fait de la lumière, tandis qu'e là, c'est pas de la lumière...»
/13 ans 9 mois/

Environ un tiers des élèves fait correctement appel à la notion de trajet rectiligne de la lumière, pour prévoir la grandeur de l'ombre du bâton (figure 1) ou pour prévoir la position de la tache lumineuse sur un écran, placé

derrière un carton percé d'un trou plus haut que l'ampoule (figure 2). Un certain nombre d'élèves a aussi l'idée de ligne droite, mais en la restreignant à la direction horizontale: ils prévoient, alors, que l'écran de la figure 2 ne recevra pas de lumière, car le trou n'est pas 'en face' de la lampe (c'est-à-dire sur une même ligne horizontale). Au total, l'idée de ligne droite est ainsi présente chez la moitié des enfants de 13 - 14 ans.

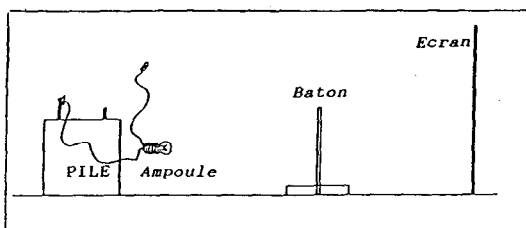


Figure 1 - Dessinez l'ombre du baton sur l'écran (l'ampoule est débranchée au moment de prévision).

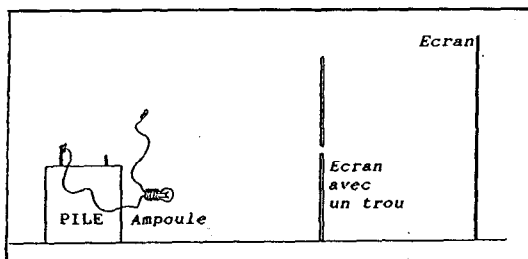


Figure 2 - L'écran, recevra-t-il de la lumière (l'ampoule est débranchée au moment de prévision) ? Si oui - où ? Dans les deux cas - pourquoi ?

Dans l'interprétation de la vision, **la plupart des enfants ne fait intervenir aucun médiateur entre l'oeil et l'objet**, quel qu'en puisse être le sens; tous reconnaissent la lumière comme un facteur nécessaire à la vision, mais elle n'intervient que pour éclairer l'objet, ou pour constituer un bain général (le jour) entourant objet et l'observateur, où aucune action n'est différenciée. L'oeil «voit» sans que rien ne le relie à l'objet - conclut E. Guesne.

1.3. Et alors ?

Chacun croit que toutes ces conceptions disparaissent avec l'âge, qu'il n'est pas nécessaire d'y revenir au lycée (ni surtout après le baccalauréat), que le modèle «du physicien» remplace celui de l'enfant «en douceur» et sans trop d'effort à fournir de la part de l'enseignant.

Une étude récente (1988 - 1989), effectuée par l'auteur à l'occasion des stages de formation des professeurs de collège («Optique élémentaire -

notions fondamentales» à la Formation des Maîtres à l'Université Paris 7), apporte certaines précisions au sujet de la persistance des difficultés attachées à l'interprétation de la vision et à la propagation rectiligne de la lumière.

2. LES PROFESSEURS

2.1. Enquête

Trois groupes de professeurs de collège (Académies de Créteil et Paris), d'une douzaine de personnes chacun, ont participé à cette enquête, répondant à une série de questions. Le plus souvent, il s'agissait de donner une prévision devant un montage expérimental «incomplet» : ampoule débranchée, miroir avec un cache, que l'on enlève après avoir formulé la réponse, etc.

Le premier objectif de l'étude était d'examiner si, devant une situation expérimentale nouvelle pour eux, et analogue (où même parfois identique) à celle qui permet de mettre en évidence des difficultés des élèves, des enseignants éprouvaient eux-mêmes des difficultés, et quel genre de difficultés. La question 1 ci-dessous est une de celles qui ont permis d'atteindre cet objectif.

L'autre but de l'étude était d'expérimenter une série d'activités, élaborées en vue de remédier à ces difficultés, et pour la plupart fondées sur les questions propres à mettre en évidence tous les points délicats; le lecteur en trouvera quelques exemples en Annexe.

Afin de nous permettre d'évaluer cette séquence, les professeurs-stagiaires ont répondu à d'autres questions, posées pendant et après l'enseignement. Les réponses sont comparées à celles données par des étudiants en Licence (Université Paris 7) qui avaient reçu un enseignement «classique» de l'optique.

Les exemples 2 et 3 ci-après, présentent des questions de ce type.

2.2. Question 1 - Que voit-on à travers le trou ?

2.2.1. Description

Le montage présenté aux enseignants **au début du stage**, est à peine plus complexe (mais bien différent) que celui utilisé par E. Guesne pour interroger les enfants; sur la figure 3 ci-dessous il y a une petite ampoule (débranchée au moment de la prévision), et trois écrans : un noir, derrière l'ampoule, l'autre (E_t) percé d'un petit trou T et le dernier (E_{3t}) de trois trous T_1 , T_2 et T_3 .

L'observateur est encouragé à vérifier ce qu'il peut voir quand l'ampoule est débranchée - l'écran noir protège le montage de la lumière du jour, mais il en reste suffisamment pour distinguer la petite lampe si l'on se place derrière le trou T_3 et pour voir «du noir» par les trous T_1 et T_2 .

Ensuite, on demande ce que l'on verra par chacun des trous une fois l'ampoule allumée.

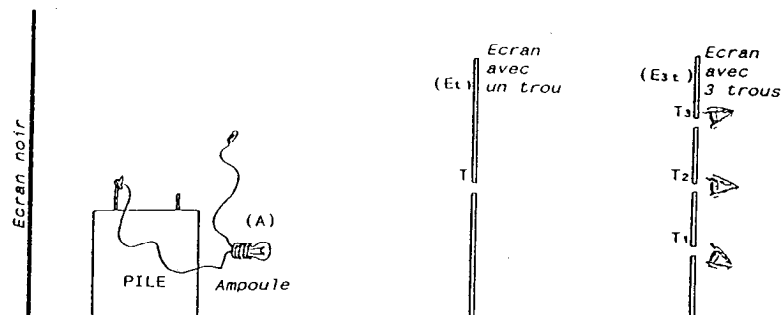


Figure 3 : Que voit-on par chacun des trous T_1 , T_2 et T_3 en regardant à travers le petit trou T ?

