

Image optique et vision : ENQUETE EN CLASSE DE PREMIERE AU LIBAN

A. FAWAZ, L. VIENNOT,
L.D.P.E.S. Université Paris 7.

L'étude que nous présentons ici [1] concerne des élèves de première au Liban, âgés d'environ 16 ans, pour lesquels la lumière est une entité déjà familière, et qui interprètent sans problèmes (voir à ce propos réf. [2] et [3]) la vision des objets en termes de lumière émise ou réfléchi qui parvient dans l'œil. Cette enquête se situe dans un cadre scolaire : tous les élèves interrogés ont subi un enseignement substantiel d'optique géométrique (programme français de 1945). Il s'agit, à travers leurs réponses, d'analyser les modes de raisonnements les plus fréquents, d'en déduire des indications sur les principales difficultés du domaine exploré, de construire des outils pédagogiques adaptés à une interaction fructueuse entre professeur et élèves, et plus largement d'alimenter une réflexion sur les objectifs pédagogiques de l'optique.

L'enquête est centrée sur la compréhension du schéma de KÉPLER (figure), dans le cadre de l'optique géométrique « inerte » (lentilles minces convergentes) comme dans celui de l'optique « vivante » (vision des images). De ce fait, les miroirs et les lentilles divergentes, illustrations moins immédiates de ce schéma, sont absentes de l'étude. En revanche, nous y avons introduit la chambre noire, traditionnellement considérée comme l'introduction privilégiée de l'idée d'image optique et de celle de convergence, qu'elle illustre en quelque sorte « en négatif ».

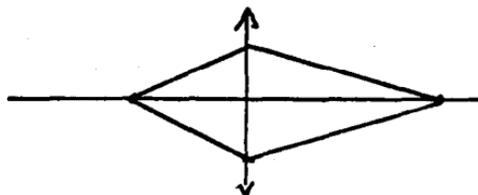


Fig. — Le schéma de KÉPLER.

Les phases préliminaires de l'enquête nous ont amenés à distinguer plusieurs sous-thèmes :

- Correspondances ponctuelle et globale entre objet et image et rôle du schéma.
- Relation netteté-luminosité.
- L'œil en tant que système optique.

L'outil d'investigation est le questionnaire écrit, présenté en classe, prévu pour un travail de 15 à 20 minutes au maximum. Ces questionnaires, construits par approximations successives, visent à être suffisamment démonstratifs non seulement pour éclairer l'étude mais aussi pour servir ultérieurement de moteur à une discussion dirigée en classe. En cela, ils doivent être compris autant comme un produit que comme un moyen de l'étude. Les questions sont toutes présentées en fin d'année scolaire. L'effectif varie entre 25 et 110 élèves selon les questions.

I. CORRESPONDANCES OBJET-IMAGE ET SCHEMAS.

A. Lentilles minces.

Nous avons commencé par une question portant sur la nécessité même d'un système optique pour la formation d'une image réelle sur un écran.

Cette question est identique à une question proposée par L. MACDERMOTT et F. GOLDBERG [4] :

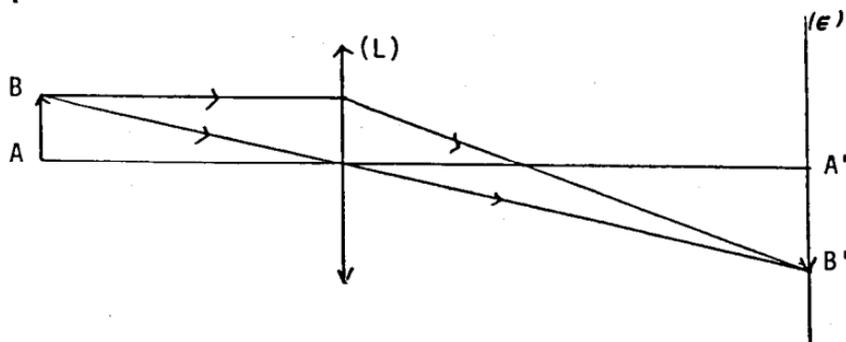
Question 1 :

AB : objet,

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 ?



Le tableau 1 montre une similarité étonnante entre nos résultats et ceux de L. MACDERMOTT.

	nos résultats	Ceux de F. Goldberg et L. Mac Dermott	
Pas d'image	45	50	Les chiffres sont exprimés en % du nombre total
oui il y a une image	45	41	
Dont oui image redressée	36	41	
Abstention ou incertain	10	0	
Effectif	31	22	

TABLEAU 1

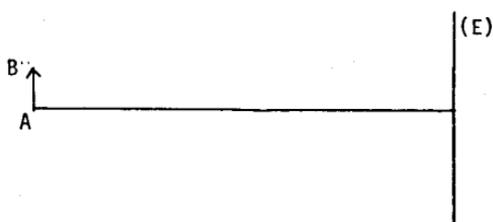
On y apprend que pour la moitié des élèves l'image persiste après suppression de la lentille. 36 % considèrent qu'alors l'image se redresse, suggérant ainsi que le rôle principal d'une lentille est de retourner l'image et non de la former. Une question de contrôle (question 2) vise à vérifier l'influence de la mention préalable d'une lentille sur les réponses des élèves.

Question 2 :

AB : objet,

E : écran.

Que voit-on sur l'écran ?



