



HAL
open science

Optique élémentaire en classe de quatrième : raisons et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement.

Wanda Kaminski

► **To cite this version:**

Wanda Kaminski. Optique élémentaire en classe de quatrième : raisons et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement.. Enseignement de la physique [physics.ed-ph]. université denis diderot Paris 7, 1991. Français. NNT: . tel-01274839

HAL Id: tel-01274839

<https://theses.hal.science/tel-01274839>

Submitted on 16 Feb 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

T H E S E

présentée à l'UNIVERSITE PARIS 7 par

Wanda KAMINSKI

pour obtenir le

DIPLOME DE DOCTORAT

(DIDACTIQUE DE LA PHYSIQUE)

**OPTIQUE ELEMENTAIRE EN CLASSE DE
QUATRIEME :
RAISONS ET IMPACT SUR LES MAITRES
D'UNE MAQUETTE D'ENSEIGNEMENT**

Soutenu le 15 mars 1991 devant la commission d'examen
composée de :

M. J.L. MARTINAND **Président Rapporteur**

M. D. GIL PEREZ **Rapporteur**

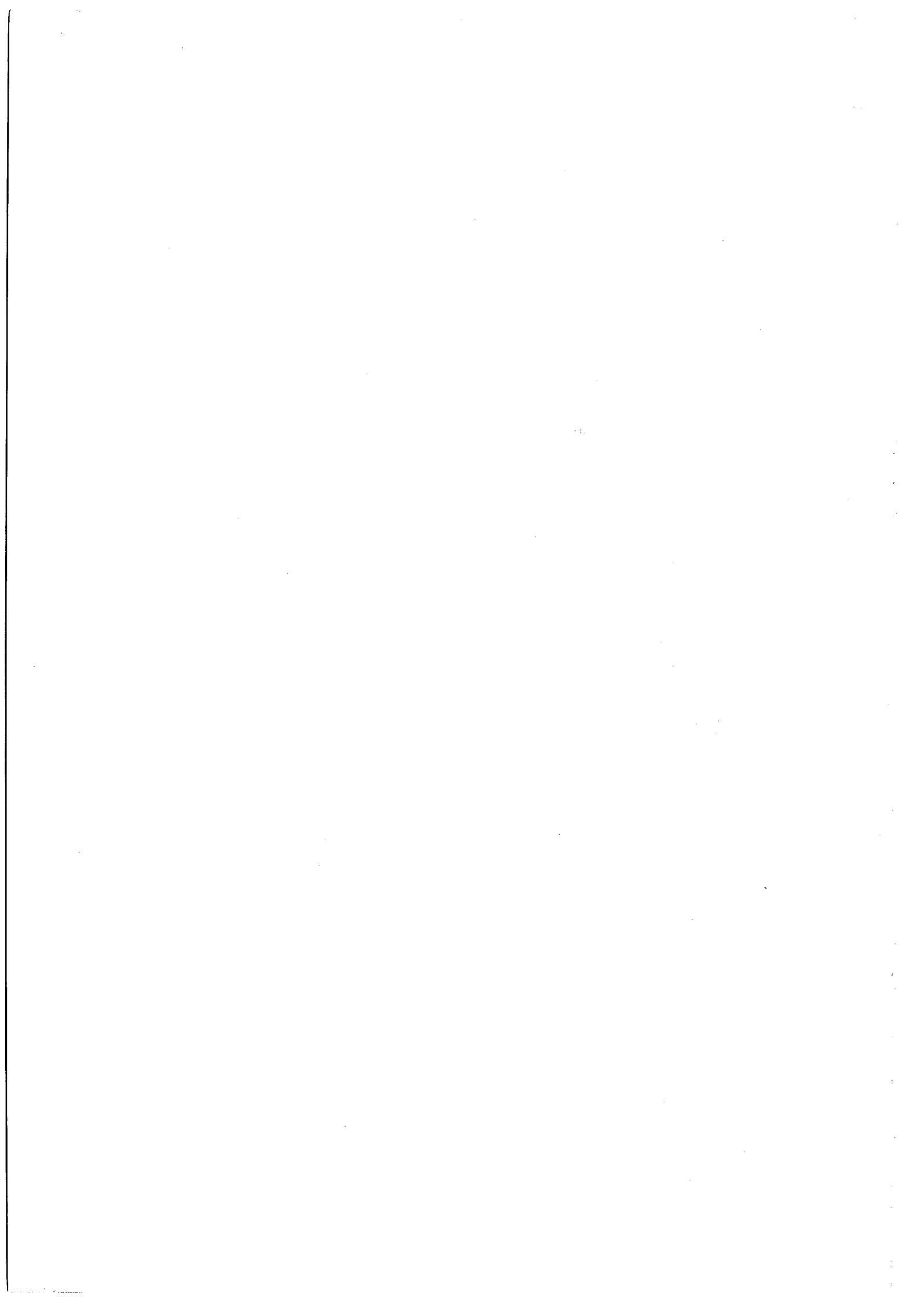
M. B. PERRIN

Mme M.G. SERE

Mme L. VIENNOT

} **Examineurs**

**LABORATOIRE DE DIDACTIQUE DE LA PHYSIQUE
DANS L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR**



Je tiens à remercier très sincèrement

Monsieur le Professeur **J. L. MARTINAND** qui m'a fait l'honneur de présider le jury de cette thèse, et qui a bien voulu accepter de juger ce travail.

Monsieur le Professeur **D. GIL PEREZ** qui a bien voulu consacrer son temps et sa compétence à analyser et juger ce travail, à me prodiguer d'innapreciables conseils et encouragements, et à m'honorer de sa présence à ce jury.

Monsieur le Professeur **B. PERRIN** qui a bien voulu s'intéresser à cette recherche et qui m'a donné l'occasion de bénéficier de ses conseils et de son soutien lors des moments difficiles.

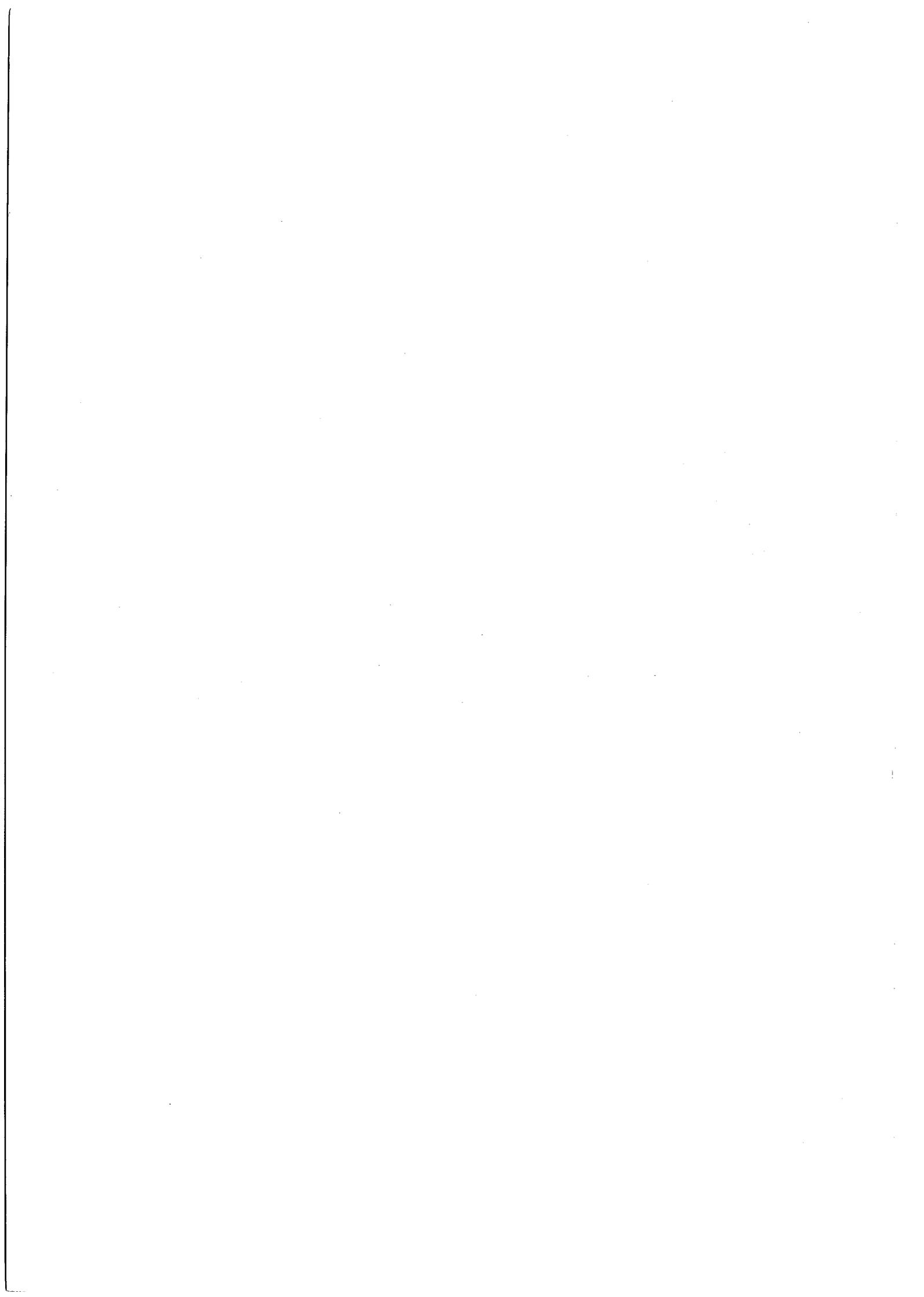
Madame **M. G. SERE** qui a contribué à ma formation sur le plan didactique, et qui m'a fait l'honneur de sa présence à ce jury.

