

Optique au collège : le rôle de la lumière dans la formation d'image par une lentille convergente

par Wanda KAMINSKI et Yanna MISTRIOTI
LDSP - Université Denis Diderot - Paris 7

1. INTRODUCTION

Les idées des élèves à propos de la formation d'image par une lentille convergente intéressent les chercheurs didacticiens depuis une vingtaine d'années. Ce sujet fait partie d'un thème plus vaste, à savoir la difficulté à concilier OPTIQUE et VISION (cf. en France¹, les travaux de GUESNE 1984, TIBERGHEN 1980 et 1983, FAWAZ-VIENNOT 1985, KAMINSKI 1986 et 1989, VIENNOT 1996). Les résultats de recherche soulignent des contradictions entre les raisonnements des élèves (leurs conceptions, leur logique issue des mécanismes du sens commun) et les lois de la physique. Certaines propositions pédagogiques, suggérées par ces résultats, ont inspiré les programmes de la classe de quatrième de 1992.

En effet, les programmes de 1985 déclarent des objectifs très généraux, par exemple : *«créer progressivement chez l'élève une attitude scientifique en lui faisant prendre conscience des exigences de rigueur que nécessite la recherche»* ; le chapitre OPTIQUE ne contient pas d'objectifs propres. En revanche, dans les programmes de 1992, parmi les objectifs spécifiques au thème «Images et vision», nous souhaitons citer les deux suivants : *«Il (ce thème) permet la mise en œuvre de raisonnements rigoureux fondés sur quelques règles simples». (...) «On attend de cet enseignement (...) qu'il conduise les élèves à comprendre que la validité des lois, dans leur domaine d'application, n'est pas fluctuante selon les situations rencontrées».*

La question que nous nous sommes posée concerne donc la mise en œuvre des raisonnements des élèves du collège, fondés sur les lois fondamentales de l'optique, dans des situations où ces lois s'expriment avec des mots et non des formules. Dans les

1. cf. également l'article de GALILI 2000 [9] pour une synthèse des résultats, concernant une vingtaine d'études sur les difficultés en optique dans différents pays.

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

réponses des élèves, et, surtout, dans les explications qui les accompagnent, nous avons étudié l'argumentation pour vérifier si elle était liée à ces lois.

L'étude que nous présentons ici porte sur les élèves de collège ayant reçu un enseignement d'optique selon les programmes de 1985 et de 1992. Notre objectif est d'explorer les difficultés liées à l'optique géométrique à ce niveau². Nous préciserons les moyens (des tâches proposées aux élèves) permettant de connaître leurs représentations du concept d'image réelle donnée par une lentille convergente. Nous examinerons ensuite si les programmes de 1992 modifient ou non ces représentations par rapport aux résultats de recherche sur la population ayant reçu un enseignement d'optique avant 1992.

Les échantillons d'élèves qui ont répondu aux différentes questions de cette étude sont :

- des élèves ayant reçu un enseignement d'optique selon les programmes de 1985 (la dernière année avant la réforme) ; leurs effectifs, notés dans cet article N_{1985} , sont relativement faibles, entre 24 et 106, selon les questions ;
- des élèves ayant reçu un enseignement d'optique selon les programmes de 1992 (la première et deuxième année après la réforme) ; leurs effectifs, notés dans cet article N_{1992} , sont plus importants, entre 93 et 196, selon les questions.

Le contenu des programmes actuels de physique-chimie en classe de troisième, parus en 1998, ne limite en rien la portée de cette investigation. La partie «Lumières et images» prévoit une analyse de la formation d'image par une lentille, et nous pouvons penser que les problèmes rencontrés cette année par les élèves de collège seront de même nature que ceux qui ont «résisté» à l'enseignement jusqu'à aujourd'hui.

Rappelons d'abord les éléments conceptuels de base visés par notre enquête.

2. SITUATIONS DE RÉFÉRENCE

2.1. Comment l'œil localise-t-il un objet ou une image ?

«Pour être vu, un objet doit envoyer de la lumière dans l'œil» dit une des règles données aux élèves pour qu'ils l'exploitent à travers de nombreuses activités, y compris à travers l'étude expérimentale de la formation d'image par une lentille. Pour les aider à

2. Ce travail fait partie d'une investigation beaucoup plus vaste, portant sur différents aspects du concept de la lumière et de la vision [2], de la formation d'ombre et pénombre, et de la formation d'image.

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

mieux comprendre cette règle, sur certains schémas reproduits dans les manuels, cette «*lumière*» est représentée parfois par un rayon issu de l'objet et arrivant dans l'œil. Or, un seul rayon issu d'un point-objet ne permet pas à l'œil³ de savoir où se trouve ce point-objet (cf. figure 1). L'œil peut évaluer les distances à partir de l'effort d'accommodation : une légère accommodation permet de localiser des objets plus lointains, une accommodation forte est nécessaire pour voir un objet proche. Cet effort d'accommodation est en relation avec la divergence d'un pinceau lumineux reçu par l'œil ; l'angle au sommet de ce pinceau augmente quand le point-objet s'approche de l'œil.

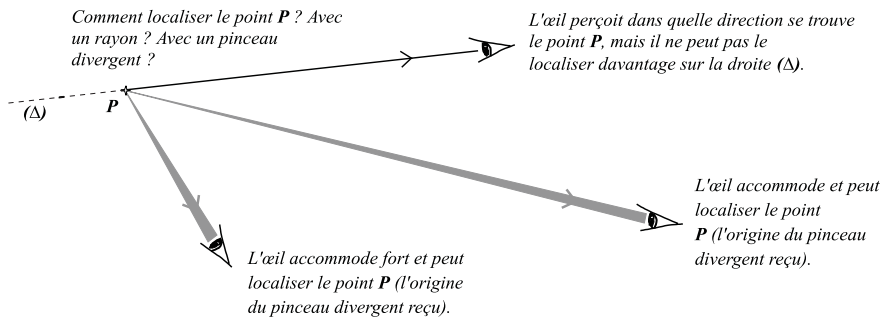


Figure 1 : Schéma pour expliquer la localisation d'un point-objet grâce au pinceau divergent issu de ce point et arrivant dans l'œil.

Pour voir un objet, l'œil doit se trouver au-delà d'une distance minimale correspondant à un effort d'accommodation maximal. Cela semble évident quand il s'agit d'objets ; personne n'aura l'idée de placer son œil sur l'objet regardé. En revanche, quand on souhaite observer une image sans écran, la «bonne» position de l'œil par rapport à celle de l'image est loin d'être évidente, et de nombreux élèves s'attendent à bien voir l'image à condition de mettre l'œil dessus. Or, l'œil voit un point-image selon le même mécanisme que celui de la vision d'un point-objet : il reçoit un pinceau divergent issu de ce point-image et, d'après l'effort d'accommodation, localise son origine (cf. figure 2a).

3. «Œil», «l'œil voit», «l'œil évalue les distances», etc., sont ici des raccourcis de langage. En effet, le phénomène de la vision met en œuvre tout le système visuel dont l'œil n'est qu'une partie.

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

Pour tracer le schéma de la figure 2a, nous avons utilisé deux règles en plus de celle exprimant la nécessité de recevoir de la lumière issue d'un objet pour le voir :

- la lumière va en ligne droite entre le point-objet et la lentille, puis entre la lentille et l'œil ;
- tout rayon issu d'un point-objet et ayant traversé la lentille passe par son point-image.

Les programmes du collège ne donnent pas aux élèves les moyens de prévoir comment la lentille modifie la direction de propagation rectiligne de la lumière qui la traverse, mais les activités expérimentales proposées (par les textes de 1992 et 1998) permettent de le constater par l'observation. Ainsi, pour voir, **sans écran**, l'image P' du point P de la figure 2a l'œil doit se trouver dans la zone hachurée.