A nouveau, 46 % des élèves prévoient l'existence d'une image. Sur les 59 élèves interrogés à l'une ou l'autre question, 4 seulement ont mentionné la nécessité d'un système optique. Or, ces mêmes élèves sont rompus à la pratique d'exercices assez complexes enchaînant plusieurs lentilles en vue de calculs de positions ou de focales de verre de lunettes. S'agit-il d'une déstabilisation du raisonnement par l'extrême simplicité de la question, ou bien tout simplement du fait que la connaissance correspondante n'a jamais été véritablement installée, et que

les compétences observées sur les exercices classiques ne sont que le reflet d'automatismes scolaires mal maîtrisés ? Ces deux hypothèses se ressemblent fort. Il importe d'en préciser les contours.

La plupart de nos questions abordent ce problème de façon « semi-classique », c'est-à-dire par des exercices d'apparence scolaire rendus plus ou moins « subversifs » par la suppression d'une ou plusieurs des caractéristiques habituelles.

Dans une première série d'items (question 3), on demande de citer précisément les couples objet-image suggérés par un schéma. L'élève est averti qu'il peut, au besoin, compléter le schéma.

Quelques résultats figurent en tableau 2.

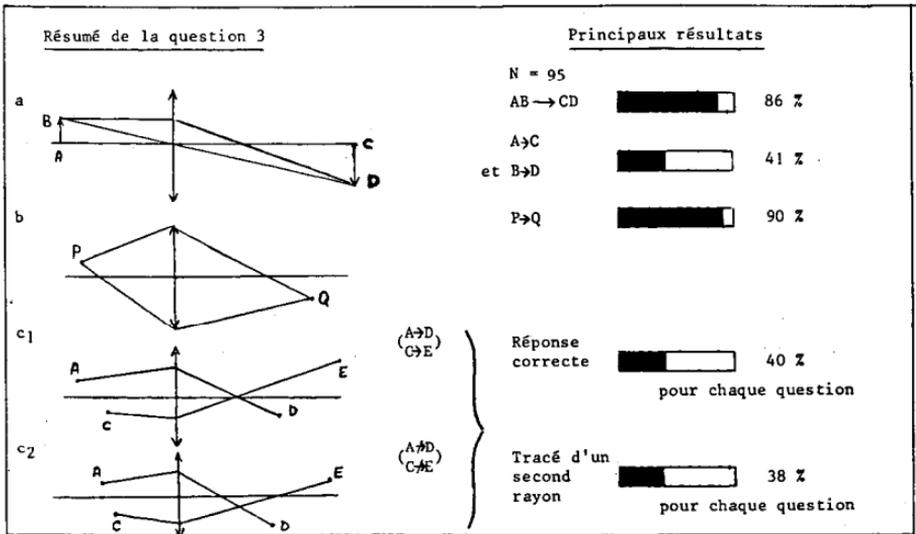


TABLEAU 2

On note dans ces résultats le fort pourcentage de réponses correctes dans la présentation la plus classique, avec une évidente prédilection pour la mention d'une correspondance globale objet-image (AB → CD). Celle-ci se manifeste aussi par le fait que P et Q, en question 3 b, sont spontanément gratifiés d'un pied sur l'axe, ou bien dans les réponses aux questions moins

N.D.L.R. : Sur le schéma c₁, les segments de droite AD et CE passent par le centre optique de la lentille alors que ce n'est pas le cas sur le schéma c₂.

classiques ($3c_1$ et c_2) où les points A et D d'une part, C et E d'autre part, sont réunis.

Ces deux dernières versions donnent lieu à une chute brutale du taux de bonnes réponses, et à ces commentaires qui illustrent une sorte de paralysie devant le schéma :

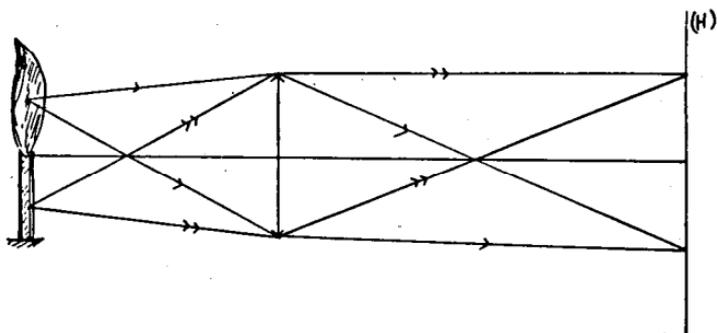
« Ni E ni D ne sont les images de A et C car un seul rayon ne suffit pas » (version c_1 , second rayon non tracé par l'élève) ;

« L'image de A n'est ni D ni E... L'image de A n'existe pas ».

Dans la même ligne, la question 4 confirme ces informations :

Question 4 :

(L) est une lentille convergente,
(H) est un écran.



S'il vous semble qu'il manque des notations sur la figure, ajoutez-en.

* Que voit-on sur (H) ?

Justifiez votre réponse :

N = 58.

Deux résultats importants se dégagent :

■ Un tiers seulement des élèves donnent la réponse à la fois toute simple et importante : sur l'écran, on voit l'image de la bougie ;

■ 41 % des élèves limitent ce que l'on voit sur l'écran soit à un ou deux points (20 %), soit au segment qui les joint (21 %).

On voit se préciser ici les caractéristiques globales évoquées précédemment : le statut du schéma, mal compris, laisse beaucoup d'élèves totalement démunis devant toute question qui sort

du cadre d'automatismes scolaires. L'idée qu'il importe de maîtriser dans cette question est celle d'échantillonnage : deux correspondances ponctuelles, figurées sur le schéma, permettent d'en prévoir une infinité d'autres, entre tous les points de la bougie et tous ceux de son image sur l'écran. Les résultats sont éloquents mais avant de s'indigner il faut bien voir que l'idée n'a rien d'évident, et qu'elle implique le passage du discontinu au continu. Ce problème, déjà entr'aperçu dans les résultats de la question 3, est en filigrane tout au long de l'étude.