2.2.2. La réponse correcte et les réponses recueillies

La réponse correcte est : «On verra l'ampoule allumée par le trou T_3 et l'écran noir par les deux autres». Elle correspond au schéma explicatif ci-dessous (figure 4).

Une réponse «acceptable» serait : «On verra le trou T lumineux par le trou T_3 et le trou T noir (ou «du noir») par les trous T_1 et T_2 .»

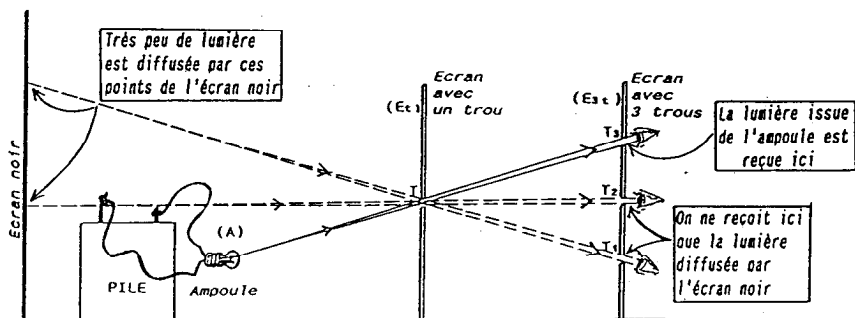


Figure 4 - Schéma pour expliquer la prévision correcte.

La réponse concernant le trou T_3 n'a pas posé trop de problèmes - 25% des enseignants ont dit : «On verra la lampe» (ou «la source lumineuse»), et le reste d'entre eux ont répondu: «la tache de lumière» (25%), «la lumière» (25%), ou bien ont dessiné l'un quelconque des schémas du tableau 1, sans commentaire (25%).

La moitié des professeurs interrogés ont tracé des schémas où des traits rectilignes liaient la lampe avec le trou T_3 (type A du tableau 1 - schéma correct pour le trou T_3).

TYPE DE SCHEMA TRACE *	ON VOIT PAR T3	ON VOIT PAR T1 et/ou T2
Type A 	lampe ou source lumineuse - 15% tache lumineuse ou lumière - 25% sans commentaire 10% 	trou noir - 10% rien - 15% sans commentaire 25%
Type B 	lampe ou source lumineuse - 10% sans commentaire 15% 	trou lumineux 25%
Type C 	lumière ou tache lumineuse 25% 	trou lumineux ou lumière 25%
*Aucun des enseignants n'a pensé à dessiner l'ampoule branchée...		

Tableau 1 - Schémas et prévisions à propos de la question 1

En revanche, pour les trous T_1 et T_2 , des difficultés se manifestent : aucun des enseignants interrogés n'a répondu qu'on verrait l'écran noir par les trous T_1 et T_2 ; 10% seulement ont prévu le «trou noir» (réponse acceptable), d'autres (15%) ont dit qu'«on ne verrait rien». La réponse donnée majoritairement était toutefois : «On voit le trou lumineux» (avec des schémas des types B ou C).

2.2.3. Interprétation des réponses

Pendant la discussion qui a suivi la vérification - tout le monde avait allumé l'ampoule et regardé par les trous - certains professeurs ont dit qu'ayant cru connaître la réponse (trous T_1 et T_2 lumineux) ils n'avaient pas raisonné en termes d'objets matériels renvoyant (ou non, si c'est un écran noir) la lumière vers l'observateur, ou plus précisément, qu'ils n'avaient «pas raisonné du tout».

Nous pouvons d'ores et déjà observer que le raisonnement «du physicien» ne se met pas en œuvre sans difficultés. Et pourtant, ce sont les mêmes professeurs qui en classe affirment aux élèves : «vous voyez, parce que la lumière entre dans vos yeux». Ainsi, le savent-ils tous. Mais ils oublient d'ajouter que cette lumière, schématisée par des segments rectilignes liant l'objet vu et l'oeil qui voit, est invisible «de profil».

Une analyse plus fine suggère que les enseignants qui n'avaient pas «raisonné»... croient en fait *voir* la lumière («de profil», s'entend).

Une première indication dans ce sens est à trouver dans le commentaire suivant :

«J'ai pensé que ce faisceau lumineux, en traversant le trou T, allait perturber quand même ce que j'avais vu avant par les trous T_1 et T_2 .»
/Prof. Paris/.

Une autre réponse «On voit *de la lumière* à partir de chacun des 3 trous (...)» /Prof. Créteil/ ne laisse plus aucun doute.

Les professeurs interrogés, croient-ils vraiment, dans une large proportion, voir la lumière?

A force de la «visualiser» (avec de la poussière, du brouillard, etc.) pour la rendre plus accessible aux élèves, en viennent-ils à se convaincre eux-mêmes de la voir quand il n'y a aucun objet diffusant pour la renvoyer vers les yeux?

Et comment interprètent-ils la vision dans ce cas-là ? **Quel est alors le lien entre «la lumière» qu'ils voient et les yeux de l'observateur ?**

Leur point de vue est-il partagé par les étudiants universitaires de formation «classique»?

Avant de revenir à ces questions, précisons le point de vue «du physicien»* à ce propos.

2.3. Comment interpréter la lumière visualisée selon un modèle «du physicien» ?

Une expérience particulièrement simple permet d'aborder ce point. Elle fait partie de celles qui ont été proposées aux professeurs pendant le stage de formation.

Plaçons sur une feuille blanche une petite ampoule allumée derrière un écran en carton opaque, dans lequel on a découpé une fente (figure 5). Nous verrons sur la feuille un trait lumineux rectiligne devant la fente.

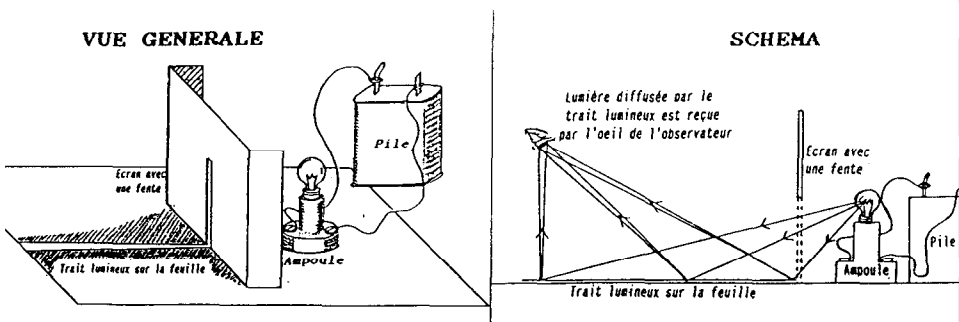


Figure 5 - Comment interpréter la lumière visualisée

L'interprétation de ce trait «visualisant» la lumière, est très délicate. Il est vu, parce que la feuille diffuse la lumière reçue vers les yeux de l'observateur.