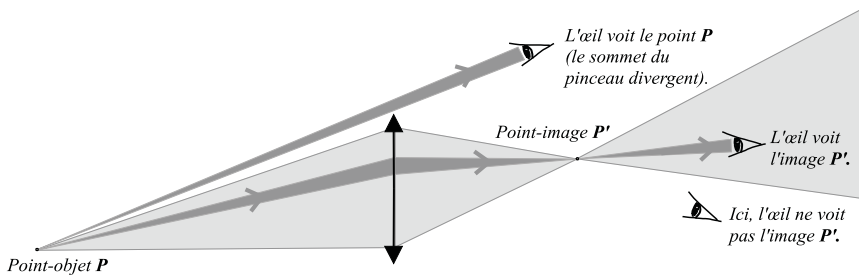


Figure 2a : Schéma pour expliquer la localisation d'un point-image **sans écran** grâce au pinceau divergent issu de ce point et arrivant dans l'œil. Pour voir le point P' , l'œil doit être « bien placé ».

Quand l'image est formée sur un écran, la situation se complique un peu (cf. figure 2b). En effet, la propagation rectiligne de la lumière se fait en trois segments : entre l'objet et la lentille, entre la lentille et l'image sur l'écran, puis entre l'écran et l'œil. Comme l'écran diffuse la lumière dans toutes les directions, beaucoup d'yeux peuvent regarder simultanément une seule image et il n'y a pas de zone « privilégiée » pour l'observer.

2.2. Que voit-on sur l'écran quand on a retiré la lentille ?

Imaginons qu'au départ un point-objet P envoie de la lumière dans toutes les directions. Une partie de cette lumière traverse une lentille et donne, sur l'écran, l'image P' du point P . Une autre partie de cette lumière arrive sur l'écran sans passer par la lentille (au-dessus, à côté, etc.). L'écran diffuse toute la lumière reçue, ce qui permet aux diffé-

 COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

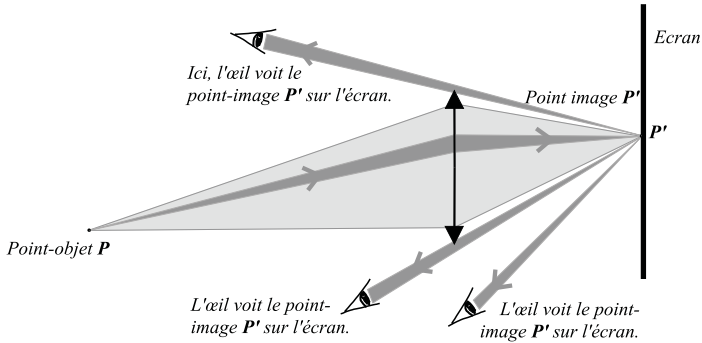


Figure 2b : Schéma pour expliquer la localisation d'un point-image sur l'écran grâce au pinceau divergent issu de ce point et arrivant dans l'œil. Ici, trois observateurs voient le même point P' .

rents observateurs de voir l'image P' (très lumineuse) d'une part et l'aire éclairée (faiblement) d'autre part (cf. figure 3a). En effet, l'image P' du point P attire l'attention, la zone sombre autour de l'image est relativement grande, et on remarque à peine l'aire faiblement éclairée autour d'elle.

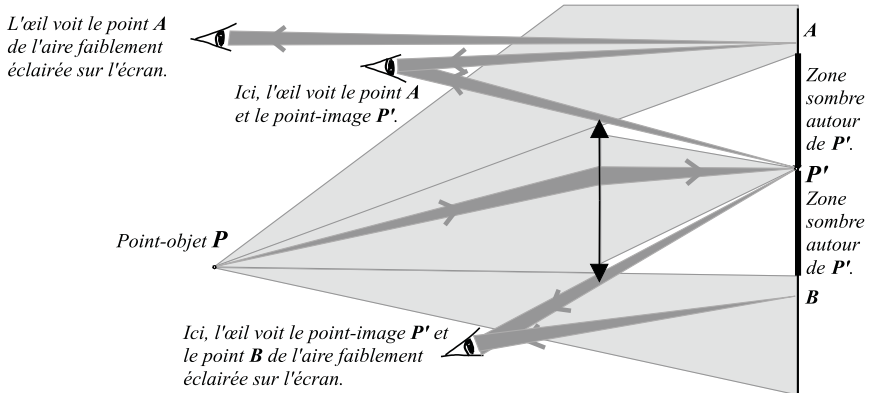


Figure 3a : Schéma pour expliquer ce que l'on voit sur l'écran quand la lentille est là.

En revanche, quand la lentille est retirée, la lumière issue du point-objet P éclaire uniformément (ou presque) et toujours faiblement toute la surface de l'écran (cf. figure 3b).

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

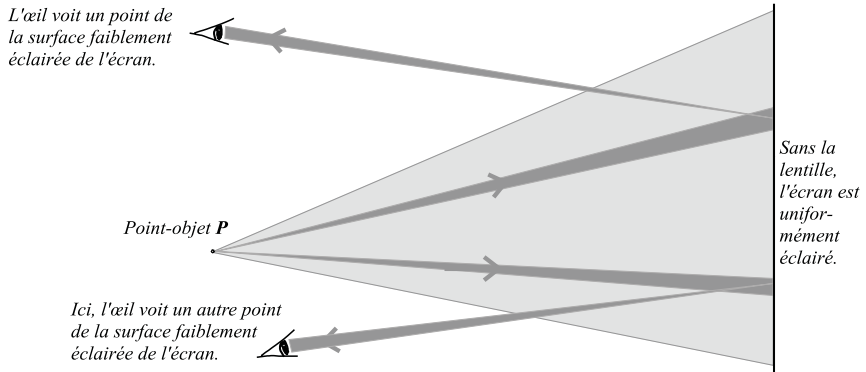


Figure 3b : Schéma pour expliquer ce qui se passe sur l'écran quand la lentille est retirée.

Un phénomène intéressant se produit quand on retire la lentille de son cadre en laissant ce dernier en place. Sans la lentille, et grâce à son cadre, la lumière issue de l'objet produit sur l'écran un disque clair, entouré de l'ombre du cadre sur un fond éclairé comme auparavant.

Un écran éclairé uniformément par un point lumineux (ou par un objet lumineux étendu), ou bien un écran avec l'ombre d'un obstacle (par exemple : d'un cadre vide) ne présentent aucune difficulté d'interprétation en terme de propagation rectiligne de la lumière. Et pourtant, quand on propose de prévoir ce qui se passera sur l'écran si l'on enlève la lentille, un grand nombre d'élèves pensent y voir une image⁴ non inversée.

2.3. Qu'est-ce qui change sur l'écran quand une partie de la lentille est cachée ?

Proposer aux élèves de cacher une partie de la lentille est un moyen efficace pour mettre en évidence des raisonnements spontanés qui ne s'appuient guère sur les lois fondamentales de l'optique⁵. Pourtant, pour analyser de telles situations, les trois règles énoncées plus haut (vision, propagation rectiligne, correspondance objet-image), complétées par des activités expérimentales, sont suffisantes.

4. cf. [5-6-8-9-10-11-14- 22].

5. Les élèves prévoient des images «coupées», comme si l'image se détachait de l'objet déjà formée pour aller dans la direction de l'écran, le cache sur la lentille ne permettant pas qu'elle «passe» entièrement à travers (mêmes références).

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

En effet, si «*chaque rayon issu d'un point-objet passe par le point-image correspondant*», alors un cache sur la surface de la lentille produit une diminution de la luminosité de l'image, mais ne peut pas en «couper» une partie. Une moitié de la lentille (non cachée) forme toujours une image entière, même si elle devient deux fois plus sombre. Le centre de la lentille caché ne provoque point de «trou» au centre de l'image, etc.