Une dernière question sur ce thème des correspondances dans les lentilles minces aborde encore une fois le thème de l'échantillonnage, cette fois sous l'aspect suivant : dans le principe de la correspondance stigmatique objet-image, le comportement de deux rayons permet d'en prévoir une infinité d'autres, puisque tous les rayons (paraxiaux) issus du même point convergent en un même autre point.

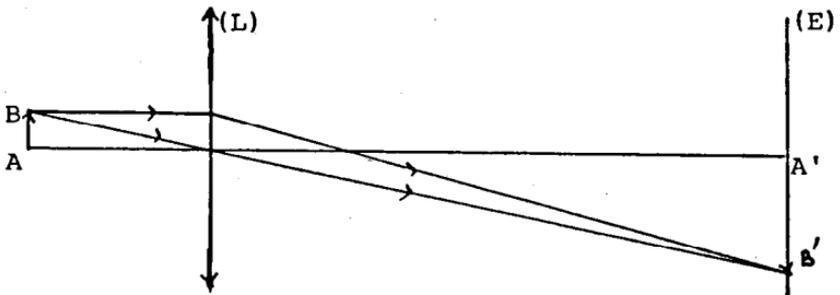
Les questions choisies pour évaluer la compréhension de ce point proposent des lentilles diaphragmées ou obstruées par un cache. Ainsi la question S,

Question S :

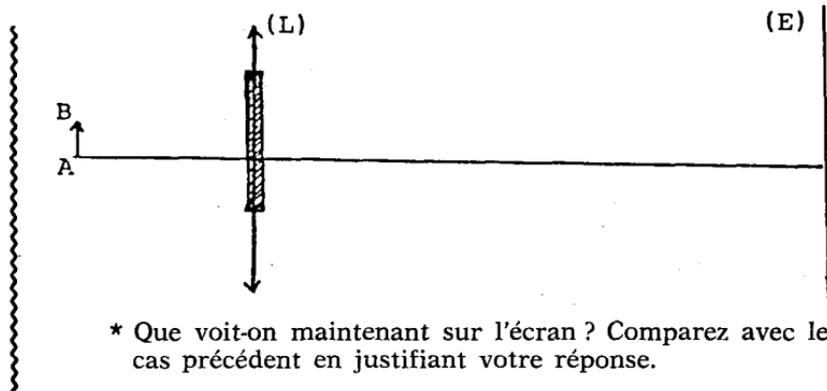
Cache circulaire.

Une lentille convergente (L) donne d'un objet AB lumineux une image réelle A'B' que l'on reçoit sur un écran (E).

L'ensemble est disposé comme le montre le schéma suivant :



On dispose un cache sur la partie centrale de la lentille, comme sur le schéma ci-après. (L'objet, la lentille et l'écran sont toujours au même endroit).



L'essentiel des résultats apparaît dans le tableau 3.

Population	Réponse	On voit l'image complète	On ne voit plus d'image ou On voit une partie de l'image
	Première au Liban N = 58		27 %
DEUG, Paris VII, 1ère année N = 93		42 %	46 %

TABLEAU 3

La catégorie des réponses « On voit l'image complète » est celle d'élèves dont on peut admettre qu'ils ont compris le principe d'échantillonnage rappelé précédemment. Une faible minorité complète la réponse en indiquant la diminution de la luminosité, et parfois celle de la netteté (en relation ou non avec les conditions de GAUSS).

Les réponses classées dans l'autre catégorie s'illustrent principalement par des commentaires de l'un des types suivants :

« On voit la périphérie de l'image car le centre est caché ».

« Si l'objet est inférieur ou égal à la pièce, on ne voit pas d'image ».

« On verra l'ombre du cache sur l'écran ».

« On n'obtient pas l'image de A car il appartient à un rayon qui se dirige suivant l'axe principal et s'arrête au centre de la lentille et son image est empêchée car le centre est caché ».

« On voit un point lumineux issu de B et qui peut parvenir soit par en dessus soit par en dessous ».

« On voit deux points ».

On y discerne évidemment des adhérences entre l'idée d'image et celle de projection cônica, compliquées d'une analyse déficiente du passage continu-discontinu. Les rayons de construction ne sont pas compris comme des échantillons commodes, mais plutôt comme de véritables éléments constitutifs de l'image : les bloquer revient à supprimer l'image.

Ces résultats sur les correspondances objet-image pour les lentilles minces convergentes (*), nous semblent pouvoir se résumer ainsi :

Récapitulation sur les couples objets-images dans la schématisation classique.

Le statut du schéma par rapport à la réalité physique ne semble pas maîtrisé par la majorité des élèves interrogés. Beaucoup semblent paralysés devant le schéma proposé, comme s'ils lui prêtaient une réalité physique contraignante et exclusive, plutôt que le statut d'un simple outil de travail. Dans l'interprétation du schéma, les élèves se heurtent notamment à la difficulté du passage du ponctuel au global, du discontinu au continu, et à l'idée d'échantillonnage : deux rayons permettent de prévoir le comportement d'une infinité d'autres, deux correspondances ponctuelles autorisent également d'en prévoir une infinité d'autres.

B. Chambre noire.

Ces résultats nous ont semblé justifier un détour du côté des chambres noires : comment la notion d'image est-elle conciliée avec celle de chambre noire ; les schématisations observées pour les chambres noires présentent-elles les mêmes caractéristiques que celles que l'on vient d'évoquer ; peut-on penser que les chambres noires introduisent efficacement la notion d'image optique au sens de KÉPLER ?