Il m'est impossible d'exprimer tout ce que ce travail doit à Madame le Professeur **L. VIENNOT**, à son indéfectible amitié, à sa patience, à sa lucidité, ainsi qu'à son exigence et ses encouragements constants et compréhensifs.

Je remercie chaleureusement Madame **E. SALTIEL** qui m'a été d'un soutien constant et critique tout au long de ce travail.

Ma reconnaissance toute particulière va à Madame **F. CHAUVET** pour une collaboration stimulante et fructueuse.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers tous les enseignants qui m'ont prêté leur concours, sans lequel ce travail n'aurait jamais pu se faire.



SOMMAIRE

	Page
INTRODUCTION	
PREAMBULE	1
PROBLEMATIQUE ET PRINCIPALES COMPOSANTES DE L'ETUDE	1
ETAT DE LA QUESTION	4
APPROCHES PREALABLES, PREMIERS RESULTATS	10
PLAN DE L'EXPOSE	11
CHAPITRE 1	
INVESTIGATION DES DIFFICULTES COURANTES EN OPTIQUE ELEMENTAIRE - EXEMPLE DE LA CHAMBRE NOIRE	
1.1. Introduction	13
1.2. Présentation de l'enquête	16
1.3. Question 1	17
1.3.1. Matériel et montage	17
1.3.2. Enoncé de la question 1	17
1.3.3. Réponse correcte	18
1.3.4. Prévisions recueillies	19
1.3.5. Schémas justifiant les prévisions recueillies	20
1.3.6. Confrontation des prévisions avec les schémas	22
1.3.7. Appréciation des réponses recueillies par les enseignants-juges	26
1.3.8. Résumé des résultats (question 1)	26
1.4. Question 2	27
1.4.1. Matériel et montage	27
1.4.2. Enoncé de la question 2	28
1.4.3. Réponse correcte	29
1.4.4. Prévisions recueillies	30
1.4.5. Schémas justifiant les prévisions recueillies	31