3. L'IMAGE RÉELLE, PEUT-ELLE ÊTRE VUE SANS ÉCRAN ?

3.1. Présentation des questions de l'enquête et éléments de réponses souhaitées

Les deux premières questions portent sur la nécessité (ou non) d'un écran pour voir une image réelle formée par une lentille. Nous avons proposé ces questions dans un même questionnaire afin de pouvoir confronter les deux réponses d'un même élève.

La première question (*Marie...*), fait appel à une situation «extrascolaire». Cette question est difficile *a priori*, parce qu'il s'agit de juger «correcte» ou «incorrecte» une affirmation abstraite.

Énoncé de la question : Marie...

Marie déclare : «Une image réelle pour être vue, doit absolument être recueillie sur un écran ou une pellicule photographique». Cette affirmation vous paraît-elle correcte ou incorrecte ?

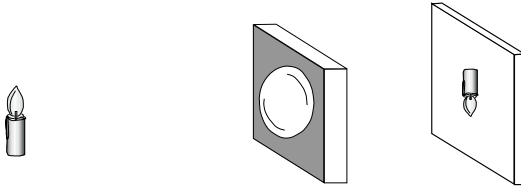
Expliquez votre réponse.

La seconde question (*Écran retiré*), a pour point de départ une situation que les élèves ont pu rencontrer au cours d'une séance de travaux pratiques. Elle est donc, *a priori*, plus facile.

 COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

Énoncé de la question : Écran retiré

Soit une bougie, une lentille sur son support et un écran sur lequel on observe l'image de la bougie donnée par la lentille.



On retire l'écran. Choisissez votre réponse et expliquez-la.

- On peut voir l'image en étant bien placé.
- On peut voir l'image de n'importe où.
- On ne peut plus du tout voir l'image.
- Autre.

Marie a tort : si elle place son œil là où il peut recevoir un pinceau divergent issu de chaque point de l'image (cf. figure 2a) elle verra cette image **sans écran**. Pour cela, Marie doit «être bien placée», comme dirait la proposition **a**) de la question «Écran retiré». Dans l'explication des élèves, nous souhaitons trouver des arguments s'appuyant sur le rôle de la lumière dans la formation d'image et dans la vision.

Les réponses correctes à ces deux questions supposent donc que les élèves aient assimilé les trois règles d'optique élémentaire concernant la **vision** (grâce à la lumière reçue par l'œil), la **propagation rectiligne** et la **correspondance objet - image** (cf. «Situations de référence» ci-dessus). Les élèves ayant reçu un enseignement d'optique selon les programmes de 1985 n'ont sans doute pas rencontré ces règles au cours de leur travail en classe. En revanche, les programmes de 1992 sont explicitement articulés autour de ces règles.

Cependant, une autre différence entre les deux programmes semble importante dans l'analyse de ce couple de questions :

- dans les programmes de 1985, l'étude de la vision n'est pas prévue ;
- dans les programmes de 1992, en analysant les conditions nécessaires pour voir des objets, les élèves ont à expliquer la «visibilité» de la lumière en milieu diffusant.

COLLÈGE : ATOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : ATOUR D'UN THÈME

Nous nous sommes donc interrogés sur ce qui pour un élève (1992) peut apparaître comme paradoxe : la nécessité du milieu matériel pour voir un faisceau lumineux, et la possibilité de voir une image sans aucun support matériel.

3.2. Résultats

3.2.1. Question : *Marie...*

Un premier type de résultats est rassemblé dans le tableau 1. Il s'agit de choix fait par les élèves parmi les propositions de l'énoncé.

<i>Marie...</i>	Programmes 1985 : N ₁₉₈₅ = 24			
	<i>... a raison</i>	<i>... a tort</i>	Sans réponse	Total
Justifiée	29 %	46 %	–	75 %
Non justifiée	4 %	4 %	–	8 %
Total	33 %	50 %	17 %	100 %
	Programmes 1992 : N ₁₉₉₂ = 93			
Justifiée	26 %	47 %	–	73 %
Non justifiée	4 %	4 %	–	8 %
Total	30 %	51 %	19 %	100 %

Tableau 1 : Pourcentages des réponses (des choix) à la question *Marie...*

Le choix souhaité est : *Marie a tort* (en caractères gras).

Ces résultats montrent déjà que la question est difficile pour les élèves : seulement une moitié d'entre eux fait le choix souhaité. Il est tentant de penser que les élèves ayant répondu que Marie a tort ont compris qu'une image réelle peut être vue en direct avec l'œil si celui-ci reçoit de la lumière issue de cette image.

En analysant les explications fournies par les élèves, nous constatons cependant que ceux qui répondent «elle a tort» donnent souvent des justifications de même nature que ceux qui répondent «elle a raison». En effet, les premiers déclarent que c'est «*l'œil qui voit l'image*» (1992) et les autres que «*notre œil est lui-même constitué d'un écran*» (1985). Ou bien, les premiers expliquent que l'on peut voir l'image «*sur d'autres supports*» (1992) et les autres écrivent que «*si l'image n'est pas arrêtée par un écran la lumière qui permet de voir l'image ne s'arrête pas sur une surface, on peut pas la voir*». (1992).

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

L'analyse des justifications ne permettant pas de différencier les élèves, nous avons cherché s'ils utilisaient certains mots «clés» qui n'était pas employés dans le texte de la question, tel que «*lumière*» («*rayons*») et «*œil*» (dans le rôle d'un récepteur, ou bien, dans le rôle d'un écran), ainsi que le mot «*écran*» qui, bien que présent dans l'énoncé, joue un rôle important dans les idées des élèves qui nous intéressent ici. Nous avons donc ajouté, dans le tableau 2, les pourcentages d'apparition d'un «écran secondaire», à savoir «*une surface*» (ou même l'œil) dans le rôle de l'écran.

Tous les pourcentages qui figurent dans le tableau 2 ont été calculés par rapport aux nombres d'élèves ayant donné une réponse justifiée (correcte ou non).

Question Marie... : expressions avec des mots clés	N₁₉₈₅(justif) = 18	N₁₉₉₂(justif) = 68
« <i>La lumière est reçue par l'œil</i> » donc on voit l'image	–	6 %
« <i>La lumière s'arrête sur l'écran</i> » donc on voit l'image	16 %	13 %
Œil ≠ écran	11 %	23 %
Une surface (un support, l'œil...) dans le rôle de l'écran	39 %	26 %

Tableau 2 : Présence de mots clés dans les explications des élèves.

L'explication souhaitée est en caractères gras. L'analyse statistique montre que, compte tenu de la taille des deux populations, les différences entre elles ne sont pas significatives.

On remarque que le mot «*lumière*» apparaît dans deux lignes du tableau 2. Dans l'échantillon d'élèves (1985), nous n'avons pas trouvé d'explications reliant l'arrivée de la lumière dans l'œil au phénomène de la vision. En revanche, quelques élèves (1992) ont clairement exprimé ce lien : «*Lorsqu'il y a un arbre dans un jardin, même sans écran, on le voit. Il faut seulement qu'une source de lumière éclaire l'objet en question, et que celle-ci soit reçue par notre œil*» (1992).

Dans la deuxième ligne sont classés les pourcentages des élèves selon lesquels, pour voir l'image, «*il faut avoir un écran pour arrêter la lumière sinon elle continue dans sa direction*» (1992). Ces pourcentages sont similaires dans les deux échantillons.

La troisième ligne du tableau 2 (œil ≠ écran) contient les taux de commentaires des élèves qui écrivent que «*l'œil voit l'image*» (sans mentionner l'intervention de la lumière), mais pour qui l'œil ne semble pas remplacer l'écran.

Dans la dernière ligne du tableau 2, on trouve les taux de réponses où les élèves affirment la nécessité d'un objet («*une surface*», «*un plan*», «*un mur*», «*de l'eau*», «*l'œil*...») jouant le rôle de l'écran afin d'obtenir une image.