Pour ne pas alourdir l'exposé, citons ici, sans l'appui des résultats expérimentaux qui les justifient, quelques conclusions fondées sur les réponses verbales d'élèves à des questions proposant divers dispositifs (schématisés en haut du Tableau 5) et portant sur l'existence et la forme de l'image, ainsi que sur l'objet dont on observe « l'image » au fond de la chambre noire (est-ce la source, ou le diaphragme ?)

(*) Confirmés par d'autres, non cités ici, et portant sur les objets à l'infini.

Quelques éléments sur l'existence de l'image en chambre noire.

* Lorsque la situation présentée est très classique — source étendue pourvue d'une forme caractérisée - petit trou — l'existence de l' « image » est unanimement admise.

* Le mécanisme de formation de l' « image », pour beaucoup d'élèves n'est pas maîtrisé.

* Il semble que l'existence d'une image soit souvent une sorte de réponse à un mot-clé : écran, verre dépoli, objet, système optique... etc.

* L'attribution d'une forme au diaphragme suscite des conflits mal analysés (« la lumière prend la forme du trou »). L'une des solutions consiste à laisser dans le flou la question « image... de quoi » ? Une autre est de conclure à l'absence d'image.

* Certains élèves semblent mal discriminer l'image de deux points S_1 et S_2 et l'image d'une source étendue limitée par ces points.

Voici, de façon plus détaillée, ce qui concerne les schémas. On voit apparaître dans les justifications des élèves, relativement peu de schémas. Il s'agit alors de l'un de ceux qui figurent en tableau 4. Le tableau 5 indique les fréquences d'apparition « spontanée » (ces schémas n'étaient pas explicitement demandés) de schémas en fonction de la situation proposée (questions 6 à 9).

Toujours relativement faibles, ces fréquences manifestent l'association préférentielle :

- des schémas 2 et 4 aux situations où la source est « étendue »
— même lorsque l' « extension » n'est que la distance entre deux points sources ;
- du schéma 1 au cas où source et diaphragme sont d'étendue et de forme « négligeables ».

On observe également la faible « disponibilité » du schéma complexe 5.

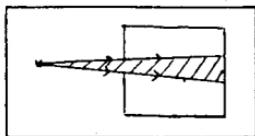


Schéma 1

Schéma de type "projection cônica"

"Un faisceau de lumière passe par le trou et prend la forme d'un cône qui se projette suivant un cercle sur le fond"

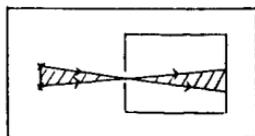


Schéma 2

Schéma global : le faisceau converge au milieu du trou
"à travers le trou on voit deux cônes de lumière"

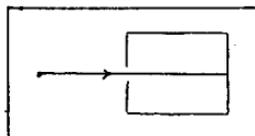


Schéma 3

Schéma limite à un seul rayon*

"On voit un rayon lumineux qui entre dans la boîte parce que le trou ne permet de passer qu'un seul rayon"

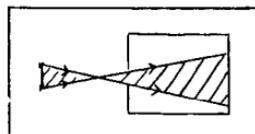


Schéma 4

Schéma de conciliation entre les schémas 1 et 2 global comme le schéma 2, il "remplit le trou" comme le schéma 1

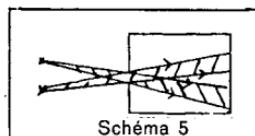


Schéma 5

Schéma complexe construit sur le schéma 1, et "correct", mais qui ne suffit pas à garantir la compréhension du passage continu-discontinu

TABLEAU 4

**Les types de schémas utilisés par les élèves
pour les chambres noires**

(*) Tel était le schéma proposé par Al HAZEN [5], au x^e siècle, pour rendre compte de la vision.

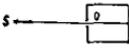
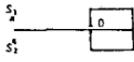
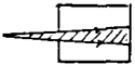
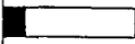
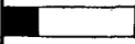
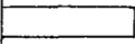
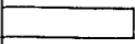
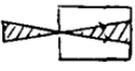
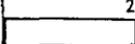
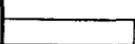
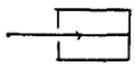
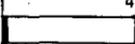
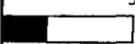
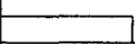
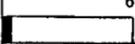
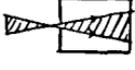
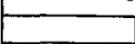
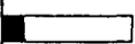
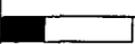
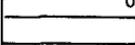
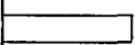
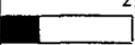
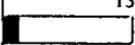
Situation proposée	Schéma utilisé par l'élève			
				
 Sch.1	 16 %	 27 %	 0 %	 0 %
 Sch.2	 2 %	 1 %	 25 %	 12 %
 Sch.3	 4 %	 34 %	 1 %	 6 %
 Sch.4	 0 %	 17 %	 34 %	 40 %
 Sch.5	 0 %	 0 %	 29 %	 13 %

TABLEAU 5

Fréquences d'apparition des divers types de schémas donnés à l'appui de réponses à la question : y a-t-il une image...

On est donc bien loin d'avoir obtenu chez ces élèves la mise en place d'un schéma d'analyse « homogène » pour toutes les situations proposées. Au gré des formes (de source et de diaphragme) la correspondance suggérée est ponctuelle ou globale, et s'appuie sur des nécessités diverses : projeter, remplir le trou, faire diverger deux cônes à partir d'un petit trou, faire passer un rayon par un point source, etc.