1.4.6.Confrontation des prévisions avec les schémas	31
1.4.7.Cohérence entre les réponses aux questions 1 et 2	36
1.4.8.Appréciation des réponses recueillies par les enseignants-juges	37
1.4.9.Résumé des résultats (question 2)	38
1.5. Question 3	39
1.5.1.Matériel et montage	39
1.5.2.Enoncé de la question 3	40
1.5.3.Réponse correcte	40
1.5.4.Prévisions recueillies	41
1.5.5.Schémas justifiant les prévisions recueillies	41
1.5.6.Confrontation des prévisions avec les schémas	46
1.5.7.Cohérence entre les réponses à plusieurs questions	48
1.5.8.Appréciation des réponses recueillies par les enseignants-juges	50
1.5.9.Résumé des résultats (question 3)	50
1.6. Récapitulation et discussion	52
1.6.1.Prévisions de l'effet escompté	52
1.6.2.Schémas justifiant les prévisions	53
1.6.3.Statut des traits sur des schémas de type global	56
1.6.4.Statut des traits sur des schémas interprétant la vision (question 2)	56
1.6.5.Enquêtes complémentaires	57
1.7. Conclusion du chapitre 1	58

CHAPITRE 2

ACTIVITES EN OPTIQUE ELEMENTAIRE

2.1. Introduction	60
2.2. SEQUENCE n°1 - ANALYSE DE LA COULEUR	61
2.2.1.Episode 1 - Spectre de la lumière blanche	63
2.2.2.Episode 2 - Spectre de la lumière de couleur	65
2.2.3.Episode 3 - "Mélange" des couleurs et spectres associés	66
2.2.4.Episode 4 - Addition des couleurs	67
2.2.5.Episode 5 - Impression visuelle des couleurs (contraste)	68
2.2.6.Episode 6 - Diffusion de la lumière et vision	70

2.3. SEQUENCE n°2 - PROPAGATION RECTILIGNE DE LA LUMIERE	73
2.3.1.Episode 1 - Ecran - détecteur de lumière	75
2.3.2.Episode 2 - Oeil - détecteur de lumière	77
2.3.3.Episode 3 - Ombre - source ponctuelle	79
2.3.4.Episode 4 - Ombre - source étendue	80
2.3.5.Episode 5 - Exercice de révision - ombres avec deux sources colorées	82
2.4. SEQUENCE n°3 - FORMATION DES IMAGES PAR UNE LENTILLE MINCE CONVERGENTE	84
2.4.1.Episode 1 - Introduction : observations directes (avec l'oeil)	85
2.4.2.Episode 2 - Observations indirectes (sur l'écran diffusant) - rôle de l'objet	87
2.4.3.Episode 3 - Observations indirectes - rôle de l'écran	89
2.4.4.Episode 4 - Observations indirectes - rôle de la lentille	91
2.4.5.Episode 5 - Interprétation de la formation d'image réelle par une lentille convergente. Première partie : Couple point-objet et point-image conjugués	93
2.4.6.Episode 6 - Interprétation : deuxième partie - Objet et image étendus.	95
2.4.7.Episode 7 - Interprétation : troisième partie - Rôle des diaphragmes et des caches placés sur la surface de la lentille	98
2.4.8.Episode 8 - Exercice de schématisation	101
2.5. SEQUENCE n°4 - LUMIERE INVISIBLE ET LUMIERE VISUALISEE	103
2.5.1.Episode 1 - Relation entre l'aspect de la trace lumineuse et la position de l'ampoule	103
2.5.2.Episode 2 - Ce que l'on voit dans le miroir	106
2.5.3.Episode 3 - "Miroir en panne" (qui ne réfléchit pas le rayon incident)	108
2.6. SEQUENCE n°5 - CHAMBRE NOIRE	110
2.6.1.Episode d'introduction - Réglage de la chambre noire et image de référence I_R	111
2.6.2.Episode 1 - Trou d'épingle	112
2.6.3.Episode 2 - Ce qui change sur l'écran de la chambre noire quand on change la taille et/ou la forme du trou.	114
2.6.4.Episode 3 - Comparaison entre la figuration de l'objet et son image sur l'écran de la chambre noire	115