COLLÈGE : ATOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : ATOUR D'UN THÈME

Plus généralement, nous pouvons déjà remarquer que le mot «*lumière*» est employé dans les explications «correctes» mais aussi dans les explications où l'écran paraît nécessaire pour observer l'image. Dans ce dernier cas «*la lumière s'arrête sur l'écran*» et on ne sait pas comment l'observateur voit l'image (il n'y a aucun lien explicite entre l'écran et l'œil). D'autres objets sont cités dans le rôle de l'écran et, pour beaucoup d'élèves, une image ne peut pas être vue sans un support matériel.

En conclusion, d'après l'analyse statistique des explications, nous ne pouvons constater de différences significatives entre les deux échantillons. Les taux d'utilisation de différents mots clés sont relativement similaires entre les élèves (1985) et les élèves (1992).

3.2.2. Question : *Écran retiré*

Dans cette question, comme dans la précédente, on demande aux élèves si l'image, formée par une lentille, peut être vue sans écran. Cependant, contrairement au cas précédent, l'énoncé fait appel à une situation concrète, illustrée par un schéma. Les quatre propositions de réponse peuvent aider l'élève à imaginer ce qu'il verrait devant un tel montage. La demande d'expliquer la réponse devrait permettre de savoir de quelle façon les élèves justifient leur choix.

Les propositions de réponses et notre interprétation *a priori* liée à chacune d'elles sont rassemblées dans le tableau 3.

Propositions de l'énoncé (Q. <i>Écran retiré</i>)	Interprétation <i>a priori</i>
a. On peut voir l'image en étant bien placé	Si l'œil reçoit la lumière issue de l'image alors on peut la voir
b. On peut voir l'image de n'importe où	L'image est visible (avec des justifications diverses)
c. On ne peut plus du tout voir l'image	Il n'y a pas d'image sans écran
d. Autre	Autre

Tableau 3 : Quatre propositions de l'énoncé de la question *Écran retiré* et les catégories d'interprétation associées. La réponse souhaitée correspond à la proposition a.

Le premier dépouillement a montré que, parfois, le choix de l'élève ne s'accordait pas avec les explications qui l'accompagnaient, par exemple : a. «*On ne la voit plus puisqu'on a enlevé le support*» (1992). Nous n'avons donc analysé que les explications

COLLÈGE : ATOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : ATOUR D'UN THÈME

données par les élèves (cf. tableau 4). Les pourcentages ont été calculés par rapport au nombre de réponses justifiées.

Question : <i>Écran retiré</i>	N ₁₉₈₅ (justifiées) = 19	N ₁₉₉₂ (justifiées) = 75
L'œil reçoit la lumière issue de l'image	-	3%
L'image est visible sans écran (justif. diverses)	16%	53%
Sans écran, pas d'image	53%	33%
Autre	31%	11%

Tableau 4 : Quatre types d'explications accompagnant les réponses des élèves. L'explication souhaitée est en caractères gras. Les différences entre les deux populations sont statistiquement significatives.

Les réponses évoquant des images vues grâce à la lumière reçue par l'œil sont décomptées dans la première ligne du tableau 4. Elles correspondent aux explications fournies par seulement deux élèves (1992). Celles mentionnant des images visibles, si l'observateur est bien placé, sont classées dans la deuxième ligne du tableau 4 : «*On peut voir l'image dans l'axe de la projection*» (1992).

La troisième ligne du tableau 4 concerne les explications déclarant qu'il n'y a pas d'image sans écran : «*Car sans écran elle ne peut se refléter sur rien donc la lumière se propage jusqu'à ce qu'elle soit arrêtée par quelque chose*» (1985).

Il y a quelques différences entre les élèves (1985) et les élèves (1992) qui apparaissent dans le tableau 4. La majorité d'élèves (1985) donne des explications classées sur la troisième ligne : un écran est nécessaire pour obtenir une image. En revanche, la majorité d'élèves (1992) déclare qu'une image peut être vue sans écran.

Nous allons voir si ces différences se confirment quand on analyse simultanément les réponses des élèves aux deux questions portant sur le rôle de l'écran.

3.2.3. Confrontation des réponses aux deux questions (*Marie... et Écran retiré*)

Nous avons confronté, pour chaque élève, les deux réponses et les commentaires qui les accompagnent. Nous l'avons fait pour tous les élèves qui ont donné des réponses justifiées aux deux questions à la fois. Les résultats de cette confrontation sont présentés dans le tableau 5. Pour chaque question, nous avons classé les commentaires des élèves en deux catégories. Pour la question *Marie...*, la catégorie «correcte» correspond à

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

l'affirmation que l'image peut être vue sans écran. Pour la question *Écran retiré*, elle est équivalente au choix **a** (on peut voir l'image en étant bien placé). L'autre catégorie rassemble toutes les explications où les élèves déclarent qu'un écran est nécessaire pour voir l'image (ou que l'on ne peut plus du tout voir l'image si l'écran est retiré). Nous y avons classé également tous les écrans «de remplacement», c'est-à-dire, «une surface», «l'œil à la place de l'écran», etc.

<i>Ecran retiré</i>	<i>Marie...</i>		Image vue sans écran		Ecran nécessaire (œil = écran)		Autre	
	1985	1992	1985	1992	1985	1992	1985	1992
On peut voir l'image en étant bien placé	–	21 %	25 %	25 %	–	6 %	–	6 %
Écran nécessaire (surface = écran, œil à la place de l'écran)	–	4 %	44 %	16 %	19 %	7 %	–	–
Autre	–	6 %	6 %	10 %	6 %	5 %	–	–

Tableau 5 : Pourcentages des commentaires des élèves qui ont donné des réponses justifiées aux questions *Marie...* et *Écran retiré*. $N_{1985}(\text{justif}) = 16$, $N_{1992}(\text{justif}) = 68$.

Les justifications correctes et cohérentes sont présentées en caractères gras.

Les justifications cohérentes se trouvent sur un fond gris. Les différences entre les deux populations sont statistiquement significatives.

3.2.4. Les réponses aux deux questions sont-elles cohérentes ?

On remarque que les trois cases grises qui se trouvent sur la diagonale du tableau 5 donnent les taux d'élèves qui ont proposé le même type de réponse aux deux questions. La première case exprime la cohérence des réponses souhaitées, c'est-à-dire : on peut voir l'image sans écran. Les justifications font penser plutôt à des témoignages sur ce que l'élève a vu, qu'à des argumentations fondées sur des lois. Voici les réponses d'un élève qui rapporte ses souvenirs de TP (1992) :

«C'est une image réelle. On peut la voir quand même». (Marie...)

«On peut la voir sur la lentille». (Écran retiré)

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

La deuxième case grise du tableau 5 exprime la cohérence des réponses incorrectes, c'est-à-dire : on ne peut pas voir l'image sans écran. Voici les réponses d'un élève (1985) :

«Si l'image n'est pas arrêtée par un écran quel qu'il soit, la lumière qui permet de voir l'image ne s'arrête pas sur une surface, donc on ne peut pas la voir»
(Marie...)

«Car sans écran elle (l'image) ne peut se refléter sur rien donc la lumière se propage jusqu'à ce qu'elle soit arrêtée par quelque chose.»
(Écran retiré)

La troisième case grise rassemble les autres réponses, c'est-à-dire celles où les élèves n'ont mentionné ni la nécessité d'un écran, ni le besoin de l'œil, pour voir une image réelle, et ceci pour n'importe quel choix parmi les propositions des énoncés.

Comparant les pourcentages des élèves (1985) et (1992) classés dans les cases grises du tableau 5, on remarque des différences pour les deux catégories : celle qui représente les justifications correctes accompagnant les deux réponses à la fois (première case grise) et celle qui représente l'impossibilité de voir une image sans écran dans les deux situations (deuxième case grise). Seules les réponses des élèves (1992) apparaissent dans la catégorie «correcte» et leur taux est moins élevé dans la catégorie «écran nécessaire». Ces résultats indiquent que le changement de programme d'optique au collège a provoqué une amélioration à ce niveau.