En revanche, les prévisions sur ce que l'on voit sur le fond de la boîte dans chaque cas ne sont pas mauvaises : certitudes lorsque l'un des deux éléments — source ou diaphragme — est ponctuel, doute prudent dès que l'extension de l'un n'est plus négligeable devant celle de l'autre.

En résumé, les élèves savent relativement bien prévoir ce qu'ils verront, mais ils ne savent pas l'analyser. En particulier, aucun élève (sur un total de 264 interrogés sur la chambre noire) n'a mentionné spontanément le fait que « l'image » n'était pas localisée.

On peut dès lors s'interroger sur les vertus de la chambre noire — au moins telle qu'elle a été présentée à ces élèves — comme dispositif d'introduction à l'imagerie optique. Simple quant à sa réalisation, la chambre noire est un dispositif complexe quant à l'interprétation de ce qui s'y passe. Nous y reviendrons.

II. NETTETE ET LUMINOSITE.

Abordons maintenant un thème qui peut sembler plus marginal, et qui de fait l'est dans la conception actuelle de l'enseignement de l'optique. Nous nous y sommes heurtés par hasard, au travers des réponses des élèves à des questions non prévues à cet effet, et l'avons ensuite étudié pour lui-même.

Les questions 10 et 11 visent à explorer les raisonnements des élèves sur ce point à l'aide de deux situations analogues. La structure de la question 10, qui concerne une image reçue sur un écran, est calquée sur celle de la question 11 reproduite ici. Les résultats obtenus à ces deux questions figurent en tableau 6.

Question 11 :

Un œil normal regarde le filament d'une lampe situé à 2 m. On considère l'image de ce filament sur la rétine de l'œil.

N.B. : Expliquez-vous en détail, avec autant de schémas que possible.

QUESTIONS		
	1) Que devient la luminosité de l'image :	2) Que devient la netteté de l'image :
La caractéristique ci-après, seule, est changée	— Elle augmente. — Elle diminue. — Elle est inchangée. Pourquoi ?...	— Elle augmente. — Elle diminue. — Elle est inchangée. Pourquoi ?...
a) Le filament devient plus lumineux.		
b) Le filament devient plus grand.		
c) On rapproche le filament à 1 m de l'œil.	(*)	
d) L'œil regarde le filament à travers un trou d'épingle pratiqué dans un cache en carton.		

(*) Cette question ne figure pas dans la question 10.

Relation explicitée	Dépendance inverse		Dépendance directe	Indépendance	Les chiffres sont exprimés en % du nombre total.
	N ↓ si L ↑	N ↑ si L ↓	N ↑ si L ↓ N ↓ si L ↑	N indépendante de L	
Question 10	17	5	37	7	
Question 11	62	25	35	4	

L = luminosité,
N = netteté.

TABLEAU 6
Fréquences des commentaires explicités
sur la relation Netteté-Luminosité

On peut, à partir de ces résultats et des commentaires qui les complètent, dégager deux registres de raisonnement.

A. « Eblouissement ».

L'un d'eux, que nous avons baptisé « éblouissement » correspond à une dépendance inverse explicitée entre luminosité et netteté. Celle-ci intervient beaucoup plus fréquemment lors de la question sur l'œil (87 %) que lors de la question portant sur une image réelle reçue sur un écran (22 %). Parfois exprimée sans autre commentaire, cette dépendance inverse est d'autres fois (principalement dans le cas de la vision directe) associée très explicitement à l'idée d'éblouissement.

« La netteté diminue car l'œil ne peut pas supporter une forte lumière ».

« La netteté diminue car l'œil peut supporter une limite bien déterminée de lumière pour qu'il ne soit pas fatigué et si la lumière est plus grande que cette limite l'œil ne peut pas distinguer et voir nettement ».

B. « Bon éclairage ».

L'autre registre, ainsi désigné, regroupe les réponses exprimant une dépendance directe entre Netteté et Luminosité. Il concerne une proportion importante d'élèves (35 %) équivalente pour les deux questions. Il se traduit par des commentaires analogues à ceux-ci :

Question 10 :

« La netteté augmente car le nombre des rayons qui déterminent l'image augmente ».

Question 11 :

« La netteté augmente car plus les rayons sont forts, plus l'image est visible et elle devient plus nette pour la vision ».

« La netteté diminue car la lumière reçue par l'œil n'est pas suffisante ».

27 % seulement des élèves en question 10, et 10 % en question 11, donnent des réponses compatibles avec des conceptions découplées de la luminosité et de la netteté. 7 % et 4 % respectivement, expriment explicitement cette indépendance.

L'intérêt essentiel de ces résultats n'est pas d'être surprenants. A la réflexion ils ne le sont guère. L'intérêt réside plutôt dans le fait qu'on ne sait trop qu'en faire, fait qui traduit l'absence d'objectifs pédagogiques sur ces notions pratiquement non définies dans l'enseignement secondaire. D'ailleurs un peu de bibliographie amène à conclure que la netteté est une grandeur à la définition à peu près inexistante. La seule définition vraiment pratiquée est (implicitement) dichotomique : une image est nette ou ne l'est pas selon que l'écran (la rétine) est ou non au bon endroit.