Chaque point de ce trait qui brille sur le papier, est l'aboutissement du trajet rectiligne entre l'ampoule et la feuille, que «la lumière invisible» avait parcouru dans l'air. De même, chacun de ces points est le début de l'autre trajet rectiligne, entre la feuille et l'oeil qui voit ce point lumineux.

Si l'ampoule est placée au ras de la feuille, le trait est peu lumineux, il suffit alors de la surélever de quelques centimètres, et l'on obtient sur la feuille une trace bien brillante (pour éclairer son bureau, on place la lampe au-dessus, on ne la couche pas au ras de la surface).

* Le point de vue «du physicien» étant représentatif de la connaissance scientifique admise, par les prévisions sur les phénomènes physiques et par la rigueur du raisonnement mis en oeuvre.

Cette trace devrait donc être considérée plutôt comme **un objet lumineux qui diffuse la lumière dans toutes les directions*** et non comme un faisceau de lumière qui «glisse», ou «se propage» (selon des expressions courantes) sur la surface de la feuille.

2.4. Interprétation courante d'un trait lumineux

La question suivante permet maintenant de voir comment «la lumière visualisée» est interprétée par les étudiants en Licence (après un enseignement «classique» de l'optique) et par les professeurs de collège en fin de stage d'optique (qui servait de cadre à notre enquête initiale - voir 2.1.)

Question 2 : Que voit-on dans le miroir ?

2.4.1. Description

Le montage, représenté sur la figure 6 est placé devant un étudiant (ou un enseignant). Il s'agit d'imaginer ce que l'on verra sur la feuille blanche et dans le miroir si le cache en carton est retiré de la surface du miroir. Le trait lumineux «incident» sur la feuille et le trait lumineux vertical sur le cache sont obtenus grâce à la fente dans l'écran opaque et à l'ampoule de l'autre côté de la fente (**).

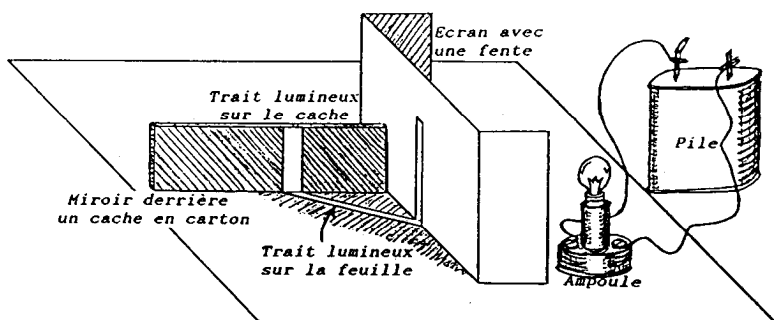


Figure 6 - Montage, ampoule allumée, servant à donner la prévision : que voit-on si le cache n'est plus sur le miroir ?

2.4.2. L'analyse «du physicien» et la prévision correcte

La prévision correcte suppose une bonne compréhension du statut des deux traits lumineux. En effet, il est impossible d'y parvenir tant que l'on identifie le trait sur la feuille à la trace laissée par le faisceau incident «glissant» le long de ce trait : **la lumière qui fait briller un point donné**

* Dans l'enseignement actuel, rien ou presque ne favorise cette interprétation «du physicien».

** Nous tenons à remercier Norberto C. FERREIRA qui nous a suggéré cette expérience.

sur la feuille, n'est pas celle qui continue la marche dans la direction indiquée par le trait. Elle est diffusée dans toutes les directions : vers les yeux de l'observateur comme vers le miroir. Chaque point éclairé de la feuille constitue un objet lumineux qui aura son image de l'autre côté du miroir.

De plus, le trait lumineux vertical sur le cache porte l'information que la lumière, issue de l'ampoule et après être passé par la fente, arrive directement sur le miroir (quand le cache n'est plus là). Si l'ampoule est placée suffisamment haut, cette lumière, après réflexion, «tombe» sur la feuille qui la diffuse dans toutes les directions (vers les yeux de l'observateur aussi) formant ainsi, point par point, un trait lumineux «réfléchi». **Le plan de la réflexion n'est donc pas, et pour aucun de ces points brillants, celui de la feuille.**

On verra donc une «croix» : aux deux traits sur la feuille, «incident» et «réfléchi», s'ajouteront les deux traits-images de l'autre côté du miroir (figure 7).

VUE GENERALE

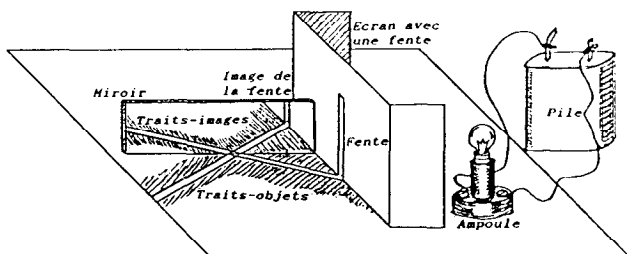


Figure 7 - Comment interpréter les traits lumineux sur la feuille et leurs images vues dans le miroir - illustration de la réponse correcte.

L'analyse des difficultés liées à cette question serait incomplète, si l'on oubliait l'image de la fente. Si le cache est enlevé, on peut voir celle-ci de l'autre côté du miroir, dans le prolongement de l'image du trait lumineux «incident» sur la feuille. Mais... elle n'est pas nécessairement lumineuse !

Si le miroir est petit, la fente haute et l'ampoule placée au-dessus du champ du miroir, on voit dans le miroir à travers la fente... soit des objets éclairés (et diffusant la lumière vers l'oeil de l'observateur), se trouvant derrière, soit, s'il n'y en a pas (si quelqu'un a posé, par méchanceté, un écran noir et une feuille noire de l'autre côté de la fente), l'image de la fente noire !

On pourra la voir noire pour les mêmes raisons que celles qui font voir le trou noir dans l'expérience de la question 1 (cf § 2.2.2.)