Dans les autres cases du tableau 5 (c'est-à-dire, dans les cases «blanches»), nous avons classé les réponses des élèves qui se sont trouvées dans des catégories différentes pour les deux questions. Les pourcentages de réponses contradictoires (cases blanches) aux deux questions, c'est-à-dire, les réponses classées dans des catégories différentes, comme si, par exemple, l'élève pensait que l'écran est nécessaire ou non selon la question à laquelle il répondait, ne montrent pas de différences significatives entre les deux populations. La moitié d'élèves, environ, donne des réponses contradictoires.

3.3. Conclusion sur le rôle de l'écran et sur la vision

Nous souhaitons commencer par une critique des énoncés de ces deux questions.

- La question *Marie...* est abstraite : le mot «écran» employé dans le texte de la question ne désigne pas un écran-objet (par exemple, un écran dans le laboratoire de sciences physiques ou dans une salle de cinéma), c'est plutôt un écran-notion de l'optique géométrique. Pour des élèves de quatrième, ceci peut constituer un obs-

COLLÈGE : ATOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : ATOUR D'UN THÈME

tacle. La situation physique à laquelle on fait appel n'est pas claire : on ne sait pas s'il s'agit de l'appareil photo ou d'un autre (lequel ?) système optique qui a formé l'image. Le choix de réponses est trop réduit (affirmation correcte / incorrecte), ce qui rend l'exploitation des résultats difficile.

- L'énoncé de la question *Écran retiré* fait appel à une situation concrète, illustrée par une figure qui représente le montage proposé. Le choix de réponses proposé aux élèves est lié à nos interprétations *a priori*. Ceci rend l'analyse des réponses plus facile.

Nous avons observé que pour comparer les résultats des élèves (1985) avec ceux des élèves (1992), il ne fallait pas se contenter d'analyser les réponses seules. En revanche, en étudiant les explications qui accompagnent les réponses, nous pouvons mieux voir s'il y a une évolution liée au changement des programmes :

- pour la question «difficile» (*Marie...*), cette évolution n'est pas statistiquement significative ;
- pour la question «facile» (*Écran retiré*), l'analyse montre que l'évolution concerne le taux de prévisions (correctes) de l'image visible sans écran (en forte augmentation), et le taux de jugements «sans écran, pas d'image» qui diminue.

Nous avons confronté les explications données par un même élève, aux deux questions proposées, pour savoir si ces explications étaient cohérentes. Nous nous attendions⁶ à trouver deux catégories de telles réponses : les réponses correctes et les réponses dans lesquelles se manifeste l'obstacle visé (l'écran est nécessaire pour voir l'image). Pour ces deux catégories de réponses cohérentes, les différences entre les élèves (1985) et (1992) sont importantes :

- nous n'avons pas trouvé d'explications correctes aux deux questions à la fois dans l'échantillon des élèves (1985). En revanche, les élèves (1992) donnent de telles explications (un élève sur cinq dans la population étudiée) ;
- les élèves (1992) sont moins nombreux, en proportion non négligeable, à affirmer que l'écran est nécessaire pour voir une image formée par la lentille.

Malgré cette amélioration, nous avons noté qu'il n'y a pas beaucoup d'élèves (1992) qui expliquent la vision de l'image par l'arrivée de la lumière dans l'œil de l'observateur (5 % environ). Ceux qui font deux choix corrects semblent plutôt se souvenir de la possibilité d'observer une image sans écran, mais ne l'interprètent guère. En revanche, les élèves (1992) justifient parfois l'impossibilité de voir l'image en raisonnant sur la lumière, comme dans l'exemple suivant : «*Car il n'y a plus de source secon-*
6. cf. [3] pour l'analyse de cohérence des raisonnements en hydrodynamique.

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

daire de lumière pour diffuser la lumière jusqu'à notre œil». Nous pensons que les conditions de visibilité d'une image optique «non matérielle» peuvent être difficiles à assimiler pour ces élèves qui ont fait des efforts pour comprendre pourquoi, dans certaines conditions, on voit des faisceaux de lumière matérialisés.

4. L'IMAGE RÉELLE, PEUT-ELLE ÊTRE VUE SANS LA LENTILLE ?

4.1. Construction de la question

Un autre thème étudié ici est celui du rôle de la lentille convergente dans la formation d'image. Nous avons voulu savoir dans quelle mesure la nécessité d'un système optique pour la formation d'une image était ressentie par les élèves du collège. Nous avons ainsi posé une question qui est identique à celle qui a été déjà posée d'abord, en 1984, par GOLDBERG et McDERMOTT aux étudiants américains et, ensuite, en 1985, par FAWAZ aux lycéens au Liban, par KAMINSKI (entre 1986 et 1989) aux échantillons d'élèves, d'étudiants et de professeurs du secondaire en France. Les résultats ont montré que, dans toutes les populations interrogées, une moitié de réponses environ correspondait à une conception «d'image voyageuse». Cette image existerait indépendamment de la lentille et pourrait aller sur l'écran sans être inversée (la lentille servant plutôt à inverser l'image qu'à la former). Selon cette conception, la propagation rectiligne concernerait le «voyage» de cette image, tout droit vers l'écran, plutôt que la marche de la lumière issue de chaque point de l'objet et allant dans toutes les directions, comme le prévoit l'optique géométrique.

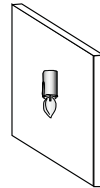
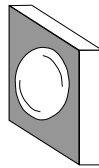
Dans notre étude ce sont des élèves de collège qui ont répondu à cette question et, en particulier, les élèves (1992) de la classe de quatrième.

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

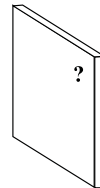
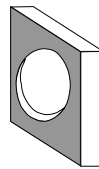
4.2. Présentation de la question et éléments de la réponse souhaitée

L'énoncé de la question *Lentille retirée* est le suivant :

Soit une bougie, une lentille sur son support et un écran sur lequel on observe l'image de la bougie donnée par la lentille.



On retire la lentille de son support.



Que voit-on sur l'écran ? Expliquez votre réponse

La réponse correcte à cette question suppose que les élèves aient assimilé les trois règles (concernant la vision, la propagation rectiligne et la correspondance objet-image) que nous avons exposées dans la partie «Situations de référence». Le schéma sur la figure 4 présente une interprétation de ce qui se passe sur l'écran, adaptée à ce cas.

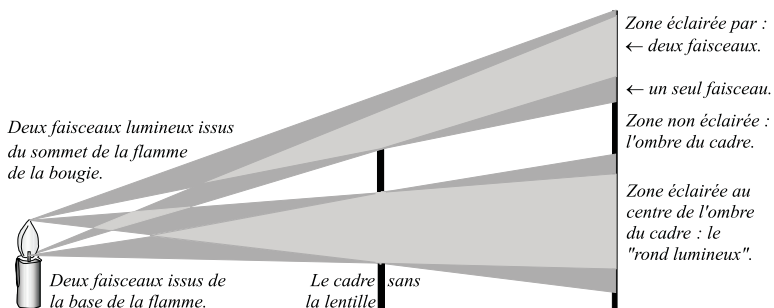


Figure 4 : Schéma interprétant la réponse correcte
 «Image disparaît et sur l'écran on voit l'ombre du support de la lentille retirée»
 (ou : «un rond lumineux»).

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

En présence de la lentille, la bougie joue le rôle d'objet dont l'image se forme sur l'écran. En absence de la lentille, la bougie redevient une source de lumière et l'envoi dans toutes les directions. La partie de la lumière qui ne se heurte pas à l'obstacle (dans ce cas, le support de la lentille) arrive sur l'écran et l'éclaire. Une autre partie de la lumière, qui tombe sur le support de la lentille, n'arrive pas sur l'écran et donc, on peut y voir l'ombre du support.