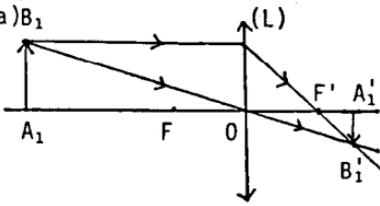
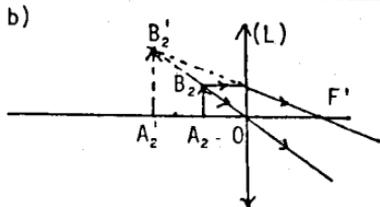
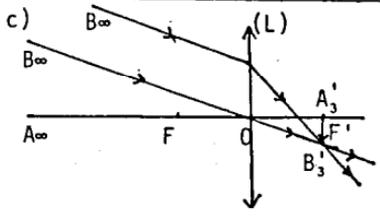
Ces quelques résultats devraient donc, à notre sens, être d'abord compris comme une contribution à une réflexion sur les objectifs pédagogiques de l'optique.

III. SYSTEMES OPTIQUES ET VISION DES IMAGES.

Annoncée par le thème d'étude précédent, la question de l'insertion de l'œil dans un système optique inerte nous a semblé, *a priori*, devoir être abordée. Certes l'optique géométrique n'est qu'un élément d'explication du mécanisme de la vision comme en témoignent par exemple les illusions d'optique. Mais nous nous sommes limités à l'analyse de la vision au premier degré, c'est-à-dire celui où les milieux transparents de l'œil sont assimilables à une lentille simple dans l'air et où l'image perçue est une retranscription directe de celle qui est formée sur la rétine. Il nous a semblé utile d'étudier dans quelle mesure ce schéma simple de l'œil est bien maîtrisé et surtout intégré dans l'étude des systèmes optiques en général. Il est en effet frappant de voir que les chapitres et les exercices d'optiques de première au Liban se répartissent en deux groupes bien distincts : ceux qui portent sur des systèmes optiques et instruments variés d'une part, ceux qui portent sur l'œil et la correction de la vision d'autre part. Dans le premier de ces groupes, l'œil apparaît par un dessin figuratif en quelque sorte parachuté sur un schéma qui n'est en général pas à la même échelle. On peut s'attendre dans ces conditions à ce que l'œil soit associé pour les élèves à divers registres de raisonnement mal intégrés les uns aux autres.

La question centrale de cette partie de l'étude est la suivante :

Question 12 :

Peut-on voir les images des objets 	1) A l'aide d'un écran ? Si oui où doit-on le mettre ? et Pourquoi ?	2) Avec l'œil ? Si oui, où doit-on le mettre ? et Pourquoi ?
a) 		
b) 		
c) 		

Les questions de la première colonne a_1 , b_1 , c_1 entrent intégralment dans le cadre de l'apprentissage scolaire. Elles ont donné lieu à une unanimité presque totale sur le schéma (OUI-NON-OUI) (réponses respectives aux trois questions) d'où il ressort qu'une image réelle peut être reçue sur un écran et une image virtuelle ne le peut pas.

Les résultats aux questions de la seconde colonne ne font pas, en revanche, apparaître d'unanimité. Sur le tableau 7 suivant figurent les taux des réponses à la question « peut-on voir

l'image... » (trois premières lignes), ainsi que les divers types de commentaires qui accompagnent ces réponses, avec les fréquences correspondantes :

		a_2	b_2	c_2
Réponses	Oui on peut voir l'image	66	50	62
	Non on ne peut pas voir l'image	21	33	17
	Abstentions	13	17	21
Principales justifications	Oui si l'œil est sur l'image	24		28
	Oui si l'image est dans le champ de vision distincte de l'œil	11	2	11
	Dont: l'image joue le rôle d'objet pour l'œil	9	0	5
	Oui, l'image virtuelle est visible		14	
	Non, l'image virtuelle est invisible		21	
	Foyer position critique (voir le texte)	17	21	
	Effectif	58	58	58

TABLEAU 7

Réponses à la question 14

Les chiffres sont exprimés en % du nombre total.

On pourrait attendre de l'apprentissage scolaire, qui associe toujours « image réelle » à « écran » et « image virtuelle » à « vision », que le schéma de réponses observé pour les questions a_1, b_1, c_1 qui concernent l'écran, s'inverse ici, pour donner respectivement NON en a_2 , OUI en b_2 , NON en c_2 .

D'ailleurs une vingtaine d'enseignants du secondaire au Liban, interrogés informellement, ont pratiquement tous fourni cette séquence de réponses, assortie du commentaire « une image réelle se reçoit toujours sur un écran ».

Mais les élèves interrogés ne manifestent pas ce type d'automatisme (à l'exception de 4 étudiants sur 58).

Dans les cas a_2 et c_2 , où les images sont réelles, 66 % et 62 % respectivement des élèves répondent qu'on peut voir celles-ci avec l'œil seul. Plus du tiers d'entre eux (24 % et 28 % du total respectivement) ajoutent qu'il faut placer l'œil sur l'image pour la recevoir. Si l'on rassemble ceux qui ont donné ce dernier commentaire en réponse à l'une des deux questions au moins, on atteint 36 % du total. Ces résultats, ainsi que les commentaires qui suivent, suggèrent que l'assimilation de l'œil à un écran est un phénomène important dans cette population.

Citons :

« *Oui il faut mettre l'œil de façon que la rétine se confonde avec le plan de l'image A_1B_1 car l'image est réelle* ».

« *Oui car l'œil se comporte comme écran, on place l'œil de façon que les rayons émergeant y entrent* ».

On est frappé par contraste, par :

- le fait que les images virtuelles sont visibles à l'œil nu pour seulement 50 % des élèves, tandis que 21 % d'entre eux associent explicitement les mots-clés « virtuel » et « invisible » ;
- le faible pourcentage (11 %) d'étudiants qui évoquent les limites de vision distincte de l'œil.