2.4.3. Réactions des personnes interrogées devant le montage avec le cache sur le miroir (avant la prévision)

En travaillant avec les professeurs des collèges, nous avons vu que les deux traits lumineux (un sur la feuille, l'autre sur le cache) étaient interprétés différemment :

- le premier «matérialisait» le faisceau incident, comme si la lumière laissait une trace en passant par-là, et n'était donc pas envisagé en tant qu'objet lumineux;

- l'autre était considéré parfois comme «l'image» de la fente (35% des étudiants en Licence à Paris 7, 15% des enseignants en fin du stage).

Cette confusion, entre «le point (ou la zone) d'incidence» et l'image donnée par le miroir, a déjà été observée dans les réponses à d'autres questions à propos de la formation des images par le miroir plan (3).

Les réactions devant le montage, avant que le cache ne soit retiré, indiquent déjà les éléments qui font obstacle à la réponse correcte :

- interprétation du trait sur la feuille, comme un rayon et non l'objet diffusant la lumière ;

- localisation de l'image de la fente sur la surface du miroir.

2.4.4. Réactions devant le montage (sans le cache) - différents aspects des prévisions recueillies

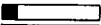
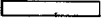
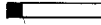
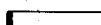
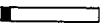
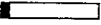
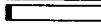
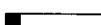
SANS LE CACHE ON VOIT :	Etudiants en Licence	Professeurs en fin du stage
Devant le miroir un trait "réfléchi"	 80%	 60%
De l'autre côté du miroir:		
-image du trait "incident"	 15%	 35%
-image du trait "réfléchi"	 0%	 15%
dont: "la croix" et l'image de la fente bien placée	 0%	 5%
Autre ou sans réponse	 15%	 15%
Image de la fente:		
-symétrique de la fente dont: "lumineuse"	 10%	 60%
-SUR le miroir (zone d'in- cidence)	 10%	 5%
	 35%	 15%
Autre ou sans réponse	 55%	 25%
Effectif	32	32

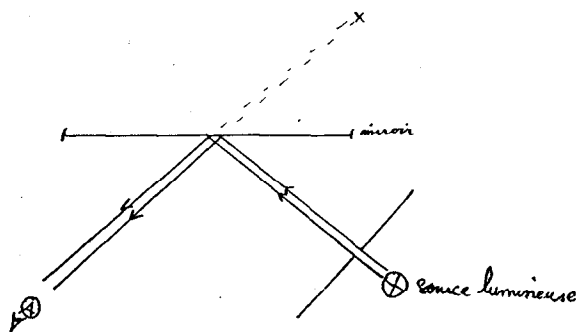
Tableau 2 - Résultats des étudiants en Licence (Université Paris 7) et des professeurs des collèges (à Paris et à Créteil) en fin de stage d'optique.

* *Le trait «réfléchi»*

Un élément de la prévision, apparemment facile, porte sur le trait «réfléchi» devant le miroir. Cette prévision est souvent accompagnée de la citation de la loi de Descartes pour la réflexion. Les professeurs, interrogés oralement, ont identifié la situation expérimentale présentée à la démonstration classique de cette loi : les deux rayons, incident et réfléchi, visualisés, on mesure l'angle incident et l'angle réfléchi - ils sont égaux et dans le même plan, **mais quel plan ?***

* *L'image formée par le miroir*

L'image des deux traits lumineux, ainsi que l'image de la fente, sont prévues par très peu d'étudiants en Licence, et par davantage de professeurs en fin du stage (surtout quant à l'image de la fente). Cependant, les difficultés liées aux différents aspects de cette prévision sont trop grandes pour qu'on puisse les éluder complètement après trois jours de stage. Un des effets immédiats du stage serait plutôt l'apparition des réponses «intermédiaires» - où un schéma (ou une partie de schéma) correct est accompagné d'un commentaire ambigu :

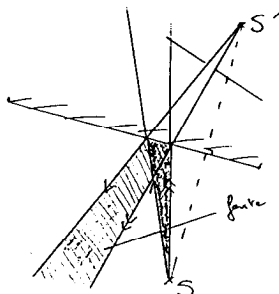


«Sur la feuille on obtient 2 pinceaux lumineux.

Sur le miroir. En se plaçant au point A on va voir l'image d'une source lumineuse en forme de fente.» /Prof. Créteil/

* Le plan de la réflexion n'est pas celui de la feuille (voir § 2.4.2.).

Même après avoir tracé un des schémas «acceptables», c'est-à-dire deux traits sur la feuille et leurs images (la croix), ainsi que l'image de la fente dans le prolongement de l'image du trait «incident», un professeur écrit en commentant son schéma :



«*Sur la feuille (...) on verra le faisceau réfléchi (...) provenant du faisceau incident** (...) que l'on voit aussi.*

*Sur le miroir** , on verra l'image de la fente et l'image des faisceaux lumineux jusqu'à l'image de la fente.*» /Prof. Créteil/

Nous pouvons revenir maintenant aux questions soulevées plus haut. Si les traits lumineux sont interprétés par les personnes interrogées comme «de la lumière se propageant le long de la feuille», *comment pensent-elles les voir ? Quel est, pour les étudiants et les professeurs en cause, le lien entre ces traits et les yeux de l'observateur ?*

Les résultats ci-dessus montrent :

- qu'il ne suffit pas de connaître les notions de base de l'optique, ni même de les enseigner, pour pouvoir affronter ces questions ;
- qu'il ne suffit pas davantage de bien citer les lois de Descartes pour prévoir ce que l'on verra dans le miroir plan ;
- que le statut de la lumière «invisible» par rapport à la lumière «visualisée», et celui des traits sur les schémas explicatifs, leur articulation et leur rôle dans l'interprétation de la vision, ainsi que le peu de place qu'ils occupent dans l'enseignement actuel, sont les principaux points sensibles à l'origine des difficultés des étudiants et des enseignants devant ce genre de problèmes.

Dans tout ce qui précède, nous avons analysé les difficultés liées aux notions fondamentales d'optique : la lumière-même (invisible de profil) par opposition à ce que l'on voit (des sources et des objets diffusants), et le sens de ce que l'on schématise (des trajets invisibles parcourus éventuellement par la lumière).

2.5. Le rôle de la lentille

2.5.1. Présentation

Nous allons aborder maintenant quelque chose qui est «vraiment»

** C'est nous qui soulignons.

enseigné : la formation de l'image réelle par une lentille mince convergente, et montrer qu'on se heurte à des difficultés de même nature.

Question 3 : Que voit-on sur l'écran ?