2.6.5. Episode 4 - Rôle de l'écran de la chambre noire	118
2.6.6. Episode 5 - Exercice de révision : "Une chambre noire à double trou"	119
2.7. Conclusion du chapitre 2	121

CHAPITRE 3 EVALUATION

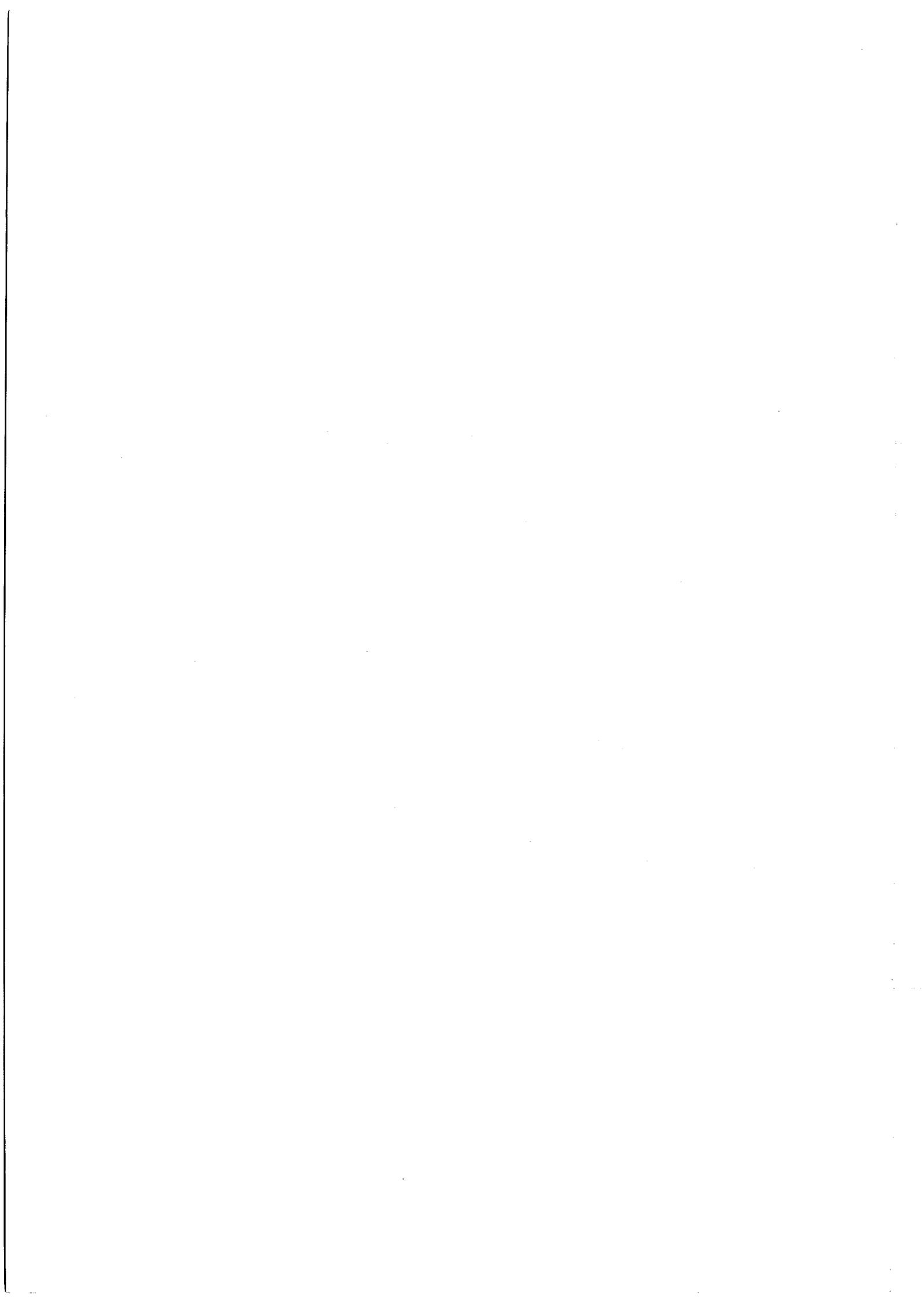
3.1. Introduction	122
3.2. Présentation des questions de l'enquête	123
3.2.1. <i>Feuille d'évaluation - séquence n°...</i>	123
3.2.2. <i>BILAN GENERAL DU STAGE</i>	124
3.3. Réponses à la question 1 de la <i>Feuille d'évaluation (quel était l'épisode ou l'aspect le plus surprenant, difficile décevant, réussi?)</i>	125
3.3.1. Justifications des réponses à la question 1 et critères de choix des enseignants	127
3.4. Réponses à la question 2a) de la <i>Feuille d'évaluation (Avez-vous envie d'incorporer cette séquence dans votre travail avec les élèves? entière, modifiée, une partie?)</i>	128
3.4.1. Justifications des réponses à la question 2a)	130
3.5. Réponses à la question 2b) de la <i>Feuille d'évaluation (portant sur les raisons de la non-reprise de la séquence)</i>	131
3.5.1. Justifications des réponses à la question 2b)	132
3.6. Réponses à la question 1 du <i>Bilan général du stage</i>	135
3.7. Réponses à la question 2 du <i>Bilan général du stage</i>	136
3.7.1. Justifications des réponses à la question 2 du Bilan général du stage	138
3.8. Réponses à la question 3 du <i>Bilan général du stage</i>	139
3.9. Réponses à la question 4 du <i>Bilan général du stage</i>	140
3.10 Conclusion du chapitre 3	144