On note au passage que le foyer objet est mentionné par une minorité non négligeable d'élèves (20 %) comme une position critique pour la vision, que ce soit en sous-question b_2 , où l'on s'y attend, ou en question a_2 où l'on s'y attend moins.

Cette partie de l'étude, étayée par d'autres questions, non citées ici, nous a conduit aux éléments de conclusion suivants.

Récapitulation sur l'analyse de la vision de l'image donnée par un système optique.

Les questions proposées, qui mettent toutes en jeu un œil en série avec une lentille, suscitent très peu d'analyse de l'œil en termes de système optique. La vision apparaît, à travers l'essentiel des réponses, comme un phénomène non analysé, et qui obéit, selon les élèves et au gré des questions à l'un ou plusieurs des critères suivants :

- l'image observée est devant l'œil (sans plus de précision) ;
- l'œil est assimilé à un écran (visions des images réelles) ;

- l'œil est placé au foyer ;
- l'image virtuelle est invisible ;
- l'image virtuelle est visible.

Ceci suggère que l'analyse de l'œil en termes de système optique reste pour la plupart des élèves très adhérente à un type d'exercice. La moindre perturbation dans le type de question posée semble balayer cette conception de l'œil et faire surgir des réponses beaucoup plus sommaires non intégrées en un système cohérent.

CONCLUSION.

Les résultats qui précèdent mettent en évidence des difficultés non résolues chez de nombreux élèves. Par le seul fait de faire apparaître celles-ci, les questionnaires construits à cette occasion sont susceptibles de contribuer à les résoudre.

Mais la question essentielle qui se présente ici est évidemment celle des objectifs de l'enseignement. Celui qui semble avoir — implicitement — dominé l'enseignement reçu par les élèves de première libanais est le calcul des positions et des tailles d'images données par des systèmes de lentilles minces. Ce choix est aussi traditionnel que répandu. On a vu les lacunes conceptuelles qu'un tel objectif — en lui-même raisonnablement atteint — laissait derrière lui. Cette étude nous amène à suggérer les objectifs suivants comme objectifs-clés de l'enseignement de l'optique géométrique élémentaire :

Savoir que dans le principe de la correspondance stigmatique entre objet et image (objet et image perpendiculaires à l'axe optique),

- Un *point* (objet) correspond à un *point* (image) selon le schéma de KÉPLER,
- Un *échantillonnage* de rayons issus d'un point objet (par exemple les « rayons de construction ») permet de se prononcer sur la convergence en un point image donné de *tous* les rayons issus du même point passant à travers la lentille,
- Un *échantillonnage* de couples de points objet-image permet de se prononcer sur l'ensemble de couples de points correspondants à l'objet entier et à l'image entière.

Ces objectifs sont atteints si les élèves répondent correctement, par exemple à nos questions 4 (image d'une bougie), 5 (effet d'un cache central sur une lentille) ou 3 (couples objet-image). Ce n'est pas le cas général et de loin. Nous avons vu que l'un

des obstacles rencontrés sur ces points était une grande difficulté à saisir le statut même du schéma en optique.

L'ensemble du schéma prend souvent, pour l'élève, un statut largement réaliste. Que le rayon central ne passe plus et l'image disparaît. Que le point A ne soit pas à l'extrémité de la bougie et l'image est tronquée. Il nous semble donc utile d'aider les élèves à comprendre ce qu'ils font avec leur schéma, par exemple en s'écartant par moments des règles du jeu aussi habituelles qu'implicites : les rayons des constructions sont toujours les mêmes et souvent les seuls à figurer sur le schéma, objet et image sont toujours nantis d'un « pied » sur l'axe, le point A est toujours à l'extrémité de l'objet, etc.

Si maintenant on considère comme acquise l'opportunité des objectifs d'enseignement cités précédemment, on ne peut pas ne pas s'interroger sur le choix de la chambre noire comme dispositif d'introduction à l'imagerie optique.

Ce choix, nous l'avons dit, est largement répandu. Il a été fait en particulier au Liban. Les arguments principaux qui le sous-tendent sont la simplicité de réalisation de ce dispositif, et l'espoir que chaque élève aura pu en fabriquer un. Mais la simplicité de la réalisation masque la complexité conceptuelle.

Ce dispositif confronte l'élève avec une idée difficile : c'est un dispositif « limite ». Que l'on élargisse le trou et tout change : on n'obtiendra plus de forme spécifiée sur le fond de la boîte sinon, dans le cas où la source est ponctuelle, celle du diaphragme, en projection cônica. Les échecs des élèves à ces questions ne portent pas tant sur les prévisions qu'ils font quant à ce qu'ils verraient sur le fond de la boîte, que sur l'interprétation qu'ils en donnent. Celle-ci associe beaucoup plus l'idée d'image à celle de reconnaissance de forme, y compris dans le cas d'une projection cônica, qu'au schéma de KÉPLER. Ceci nous semble remettre en cause l'idée que l'on doit introduire l'imagerie optique par une expérience aussi « faussement simple ». La technologie de l'appareil photographique, celle du projecteur de diapositives sont peut-être plus complexes, mais elles nous semblent beaucoup plus directement instructives quant à ce qu'est une image optique. Si l'on maintient le choix de la chambre noire comme dispositif d'introduction, il nous semble au moins utile de ne pas le faire uniquement sur le mode des « évidences » expérimentales. Le schéma d'analyse ne s'improvise pas.