Cette question, a été posée aux étudiants d'un premier cycle universitaire aux Etats-Unis [4], aux élèves de la classe de Première (après enseignement) au Liban [5], aux élèves avant et après le baccalauréat en France [6] et enfin, dans le cadre de notre enquête, aux professeurs des collèges (Créteil et Paris).

Elle était présentée soit en entretiens individuels (aux étudiants américains) ou devant un petit groupe (des professeurs en France), face au montage composé d'une source lumineuse, d'une lentille et de l'écran avec l'image bien nette de la source lumineuse ; soit en questionnaires papier-crayon, (proposés aux élèves au Liban et en France), comportant un schéma, avec des rayons de construction, d'un couple objet-image formé par une lentille mince convergente (comme sur la figure 8).

AB : objet lumineux

(L) : lentille convergente

(L) donne de AB une image A'B' sur l'écran (E).

On enlève (L). Que se passe-t-il sur l'écran ?

Justifiez votre réponse.

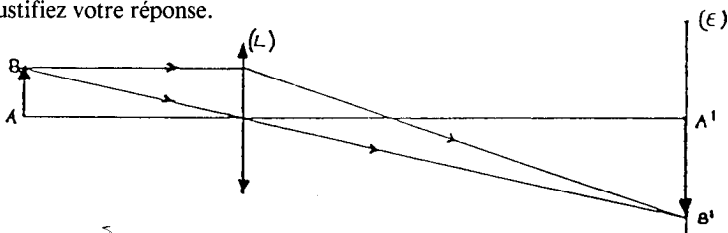


Figure 8 - Schéma, présenté en version papier-crayon, de la question à propos de la lentille enlevée.

2.5.2. Réponse correcte

La lumière arrive donc directement (sans avoir traversé la lentille) sur l'écran, et il faut trouver **des rayons de construction*** et **des faisceaux «d'interprétation»** pour illustrer ce cas.

Commençons par souligner la différence entre la construction et l'interprétation dans la schématisation en optique élémentaire : les rayons de construction servent à trouver la position de l'image, tandis que le faisceau hachuré sur la figure 9 représente toute la lumière qui, issue du point B de l'objet lumineux, traverse la lentille pour former au point B' son image.

* ici : rayons faciles à dessiner.

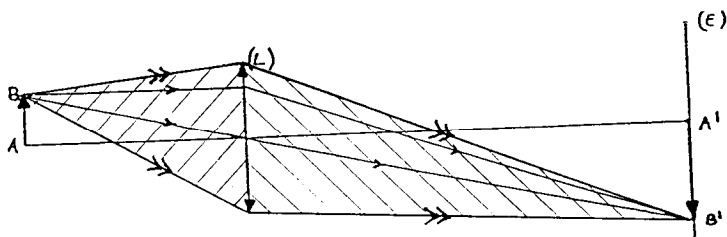


Figure 9 - Schéma interprétant la formation de l'image B' du point B (cf le texte)

Sans la lentille, les rayons de la figure 8 n'ont plus aucune utilité, en revanche ceux limitant le faisceau de la figure 9 peuvent resservir. En effet, chaque point de l'objet lumineux envoie la lumière dans toutes les directions, mais il suffit de prendre en compte les deux extrémités de l'objet (A et B) et de dessiner deux rayons par extrémité : un vers chaque bord de l'écran. Cela suffit pour voir que l'écran sera éclairé de manière pratiquement uniforme, et l'on ne pourra certainement pas reconnaître la forme de l'objet. **Il sera aussi éclairé relativement faiblement : la quantité de lumière provenant de tous les points de l'objet, qui était «concentrée» sur la surface de l'image A'B' (quand la lentille était là) étant maintenant «étalée» sur une surface beaucoup plus grande.**

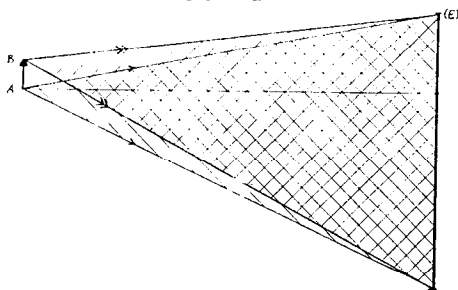


Figure 10 - Illustration de la réponse correcte - l'écran est éclairé faiblement et presque uniformément

2.5.3. Réponses recueillies

Devant un montage ou devant un schéma, les résultats sont pratiquement les mêmes : plus de 40% des personnes interrogées (mais «seulement» 20% des professeurs en fin du stage) pensent avoir une image sur l'écran sans la lentille. Elles sont entre 15% (en fin du stage) et 40% (Elèves de TC + TD) à utiliser le mot **IMAGE**, les autres parlent de la «**projection**» : «A'B' a la même grandeur que AB. On projette donc

simplement AB sur l'écran.» /Elève du Lycée Fresnel B.T.S./, ou plus rarement d'une «tache lumineuse (forme de la flamme de la bougie) non renversée» /Prof. Paris - en fin du stage/.

Or, **image, projection ou tache**, on retrouve le même schéma (figure 11) que les personnes interrogées tracent pour justifier ces réponses [4, 6].

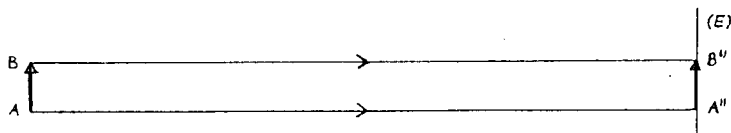


Figure 11 - Schéma justifiant la réponse : «on voit l'image (projection, tache) de même taille que l'objet, non renversée».

A.A. Fawaz [5] a construit (et posé au Liban) une question de contrôle où aucune mention préalable de la lentille n'était faite. Sur le schéma présenté, l'on voit un objet et un écran, et il faut répondre s'il y aura une image. Les résultats sont tout à fait analogues à ceux, rassemblés dans le tableau 3.