CONCLUSION	146
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	150
RESUME	157

ANNEXE A - [47] KAMINSKI W., 1989, Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière, *BUP*, N°716, pp.973-996

ANNEXE B - [15] CHAUVET F., 1990, *Lumière et vision vues par des étudiants d'Arts Appliqués*, Mémoire de Tutorat, DEA de Didactique, Univ. Paris 7.

ANNEXE C - Extrait de [85] : SCIENCES PHYSIQUES classes des collèges : HORAIRES, OBJECTIFS, PROGRAMMES, INSTRUCTIONS, 1989, CNDP.



INTRODUCTION

PREAMBULE

Pour l'optique élémentaire comme pour d'autres domaines de la physique, les nombreuses études développées depuis maintenant plus de quinze ans sur les raisonnements des enfants ou des adultes ont bien montré qu'"élémentaire" ne signifiait nullement "simple" ni "évident". C'est sur la base de telles constatations que nous avons voulu entreprendre un travail susceptible de contribuer à la définition d'un enseignement de l'optique au niveau où cette matière est introduite actuellement dans l'enseignement français, c'est à dire en classe de quatrième. Tel est l'objectif de ce travail.

PROBLEMATIQUE ET PRINCIPALES COMPOSANTES DE L'ETUDE

Un premier aspect de notre problématique a donc trait à l'analyse des idées des adolescents et des adultes au sujet des notions de base de l'optique.

Sans doute faut-il repréciser ici que nous adhérons au consensus largement exprimé par la grande majorité des chercheurs dans ce domaine, qui fondent leur travail sur une vision souvent qualifiée de "constructiviste" de l'apprentissage ([4], [6], [59], [77]). Dans l'acception du terme qui fait cette quasi-unanimité, on veut signifier par là que l'apprenant, loin d'être un simple réceptacle dans lequel on empile des connaissances, construit activement son savoir sur la base de celles qu'il possède déjà. Il importe donc au plus haut point, pour l'élaboration des contenus et des démarches d'enseignement, de connaître le mieux possible ce donné avec lequel l'enseignant comme l'apprenant doivent compter : les idées et raisonnements de celui-ci. Il est moins habituel de se soucier également des idées et raisonnements de l'enseignant ([22], [63], [78]). Cela ne nous semble pas moins utile et nous y consacrons l'essentiel de notre propre investigation. De telles études, et en particulier la nôtre, débouchent avant tout, en fait, que cela soit explicité ou non par les chercheurs concernés, sur une réflexion quant aux objectifs de l'enseignement du domaine. Tel point qui semblait couler de source se révèle un véritable môle de résistance, telle autre difficulté ne coïncide avec aucun élément du découpage standard du contenu enseigné, le véritable coût de