4.3. Résultats : Explications accompagnant les réponses

Un premier dépouillement des réponses des élèves à la question «lentille retirée» est présenté dans le tableau 6. Nous avons classé les résultats en deux catégories :

- l'élève prévoit la disparition de l'image ;
- l'élève prévoit l'existence de l'image (à l'endroit) ou «*la bougie sur l'écran*».

Les taux des réponses des élèves (*cf.* tableau 6) qui ont prévu de voir l'image sur l'écran, aussi bien pour les élèves (1985) que pour les élèves (1992) de notre étude, sont très proches des résultats (une moitié environ de personnes interrogées) obtenus dans les études citées plus haut.

Question <i>Lentille retirée</i>	On ne voit pas l'image	On voit l'image («on voit la bougie»)	Sans réponse	Total
N ₁₉₈₅ = 32	40 %	50 %	10 %	100 %
N ₁₉₉₂ = 108	51 %	44 %	5 %	100 %

Tableau 6 : Résultats du premier dépouillement des réponses à la question *Lentille retirée*.

Les pourcentages correspondant à la réponse souhaitée sont en caractères gras.

L'analyse statistique montre que les différences entre les deux populations ne sont pas significatives.

Pour pouvoir interpréter les réponses, nous avons étudié les justifications et les explications données par les élèves. Pour avoir plus d'information sur leurs raisonnements, nous avons construit les tableaux 7a et 7b.

Dans le tableau 7a, nous avons analysé les réponses des élèves correspondant à la seule catégorie «**on ne voit pas l'image**» du tableau 6, ce qui nous a conduit à définir quatre catégories.

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

Question	On ne voit pas l'image, mais on voit...				Total
	Un rond lumineux ou l'ombre du support	De la lumière, leur	Rien	Autre	
<i>Lentille retirée</i>					
N₁₉₈₅ = 32	3 %	3 %	31 %	3 %	40 %
N₁₉₉₂ = 108	18 %	9 %	22 %	2 %	51 %

Tableau 7a : Pourcentages d'explications accompagnant les réponses classées dans la catégorie «On ne voit pas l'image». Les taux correspondant à l'explication souhaitée sont en caractères gras. Les différences entre les deux populations sont statistiquement significatives.

Parmi les explications accompagnant les réponses des élèves classées dans la catégorie «on voit un rond lumineux...» nous avons trouvé les réponses correctes à cette question : *«On verra l'ombre du support de la lentille car la bougie est une source de lumière. Elle éclaire totalement le support de la lentille et même le contour, donc sur l'écran il y aura l'ombre portée du support de la lentille, mais pas entièrement nette»*. (1992). Ce commentaire de l'élève exprime clairement le changement du rôle de la bougie en présence de la lentille (bougie - objet) et en absence de la lentille (bougie - source de l'éclairage pouvant produire des ombres).

Les explications des réponses classées dans la catégorie «on voit de la lumière...», sont moins précises que les précédentes, mais elles contiennent des idées correctes. *«La lentille permet de refléter l'image sur l'écran. Si on l'enlève il n'y aura plus qu'une leur pâle provenant de la bougie»* (1992). Dans ces réponses, quand la lentille est enlevée du montage, la bougie devient une source lumineuse qui envoie de la lumière sur l'écran.

Parmi les exemples d'explications accompagnant les réponses classées dans la catégorie «on ne voit rien» du tableau 7a, citons, à titre d'illustration, celle-ci : *«Rien, parce que c'est la lentille qui projetait l'image renversée sur l'écran. Donc sans lentille il n'y a plus de projection»* (1985). Nous souhaitons souligner que les élèves qui ont donné ces réponses ont bien associé l'absence de la lentille à l'absence de l'image.

Dans le tableau 7b, nous avons analysé les réponses des élèves correspondant à la seule catégorie «on voit l'image» du tableau 6 et trouvé deux catégories. La première catégorie contient les réponses où les élèves prévoient *«la bougie à l'endroit»* ou *«l'image de la bougie à l'endroit»*. La deuxième contient une seule réponse où l'élève prévoit *«la bougie inversée»*, identique à celle vue quand la lentille faisait partie du montage.

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

Question	On voit l'image («on voit la bougie»)...		Total
	A l'endroit	Inversée	
<i>Lentille retirée</i>			
N ₁₉₈₅ = 32	47 %	3 %	50 %
N ₁₉₉₂ = 108	44 %	–	44 %

Tableau 7b : Pourcentages d'explications des réponses de la catégorie **On voit l'image**.
L'analyse statistique montre que les différences entre les deux populations ne sont pas significatives.

Parmi les élèves, aussi bien (1985) que (1992), qui ont prévu l'existence de l'image non inversée sur l'écran, la plupart ont employé le mot «*bougie*», et non le terme d'image, pour préciser qu'elle sera vue à l'endroit «*La bougie ne change pas de sens car il n'y a pas de lentille et que la lentille fait croiser l'objet et que quand il n'y a pas de lentille ça reste à la même position*» (1985). Les expressions : «*...la lentille fait croiser l'objet...*» et «*...la position de la bougie sur l'écran...*» indiquent que ces élèves raisonnent plutôt sur «objet» que sur «image».

4.4. Conclusion sur la question *Lentille retirée*

Nous avons trouvé des différences significatives entre les taux d'explications souhaitées données par les élèves (1985) et (1992). Ces taux demeurent faibles, mais on constate une amélioration pour les élèves (1992). Certains d'entre eux semblent raisonner à l'aide du concept de la lumière. Dans plusieurs commentaires, il arrive que la bougie joue un double rôle : objet dont l'image est formée par la lentille, ou bien source de lumière qui éclaire l'écran et peut produire des ombres quand la lentille est retirée.

En revanche, nous n'avons pas constaté de différences notables entre les prévisions des élèves (1985) et (1992) quant à l'existence d'«image» sur l'écran après que la lentille ait été enlevée. Ces prévisions sont également similaires à celles trouvées par les chercheurs qui ont posé cette question aux différentes populations d'élèves et étudiants plus âgés. On peut penser que ce n'est pas là une idée facile à transformer, et que le changement des programmes n'a pas suffi pour produire d'effets visibles.

5. UNE MOITIÉ DE LA LENTILLE FORME-T-ELLE UNE MOITIÉ DE L'IMAGE ?

5.1. Construction de la question

Cherchant à tester plus profondément la capacité des élèves à comprendre le principe de la formation d'image par une lentille convergente, nous avons proposé une der-

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

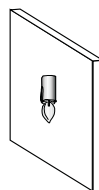
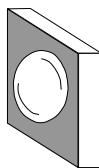
nière question. Cette question met en jeu un système dans lequel un cache posé sur la lentille empêche une partie de la lumière (issue de l'objet), d'arriver sur l'écran.

Les chercheurs en didactique apprécient depuis longtemps ce type de question. Ils ont testé l'évocation de différents caches sur différentes populations (élèves, étudiants et enseignants), en demandant de prévoir l'image formée par une lentille partiellement cachée⁷. Les résultats montrent que, quelle que soit la population interrogée, une partie (jusqu'à 75 %) des réponses correspond à une conception d'image «voyageuse». Dans ce cas, cette conception conduit à des prévisions où un cache posé sur la lentille serait responsable d'une image «coupée» sur l'écran : une moitié de la lentille formerait ainsi une moitié de l'image.

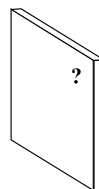
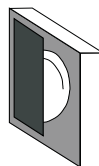
5.2. Présentation de la question et éléments de la réponse souhaitée

L'énoncé de la question *Moitié de la lentille* est le suivant :

Soit une lentille sur son support et un écran sur lequel on observe l'image de la bougie donnée par la lentille.