Lentille enlevée	Etudiants américains (4)	Elèves 1S au Liban (5)	Paris (6)			Professeurs en fin du stage (cf texte)
			Etudiants BTS Opt.	Elèves TC+TD	Elèves 1F	
Pas d'image	50% 	45% 	55% 	30% 	40% 	55%
Image	40% 	45% 	40% 	55% 	40% 	20%
dont: image redressée	40% 	40% 	40% 	50% 	40% 	20%
Autre ou sans réponse	10% 	10% 	5% 	15% 	20% 	25%
Effectif	22	31	54	73	24	38

Tableau 3 - Comparaison des réponses à la question «de la lentille enlevée»

Pour la moitié seulement des étudiants (et des enseignants) l'image disparaît quand il n'y a plus de lentille pour la former. Pour la majorité des autres, la lentille ne sert qu'à «renverser» ou «déformer» l'image :

«AB n'est pas déformé car le faisceau lumineux ne traverse que l'air.» /Elève - TC/

«A'B' sans lentille n'est pas renversée et sa grandeur est la même que l'objet.» /Etud. - TS/

Et pourtant, les personnes interrogées, (les étudiants au Liban, en B.T.S. en France, et les enseignants), savent dans leur grande majorité résoudre des problèmes relativement complexes d'optique géométrique : enchaînement de lentilles, correction des anomalies de l'œil, etc. L'apprentissage des techniques de schématisation (avec l'importance exagérée de la construction aux dépens de l'interprétation) ou de calcul, censé entraîner avec lui la compréhension de notions fondamentales de l'optique, ne donne guère de résultats sur ce plan sans un travail explicitement consacré à ces notions.

Les résultats du tableau 3 montrent que les pourcentages d'étudiants qui prévoient l'image sur l'écran sont stables à travers les populations très variées, et qu'il existe un moyen pour y remédier - les réponses des professeurs en fin du stage en témoignent par de plus faibles pourcentages de réponses fausses. En revanche le taux de réponses correctes est à peine plus élevé : seule la moitié des professeurs donnent la réponse correcte.

En présentant la question de la 'lentille enlevée' nous avons abordé un thème «vraiment» enseigné - les résultats parlent d'eux-mêmes. Les difficultés associées aux différents aspects de la formation de l'image par une lentille mince convergente sont nombreuses : le rôle même de la lentille, nous venons de le voir, pose problème.

D'autres recherches [4, 5 et 6] font apparaître notamment :

** Une difficulté de compréhension du statut même du schéma et des rayons de construction.*

Pour beaucoup d'élèves le fait de bloquer les rayons de construction traditionnels par un cache sur la lentille (cf aussi l'Annexe - Série II, 7.) se traduit par la suppression de l'image. Beaucoup d'entre eux pensent également que la construction d'un couple objet image porte nécessairement sur les points extrêmes de l'objet.

La notion d'échantillonnage intervient en optique géométrique à deux niveaux : d'une part, un couple de points objet-image permet de prévoir la position d'un ensemble de couples; d'autre part quelques rayons faciles à construire permettent de prévoir les trajets d'autres rayons du même faisceau. Les études que l'on vient de citer montrent clairement que cette idée d'échantillonnage n'est nullement maîtrisée.

** Une incompréhension des rôles de l'écran et de l'œil.*

L'écran semble parfois suffire à faire exister l'image [4 et 5]. Si l'écran est retiré, beaucoup de personnes (surtout les enseignants) pensent que l'image disparaît ou en nient l'existence lorsqu'on leur montre comment la voir. D'autres (surtout les élèves) pensent que, pour la voir, il faut mettre l'œil à la place de l'écran [5].

* *Les notions de netteté d'image et de sa luminosité semblent adhérentes l'une à l'autre [5].*

3. CONCLUSION

Au terme de cette rapide revue de résultats quelques remarques s'imposent :

* Les difficultés concernant les notions de base de l'optique élémentaire sont généralement très sous-estimées, y compris par ceux-là même qui les partagent.

* Elles apparaissent chez des personnes de niveaux de formation très divers, suggérant ainsi qu'elles ont été au mieux non traitées, au pire renforcées par l'enseignement.

* Si l'on décide de les traiter explicitement, il est possible de mettre en œuvre une série d'activités (voir plus haut et annexe) répondant aux critères suivants :

- Elles permettent une mise à l'épreuve des éléments de base du modèle, ici : la lumière est invisible «de profil», elle doit parvenir dans l'œil pour y produire une impression, elle se propage en ligne droite entre les deux éléments successifs de la chaîne optique (éléments matériels + œil).

- Elles suscitent une analyse qualitative *et rigoureuse* compte tenu des éléments de base du modèle introduit précédemment, pour des situations simples à réaliser matériellement, mais riches de contenu conceptuel (par exemple «la croix» - cf § 2.4.2.). Les montages prévus à cet effet sont élaborés avec un souci principal de «transparence conceptuelle». De ce fait, elles amènent à mettre en évidence des difficultés réelles et à les confronter à une authentique démarche de mise en cohérence des faits observés et d'énoncés bien spécifiés.

Une telle démarche, illustrée ici à propos des notions les plus élémentaires, peut s'étendre à celles, plus complexes, concernant la formation d'images par les systèmes optiques et la notion d'échantillonnage (cf annexe). De ce point de vue on peut considérer que cette démarche est de nature à participer à une formation générale, au delà de l'enseignement de l'optique.

4. RÉFÉRENCES

- [1] GUESNE E., 1984, Children's ideas about light / Les conceptions des enfants sur la lumière, *New Trends in Physics Teaching*, Vol. IV, UNESCO, Paris, pp 179-192.
- [2] TIBERGHIE A., DELACOTE G., GHIGLIONE R., MATA-LON B., 1980, Conceptions de la lumière chez l'enfant de 10-12 ans, *Revue Française de Pédagogie* N°50, pp 24-41.
- [3] GOLDBERG F.M., MCDERMOTT L.C., 1986, Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror, *The Physics Teacher* Vol. 24 N°8, pp 472-480.
- [4] GOLDBERG F.M., MCDERMOTT L.C., 1987, An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror, *Am. J. Phys.* Vol.55 N°2, pp 108-119.
- [5] FAWAZ A.A., VIENNOT L., 1985, Image optique et Vision, *BUP* N°686, pp 1125-1146.
- [6] KAMINSKI W., 1986, Statut du schéma par rapport à la réalité physique, un exemple en optique, *Mémoire de Tutorat, DEA de Didactique*, Université Paris 7.

5. ANNEXE

QUELQUES ACTIVITÉS DE FORMATION EN OPTIQUE ÉLÉMENTAIRE

Série 1 : Où se trouve l'image formée par un miroir plan ?