telle acquisition conceptuelle se laisse soupçonner, et l'on mesure bien qu'un certain "niveau" de compétence sur des notions réputées plus avancées ne garantit rien, contrairement à une idée fort répandue, sur la compréhension réelle de notions de base du domaine. Il y a donc là un premier éclairage sur les choix d'objectifs d'enseignement. Nous avons largement ancré ceux qui sont assignés aux séquences que nous proposons sur les constatations faites lors de telles recherches.

Dans la même logique, nous fondons notre proposition d'enseignement sur un type d'approche pédagogique qui ne se limite pas à une transmission de connaissances, mais fasse une large place à l'activité, entendue au sens large, de l'apprenant. En d'autres termes, nous cherchons à provoquer non seulement une activité manipulatoire importante, mais surtout, à travers cela, une élaboration conceptuelle mettant en jeu questions, surprises, discussions et effort commun de mise en cohérence de tous les éléments d'informations disponibles. Pour autant, nous ne pensons pas que la lumière doit surgir d'elle-même de l'activité, en quelque sorte sacralisée, du sujet. C'est donc une proposition extrêmement organisée que nous avons cherché à construire. De plus, nous nous sommes imposé de construire un véritable "ensemble" d'enseignement, et non seulement quelques éléments particulièrement étudiés sur le plan didactique : c'est une façon de confronter les habituelles "suggestions pédagogiques" aux contraintes qu'impose la transmission d'un contenu consistant, dans un temps donné, avec des conditions aux limites bien définies. Cette maquette est prévue pour une trentaine d'heures. Y sont précisés les objectifs conceptuels et les raisons de leur séquentialisation. Pour chacun, on indique les expériences sur lesquelles s'appuie l'enseignement (toutes spécifications pratiques données), les activités proposées à l'apprenant et les démarches qu'on en attend.

Un troisième volet de notre cadre problématique concerne la place évidemment cruciale du maître dans le processus d'enseignement. Nous avons voulu en tenir compte dans la plus large mesure, d'autant que nous avons eu des occasions particulièrement favorables pour recueillir des informations de ce côté. Deux aspects, en particulier, nous ont semblé à explorer.

Le premier concerne les difficultés conceptuelles des professeurs eux-mêmes. Nous avons souligné plus haut combien il était courant, nous serions même tentés de dire "logique" [78], que les enseignants partagent, à un degré plus ou moins large, les idées "naïves" de leurs élèves. Cela est particulièrement vraisemblable en ce qui concerne les maîtres des

collèges, actuellement, en France, dont les raisonnements en physique ne sont affectés scolairement, en grande majorité, que par leurs seuls souvenirs du baccalauréat. Il nous semble important que les propositions que nous faisons pour les élèves soient de nature à ne pas laisser le maître lui-même dans un relatif flou conceptuel : les points délicats, dans cet esprit, ne doivent pas être esquivés, mais plutôt explicitement abordés avec de bons outils de clarification. En d'autres termes, un objectif (un idéal?) que nous nous fixons est de définir un enseignement qui, sans risquer d'insécuriser le maître, l'incite constamment à prendre la mesure de sa propre compréhension.

Le deuxième aspect, très lié au précédent, a trait au degré d'adhésion de l'enseignant aux suggestions qui lui sont faites. On connaît la fréquence des bilans optimistes pour des expérimentations didactiques réalisées par des personnes très impliquées dans une recherche, ne serait-ce que comme "expérimentateur de terrain". Bien évidemment, il entre dans ces succès une bonne part d'investissement motivé de l'enseignant. A l'inverse, quel profit pourrait-on attendre d'une maquette d'enseignement, aussi étudiée soit-elle, à laquelle les enseignants n'adhéreraient pas ? Nous avons tenté d'évaluer, de ce point de vue, les réactions d'enseignants à la proposition décrite dans ce travail, et leur désir d'en reprendre certains éléments à leur compte, pour leurs élèves.