On pose sur la moitié de la lentille un cache en carton noir.



Que voit-on sur l'écran ? Expliquez votre réponse

7. cf. [5-6-8-9-10-11-14-22].

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

Les trois règles, concernant la vision, la propagation rectiligne et la correspondance objet-image (exposées dans la partie «Situations de référence») permettent d'analyser correctement ce cas. Le schéma sur la figure 5 propose une explication du fait que la moitié de la lentille suffit pour produire, sur l'écran, une image de même taille et de même forme mais moins lumineuse que celle qui a été obtenue sans le cache.

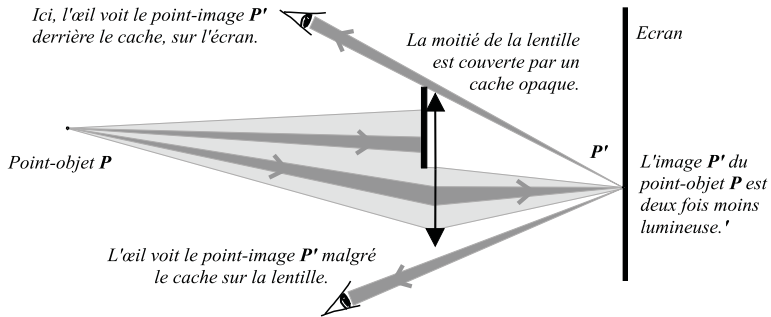


Figure 5 : Schéma pour expliquer la formation, par une moitié d'une lentille convergente, d'un point-image P' correspondant à un point-objet P . Sur l'écran, le point image P' est deux fois moins lumineux.

5.3. Résultats : Réponses et explications

Les résultats concernant l'aspect global des réponses à cette question sont rassemblés dans le tableau 8.

Réponse à la question <i>Moitié de la lentille</i>	$N_{1985} = 106$	$N_{1992} = 196$
On voit l'image entière	11 %	21 %
On voit la moitié (une partie) de l'image	60 %	42 %
On voit une tache, une lueur, l'ombre du carton...	5 %	5 %
On ne voit rien sur l'écran	–	17 %
Pas de réponse	24 %	15 %

Tableau 8 : Pourcentages des réponses à la question *Moitié de la lentille*.

La prévision souhaitée est en caractères gras.

Les différences entre les deux populations sont statistiquement significatives.

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

Nous constatons que dans les deux populations étudiées :

- Les élèves (1992) sont plus nombreux que les élèves (1985) à répondre que l'on voit sur l'écran une image de la bougie entière, comme par exemple : «*Sur l'écran, on voit une bougie à l'envers car le cache noir n'empêche qu'une partie des rayons de passer*» (1992).
- Les élèves (1992) sont moins nombreux que les élèves (1985) à répondre que l'image de la bougie ne sera pas complète. Ces derniers disent que l'on voit «*la moitié de la bougie car en posant sur la moitié de la lentille un cache en carton noir, l'image de la bougie donnée par la lentille ne sera observée qu'à moitié*» (1985). Ce type de justification est analysé par les chercheurs en termes d'image «voyageuse». La différence des taux des réponses des deux populations est statistiquement significative.
- Quelques élèves (5 % dans chaque population) écrivent que l'on voit sur l'écran «*une tache de lumière*» (1985), une lueur ou «*l'ombre du carton*» (1985), ou encore : «*On voit un demi-cercle, car on a caché l'autre partie du demi-cercle*» (1992). Ces trois types de réponses montrent, que pour ces élèves, le cache posé sur la lentille a changé le rôle de la bougie dans cette situation. La bougie n'est plus l'objet dont l'image est formée par la lentille, mais c'est une source de lumière dont une partie traverse la lentille découverte et arrive sur l'écran, où elle produit un éclaircissement (lumière, lueur) ou forme l'ombre du carton.
- La réponse que «l'on ne voit rien» n'a été trouvée que dans notre échantillon d'élèves (1992). 17 % d'entre eux ont considéré que le placement d'un cache sur la moitié d'une lentille procure la disparition de l'image formée auparavant par la lentille : «*On voit que la bougie n'apparaît pas sur l'écran parce que, la bougie est cachée par la moitié du carton noir. Le carton est un corps opaque*» (1992).

Pour mieux connaître les raisonnements des élèves nous avons étudié les explications accompagnant leurs réponses et, en particulier, nous avons examiné s'ils envisagent la lumière issue de l'objet et passant par la partie découverte de la lentille comme responsable de la formation de l'image.

Ainsi, nous avons construit le tableau 9 qui contient trois catégories. Chacune de ces justifications peut expliquer des prévisions différentes : ainsi, la même justification est utilisée pour expliquer la formation de l'image de la bougie entière, ou une moitié de l'image de la bougie, ou encore la présence d'autre chose (ou rien) sur l'écran.

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

Question <i>Moitié de la lentille</i> :	(1985)	(1992)	(1985)	(1992)	(1985)	(1992)
	Justifications des réponses		Bougie entière	Demi-bougie	Autre chose	
La lumière passe par la lentille découverte	2 %	5 %	3 %	2 %	1 %	1 %
A cause du cache, on voit...	–	–	19 %	19 %	1 %	7 %
Justifications diverses ou sans justification	9 %	16 %	38 %	21 %	3 %	14 %

Tableau 9 : Trois types des justifications accompagnant les réponses des élèves à la question *Moitié de la lentille*. Les pourcentages correspondant à la justification souhaitée sont en caractères gras. Les pourcentages correspondant à la réponse correcte sont présentés dans les cases grises.

Dans la première ligne du tableau 9, nous avons classé les justifications des élèves qui emploient la quantité de lumière passant par la partie découverte de la lentille, comme étant responsable de la formation de l'image :

- de la bougie entière (réponse souhaitée), «*On voit une bougie, car une partie seulement des rayons lumineux passent, mais n'empêchent pas la formation de l'image*» (1992) ;
- de la moitié de la bougie (réponse incorrecte), «*On voit la moitié de la bougie à l'envers, car les rayons lumineux sont arrêtés par le cache noir, donc une partie passe*» (1992).

Bien que des réponses soient différentes, des élèves se servent d'un même argument : la lumière («les rayons») émise par la bougie, passant par une moitié de la lentille (ne pouvant pas passer par l'autre moitié à cause du cache), contribue à former une image (entière ou non).

Comme l'indique le tableau 9, les élèves, qui déclarent que la lumière passe par la lentille pour expliquer leurs réponses, sont très peu nombreux. Parmi eux, il y a cependant quelques élèves pour qui une partie de lumière qui passe par la lentille découverte forme une image entière, identique à celle qui a été formée avant d'avoir placé le cache, mais moins lumineuse : «*On obtient la même image que précédente, mais l'écran reçoit deux fois moins de lumière, donc l'image est moins lumineuse*» (1985).

La deuxième ligne du tableau 9 comprend les explications des élèves selon lesquelles le cache sur la moitié de la lentille «explique» la formation d'une demi-image : «*On voit la moitié de la bougie, car en posant sur la moitié de la lentille un cache en carton noir, l'image de la bougie donnée par la lentille ne sera observée qu'à moitié*» (1985).

COLLÈGE : ATOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : ATOUR D'UN THÈME

Les taux de réponses sans justification sont élevés dans les deux populations, et montrent que des élèves rencontrent quelques difficultés à expliquer leurs prévisions.

5.4. Conclusion sur la question *Moitié de la lentille*

Peu d'élèves répondent qu'une moitié (non cachée) de la lentille suffit pour former l'image entière. Encore moins parmi eux expliquent cela en faisant appel au concept de la lumière. Les résultats de l'analyse statistique montrent une différence significative entre les deux populations. Les élèves (1992) qui ont donné la réponse souhaitée sont plus nombreux que les élèves (1985).