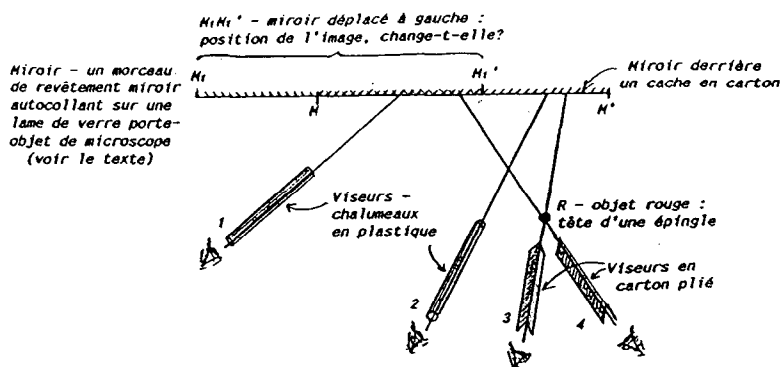


Figure 1A - Quel viseur choisir pour voir l'image de l'objet R dans le miroir M_2 ? (Et dans le miroir M_1M_1' ?)

Cette question permet d'isoler les deux difficultés rencontrées souvent :

- * la position de l'image dépend de la position de l'observateur (plusieurs viseurs seraient possibles) ;

- * l'image se trouve sur la surface du miroir (en face de l'objet de préférence) ;

Le choix massif du viseur 3 (80% des personnes interrogées) s'explique par la nécessité d'affronter les deux difficultés à la fois : l'image se trouverait sur la « ligne de visée » (observateur - objet - image) et l'on vise dans la direction « presque normale » à la surface du miroir [3] ;

Déroulement proposée (après les prévisions) :

1. Enlever le cache de la surface du miroir* et regarder à travers tous les viseurs (ne pas oublier de déplacer le miroir à gauche - position M_1M_1' , et d'y regarder encore).

2. Trouver et tracer d'autres « bonnes » directions de visée.

* Le petit miroir en revêtement autocollant permet d'éviter les deux inconvénients du miroir ordinaire : la couche de verre qui doit être traversée par la lumière avant et après la réflexion sur le tain, et le cadre, qui empêche l'observation au ras de la feuille.

3. Enlever le miroir et prolonger (comme sur la figure 2A ci-dessous) toutes les directions de visée permettant l'observation de l'image - dessiner cette image.

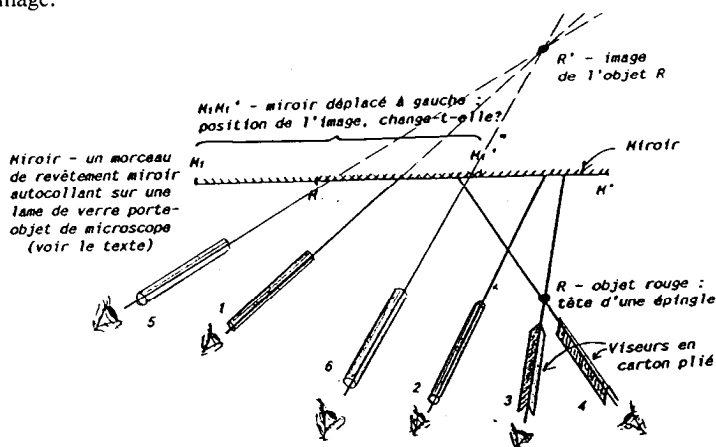


Figure 2A - On verra l'image R' de l'objet R par les viseurs : 1, 5, 6 et beaucoup d'autres (non dessinés ici).

4. Faire un «schéma d'interprétation» en traçant des pinceaux 'incidents' entre l'objet R et les points I_1 (I_1 et I_1' pour le viseur 1) sur la surface du miroir (figure 3A). Quand le miroir est placé sur la feuille, la lumière ne peut pas venir dans l'oeil de l'observateur de l'endroit où l'on voit l'image (le miroir est opaque).

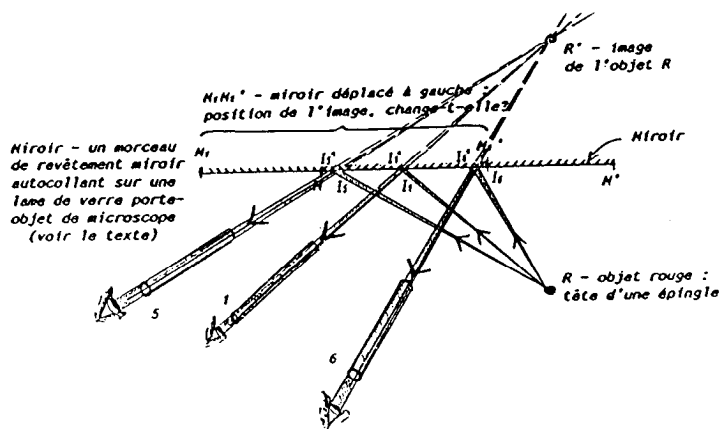


Figure 3A - Schéma d'interprétation : la lumière qui semble arriver de l'image R' , vient en réalité de l'objet R .

Elle ne peut donc venir que de l'objet, cependant l'observateur voit l'image de R comme si le pinceau reçu divergeait du point R'.

5. Faire un commentaire sur la réflexion de la lumière (et mesurer les angles, si l'on veut). Cela représente une possibilité nouvelle d'introduire les lois de la réflexion en conclusion d'une étude de l'image formée par un miroir.

REMARQUE : Le trait dessiné sur la feuille représente mieux le trajet de la lumière qui s'y propage qu'un pinceau lumineux (voir § 3). Malgré cela, on peut faire suivre les traits sur le schéma par les «vrais» pinceaux lumineux, si l'on remplace l'objet par une source lumineuse avec une fente.

Série II : Peut-on voir une image réelle sans écran ?

Les activités associées à cette question permettent une étude détaillée du montage qui sert à la formation de l'image par une lentille mince convergente.

On propose également une manière de tracer un «schéma expérimental» qui apporte un contrepois au schéma de construction traditionnel (cf figures 6A, 7A et 8A).

En particulier, on montre que **toute la surface de la lentille participe à la formation de l'image d'un point donné de l'objet**, et que l'image entière est formée par chaque élément de la surface de la lentille.

Matériel :

* une feuille blanche - base du montage ;

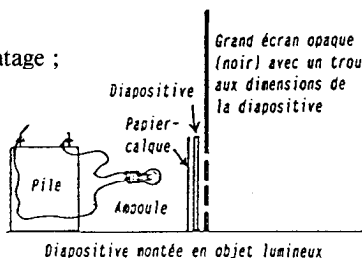


Figure 4A - Dispositif montée en objet lumineux.