L'un des arguments invoqués en faveur de la chambre noire est qu'elle fait apparaître, en quelque sorte négativement, le facteur « luminosité » ; l'« image » formée en chambre noire est si faiblement éclairée qu'il faut bien trouver autre chose. Les lentilles entrent alors en scène. Il y aurait là une certaine logique,

si l'aspect luminosité était effectivement partie intégrante des objectifs d'enseignement. Nos résultats, notamment à propos de l'effet d'un cache central accolé sur une lentille, semblent indiquer que cet objectif n'a pas été retenu, ou bien a fait l'objet d'efforts insuffisants ou inefficaces.

Ces résultats donnent une idée des obstacles à surmonter si l'on choisit d'intégrer la notion de flux lumineux dans l'enseignement de l'optique géométrique élémentaire. L'importance des rayons de construction doit être relativisée : d'éléments constitutifs de l'image, ils doivent reprendre le statut d'échantillons commodes. Alors seulement la géométrie des positions d'image cessera d'occuper tout le devant de la scène, et celle des flux d'énergie prendra quelque sens.

Ces deux aspects — géométrie des positions, études des flux énergétiques — ne sont pas, d'emblée, clairement discriminés par les élèves. L'adhérence que nous avons observée — à propos de certaines questions (10 et 11) — entre les notions de luminosité et de netteté le montre bien, et l'on soupçonne évidemment que la physiologie n'y est pas étrangère. On ne peut donc faire l'économie d'un minimum de définition de ces grandeurs. Un certain consensus sur ce qu'est la netteté, et ce que l'on peut en dire aux élèves, reste à trouver.

L'introduction des aspects énergétiques dans l'enseignement de l'optique apparaît donc comme un objectif relativement coûteux. Si l'on considère qu'il est suffisamment important pour être retenu — c'est notre point de vue — il faut accepter d'en payer le prix et donc consacrer à cet aspect du temps, des définitions explicites, des manipulations, des exercices adaptés, cela évidemment au détriment d'exercices plus sophistiqués sur les positions d'images.

Enfin notre travail aborde la question de l'œil et de son insertion dans un système optique imageur. Là encore les résultats peuvent se lire à différents niveaux.

On pourra y trouver l'indication des déficiences dans la compréhension des élèves sur ce point. Mais on voit bien que là encore il y a un choix d'objectif en cause. Décide-t-on d'amener les élèves à une compréhension modeste mais unifiée de l'imagerie optique élémentaire, œil (réduit) compris, ou bien les dresse-t-on à calculer des positions d'images d'un côté, et des focales de verres de lunettes de l'autre ? Il est extrêmement surprenant que ce dernier choix conduise à de réels succès sur un certain nombre d'exercices types tout en laissant tant d'élèves désorientés devant des questions en apparence élémentaires. On en arrive là à un troisième niveau de conclusion, qui s'applique d'ailleurs, en gros, à l'ensemble de nos résultats.

Dans d'autres domaines de la physique, la mécanique ou l'électricité, des études du même type que celle-ci ont fait apparaître des modes de raisonnement d'origine extra-scolaire, « spontanés » pour dire vite, relativement structurés et cohérents. Ces raisonnements se révèlent tenaces et subsistent le plus souvent parallèlement aux acquis proprement scolaires, parfois d'ailleurs renforcés subrepticement par ces derniers. Rien de tel ici. L'impression que l'on retire de cette étude est celle d'une compréhension de l'optique morcelée, marquée de nombreux automatismes d'origine scolaire, et sans doute aussi d'acquis extra-scolaires, ensemble inhomogène de savoir-faire, chacun très adhérent à un type d'exercice. Il faut donc avancer dans le sens d'une meilleure intégration des concepts introduits.

Nous avons évoqué dans cette conclusion des éléments susceptibles d'y contribuer : prise de conscience des difficultés (questionnaires à l'appui), choix d'objectifs pédagogiques bien spécifiés, plus modestes sur certains points (calculs de positions) et plus ambitieux sur d'autres (correspondance objet-image, étude des faisceaux, schématisation plus autonome, compréhension de l'interface œil-système optique inerte), prudence sur la chambre noire... Faut-il terminer sur une évidence qui ne doit rien à notre travail ? L'élément probablement le plus déterminant n'a pas été encore invoqué. Il s'agit du travail pratique. L'optique est un domaine privilégié de confrontation entre une description formelle de système physique et des effets directement accessibles à travers des manipulations simples. L'élève scandalisé par la réponse correcte à la question 5 peut mettre lui-même une pièce sur la lentille de son projecteur de diapositives, et juger de l'effet. C'est ce qui fait de l'optique géométrique élémentaire un domaine potentiellement très formateur — pourvu qu'on l'exploite pour ce qu'il est.

REFERENCES

-
- [1] A. FAWAZ, *Image optique et Vision, Etude exploratoire sur les difficultés des élèves de première au Liban*, Thèse de 3^e cycle, Université Paris VII.
- [2] E. GUESNE, *Lumière et vision des objets*, un exemple de représentation des phénomènes physiques pré-existant à l'enseignement. Proc. of GIRP. G. Delacote (éd.), Taylor and Francis, London 1976.
- [3] B. ANDERSON and Ch. KARRQVIST, *Light and its properties*, EKNA Report n° 8, Univ. of Göteborg, Molndal 1982.
- [4] F. GOLDBERG and L. McDERMOTT, *Common sense knowledge versus formal physics knowledge in geometrical optics*, Univ. of Washington, 1984.
- [5] V. RONCHI, *L'optique science de la vision*, Masson et Cie, Paris 1966.
- [6] E. GUESNE, *Un modèle qualitatif : la formation des images par une lentille convergente*, B.U.P. n° 630, p. 511, 1981.
-