Beaucoup d'élèves prévoient qu'une moitié (découverte) de la lentille ne donnera qu'une moitié d'image. Cette prévision, que l'on peut interpréter comme manifestation de l'idée d'image «voyageuse», est même parfois justifiée à l'aide de «rayons». Nous pouvions espérer que les élèves (1992) verraient, lors des séances de TP, qu'il n'en était rien. Bien qu'insuffisantes, leurs réponses traduisent cependant des progrès par rapport à celles des élèves (1985).

Une autre différence entre les deux populations d'élèves a attiré notre attention. Elle concerne la réponse «*on ne voit rien sur l'écran*» après avoir placé le cache sur la moitié de la lentille. Seuls les élèves (1992) (17 % d'entre eux), ont donné cette réponse. Malheureusement, les justifications proposées ne nous permettent pas d'avancer une interprétation. Nous pouvons faire l'hypothèse que pour ces élèves la formation d'image est associée à la présence d'une lentille «non-perturbée» (dès qu'on «touche» la lentille, elle ne donne plus d'image). Une autre étude pourrait approfondir ce point.

CONCLUSION

Nous souhaitons revenir, dans cette conclusion, à un moyen particulier que nous avons employé dans cette enquête pour découvrir de quels arguments se servent des élèves de collège quand il s'agit de prévoir si une image optique est visible (ou non) sans écran. Nous avons posé deux questions à ce sujet. L'une (*Marie...*) était difficile et l'analyse des réponses n'a pas permis de tirer de conclusions. L'autre (*Écran retiré*) était plus facile et, déjà, les explications étudiées ont révélé les premières différences, statistiquement significatives, entre les deux populations d'élèves. Mais c'est surtout grâce à la confrontation des réponses à ces deux questions que nous avons pu exploiter la façon dont les élèves raisonnent, en mettant à jour deux catégories des réponses cohérentes : correctes, et celles qui font apparaître une difficulté visée.

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

Il nous semble donc que dans des situations où l'enseignant questionne des élèves pour savoir si un obstacle spécifique est franchi, les indications suivantes lui seront utiles :

- des réponses seules ne permettent pas de découvrir comment raisonne l'élève ;
- des explications, surtout si la question n'est pas trop difficile, sont déjà plus exploitables ;
- des confrontations de plusieurs commentaires d'un même élève portant sur un obstacle visé par l'enseignement donnent des moyens plus sûrs pour établir un diagnostic.

Les résultats provenant de l'analyse des réponses des élèves interrogés à ces quatre questions, indiquent, dans leur ensemble, une évolution en ce qui concerne les raisonnements des élèves (1992), en accord avec les principes d'optique géométrique. Cette évolution montre, à travers les réponses recueillies des élèves (1985) et (1992), que le changement des programmes d'optique en quatrième a entraîné des conséquences positives sur la compréhension des notions de base de l'optique élémentaire et en particulier sur le rôle de la lumière, de la lentille, de l'écran et de l'œil dans la formation et la vision d'une image réelle.

Les effets constatés dans cette étude ne sont pas «spectaculaires». Mais pouvaient-ils l'être ? Le changement de programmes n'était pas en mesure de surmonter toutes les difficultés liées aux notions qui posent problème non seulement aux élèves du collège, mais aussi aux étudiants et aux enseignants eux-mêmes (comme le démontrent les études précédentes). Ce seul changement ne pouvait radicalement «*modifier les démarches d'enseignement des enseignants dans le sens des intentions exprimées dans les programmes*» (cf. [13]).

Ainsi, observe-t-on que ce changement des programmes en optique, inspiré par les recherches didactiques, a présenté (par le biais de notre étude), des résultats encourageants : l'évolution, toute modeste qu'elle soit, des réponses des élèves interrogés, va dans le sens des intentions didactiques de ces programmes.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] F. CHAUVET, «Conception et premiers essais d'une séquence sur la couleur pour les étudiants d'arts appliqués», BUP **87** n° 750, 1-26, janvier 1993.

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

- [2] F. CHAUVET, *Construction d'une compréhension de la couleur intégrant sciences, techniques et perception : principes d'élaboration et évaluation d'une séquence d'enseignement*, Thèse de doctorat, Université Paris 7, 1994.
- [3] J.-L. CLOSSET, «Raisonnements «électriques» à propos de circuits hydrauliques», Actes du Cinquième Séminaire National de Recherche en Didactique des Sciences Physiques, Reims, 39-55, 1995.
- [4] M. COUCHOURON, L. VIENNOT et J.-M. COURDILLE, «Les habitudes des enseignants et les intentions didactiques des nouveaux programmes d'électricité en classe de quatrième», *Didaskalia* n° 8, 83-99, 1996.
- [5] A.-A. FAWAZ, *Image Optique et Vision, Étude exploratoire sur les difficultés des élèves de première au Liban*, Thèse de troisième cycle, Université Paris 7, 1985.
- [6] A.-A. FAWAZ et L. VIENNOT, «Image optique et vision», *BUP* **80** n° 686, 1125-1146, juillet-août-septembre 1986.
- [7] E. FEHER et K. RICE, «A comparison of teacher and student conceptions in optics». In J. Nowak (ed), *Proc. of the Second International Conference on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Vol. **II** (Cornell Univ. Ithaca, New York), 108-117, 1987.
- [8] I. GALILI, «Student's conceptual change in geometrical optics», *International Journal of Science Education*, 18, 847-868, 1996.
- [9] I. GALILI et A. HAZAN, «Learner's knowledge in optics : interpretation, structure and analysis», *International Journal of Science Education*, 22, 57-88, 2000.
- [10] F.M. GOLDBERG et L.C. MCDERMOTT, *Common sense knowledge versus formal physics knowledge in geometrical optics*, University of Washington, 1984.
- [11] F.M. GOLDBERG et L.C. MCDERMOTT, «An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror», *The Physics Teacher*, Vol. **24** n° 8, 472-480, 1987.
- [12] E. GUESNE, «Children's ideas about light : les conceptions des enfants sur la lumière», *New Trends in Physics Teaching*, Vol. IV, UNESCO, Paris, 179-192, 1984.
- [13] C. HIRN, «Comment les enseignants de sciences physiques lisent-ils les intentions didactiques des nouveaux programmes de quatrième ?», *Didaskalia* n° 6, 39-54, 1995.
- [14] W. KAMINSKI, *Statut du schéma par rapport à la réalité physique, un exemple en optique*, Mémoire de DEA de Didactique, Université Paris 7, 1986.

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

- [15] W. KAMINSKI, «Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière», BUP **83** n° 716, 973-996, juillet-août-septembre 1989.
- [16] W. KAMINSKI, *Optique élémentaire en classe de quatrième: raisons et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement*, Thèse de doctorat, Université Paris 7, 1991.
- [17] W. KAMINSKI, «Rayons épinglés ou comment tracer les rayons lumineux en quatrième», BUP **87** n° 750, 29-33, janvier 1993.
- [18] A. SALTIEL et W. KAMINSKI, «Un exemple d'évaluation des nouveaux programmes : problèmes liés à l'évaluation elle-même et à la formation des maîtres», BUP **90** n° 786, 1271-1287, juillet-août-septembre 1996.
- [19] A. TIBERGHEN, G. DELACOTE, R. GHIGLIONE et B. MATALON, «Conceptions de la lumière chez l'enfant de 10-12 ans», Revue française de pédagogie n° 50, 24-41, 1980.
- [20] A. TIBERGHEN, «Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens de la notion de lumière chez les élèves de 10 à 16 ans». In Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international, La Londe les Maures, Paris, CNRS, 125-136, 1983.
- [21] L. VIENNOT, «Recherche en didactique et nouveaux programmes : convergences», Didaskalia n°3, pp. 119-128, 1994.
- [22] L. VIENNOT, *Raisonnement en physique : la part du sens commun*, Ed. De Boeck Université, Paris, Bruxelles, 1996.