* des objets - il en faut au moins deux : un lumineux - une bougie ou une diapositive avec un morceau du papier calque fixé au dos (sans cela elle est trop transparente et donc pas assez diffusante), éclairée par une petite lampe, et montée comme sur la figure 4A ;

l'autre objet sera non-lumineux : un dessin (cadran d'une montre par exemple) ou un petit objet quelconque que l'on placera devant la lentille ;

- * une lentille convergente - une petite loupe ou une autre lentille de courte focale (avec un cadre permettant de la poser verticalement sur la feuille) ;
- * un «écran de vérification» en feuille transparente sur laquelle on a tracé un ou deux traits verticaux et une feuille blanche (écran diffusant pour regarder l'image de l'objet lumineux) ;
- * des épingles pour la visée, une règle et un crayon pour tracer le schéma.

Le montage est présenté sur la figure 5A ci-dessous :

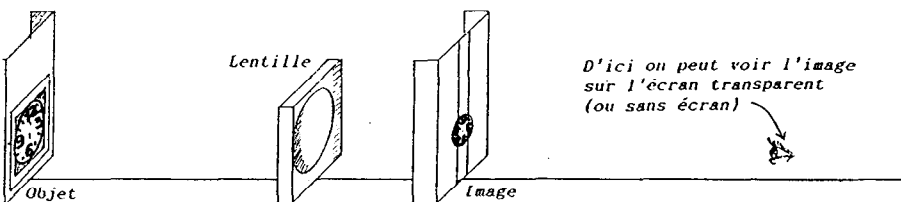


Figure 5A - On peut voir une image réelle sans écran.

Déroulement proposé :

1. Commencer avec un objet lumineux : trouver son image sur l'écran (avec la feuille blanche). Enlever un à un les différents éléments du montage en examinant l'écran (ne pas oublier d'enlever aussi l'écran en regardant dans la direction de la lentille - voit-on l'image ? Où ?)
2. Dessiner sur la feuille de base l'axe du montage ainsi que les positions de l'objet, de la lentille et de l'image; projeter un point particulier P_{ob} de l'objet et son image P_{im} sur la base, repérer le diamètre de la lentille (si un autre point P_{axe} de l'objet se trouve au-dessus /à la verticale/ de l'axe, alors son image P'_{axe} doit s'y trouver également - sinon, le centre de la lentille n'est pas placé au-dessus de l'axe, ce qui est obligatoire).
3. Enlever tout de la base et faire un «schéma d'interprétation» (comme sur la figure 6A). Replacer tout (sauf écran) sur le schéma.

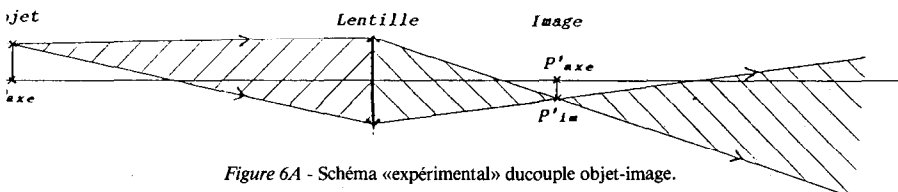


Figure 6A - Schéma «expérimental» ducouple objet-image.

4. Trouver (en alignant des épingles par exemple) les «directions de visée» pour voir l'image sans écran (à partir d'une position de l'oeil choisie arbitrairement - tracer un schéma expérimental comme sur la figure 7A).

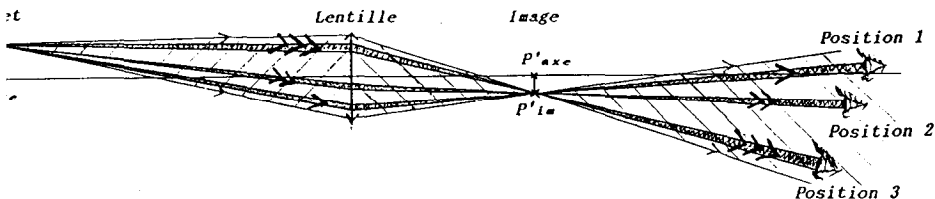


Figure 7A - Pour voir l'image P'_{im} l'observateur n'a besoin que d'une petite surface de la lentille.

5. Prendre un objet ordinaire et l'écran transparent, les placer sur le schéma. Pour vérifier si l'image se trouve sur l'écran, bouger un peu la tête : on verra l'image bouger avec les traits dessinés sur l'écran (si l'image n'était pas sur l'écran, alors, grâce à la parallaxe, on verrait les traits se déplacer *par rapport* à l'image).

6. Refaire le 4.

7. Fixer sur la surface de la lentille des caches suivants : un diaphragme, pour couvrir les bords de la lentille, un rectangle sur une moitié, une pastille sur le centre, etc. Observer l'image sans et avec l'écran blanc.

8. Trouver des positions de l'oeil permettant l'observation d'un point-image donné malgré les caches : pour le point P'_{im} la position 1 de la figure 7A convient si le cache est placé sur le centre ou sur la moitié supérieure de la lentille, mais si l'on diaphragme la lentille, il faut déplacer l'oeil à la position 2 pour voir cette image, etc.

9. Vérifier que l'on peut voir l'image entière malgré les caches : les deux pinceaux de la figure 8A, issus de P_{ob} et P_{axe} , peuvent traverser le même endroit de la lentille avant de former les deux images (P'_{im} et P'_{axe}), et d'arriver dans l'oeil de l'observateur. Même si tout le reste de la lentille était caché, cet observateur, en déplaçant son oeil entre les deux positions indiquées, pourrait voir l'image de tous les points de l'objet compris entre P_{axe} et P_{ob} .

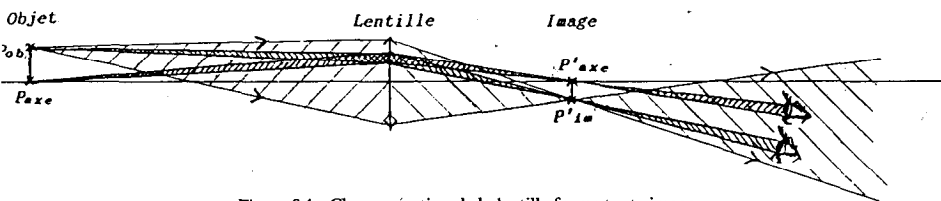


Figure 8A - Chaque portion de la lentille forme toute image.