Sans rentrer d'emblée dans les péripéties qui ont jalonné cette double évaluation concernant les maîtres, précisons qu'elle s'est faite dans le cadre de stages de formation de professeurs des collèges à l'Université Paris 7.

Maintenant, que pouvons-nous envisager d'exhiber comme validation directe de notre proposition, pour un enseignement s'adressant à des élèves de quatrième ? Compte tenu de la nécessité de limiter notre travail, nous ne pouvons donner, sur ce point, que les informations qui ressortent de l'évolution des connaissances d'un public d'enseignants des collèges à la suite des stages que nous venons de mentionner. D'autres éléments d'informations proviennent de la mise en oeuvre, par un des professeurs stagiaires, d'une des séquences d'enseignement, auprès de ses élèves de B.T.S. (section Arts Appliqués). Ces derniers éléments font la matière d'un stage de tutorat de D.E.A. de Didactique de l'Université Paris 7, que nous avons dirigé et qui figure en Annexe B. Nous considérons que ces éléments ont une valeur indicative, mais ne dispensent pas d'une véritable expérimentation directe en classe de quatrième, laquelle reste à faire.

ETAT DE LA QUESTION

Les premières publications des résultats des recherches sur les conceptions des élèves sur la lumière et la vision datent d'il y a 10-15 ans (A. Tiberghien 1975 [69], E. Guesne 1976 [35], B. Stead et R. Osborne 1980 [68], W. Jung 1981 [44], B. Anderson et Ch. Karrqvist 1982 [2]). Il s'agit d'enquêtes exploratoires, menées auprès des enfants et des adolescents (10-16 ans selon l'auteur) avant ou après l'enseignement d'optique. Déjà, tous les chercheurs soulignent que les enfants n'emploient le mot *lumière* que pour désigner la source (par exemple - ampoule électrique - Cf. aussi H. Wallon 1963 [81]) ou un endroit fortement éclairé.

A l'âge de 10-12 ans, écrit Andrée Tiberghien [70]:

"La majorité des enfants ne considère pas la lumière comme une entité séparée dont on pourrait étudier les propriétés. /.../ Pour expliquer les phénomènes /.../ les enfants en restent au niveau de la perception et du langage usuel."

A l'âge de 13-15 ans, avant l'enseignement d'optique, on note une progression chez certains étudiants dans certaines situations (au cours des entretiens directs) : ils reconnaissent la lumière *"comme une entité distincte, située dans l'espace entre sa source et les effets qu'elle produit."* (Guesne 1976 [35]). Cependant, cette idée n'est pas évoquée systématiquement et, selon Edith Guesne [36] :

"Si 30 à 50% des sujets ont l'intuition du trajet rectiligne de la lumière /pour prévoir la grandeur de l'ombre/, le rôle de la lumière comme agent directement responsable de la formation des images et de la vision est parfaitement insoupçonné."

Les conclusions de ces premières enquêtes ont été confirmées depuis par des recherches menées auprès des élèves d'origines diverses (Australie [68], Allemagne [44], Suède [2], Liban [18], etc) avec des précisions sur la persistance de ces conceptions chez les adolescents interrogés après l'enseignement d'optique :

"No difference was noticed between those pupils who had had lessons on optics and those who had not." (Stead and Osborne [67] qui ont interrogé 379 élèves de 9-16 ans).

"In general, only 6% of the ninth-formers¹ apply the key idea of optics (i.e. the conception that light is something physical that exists and propagates in space,

¹ Elèves de 15 ans après l'enseignement d'optique.

apart from sources and effects) to all problems(...)."
(Anderson et Karrqvist [2] - environ 150 élèves dans cette catégorie d'âge).

Notons que les résultats des recherches ultérieures n'ont jamais contredit ces conclusions.

Sur le thème plus spécifique de la vision, on trouve dans ces enquêtes les éléments suivants : la vision est parfois interprétée en termes de l'oeil-récepteur de la lumière, mais en affinant le questionnement on peut établir les limites de l'emploi de cette interprétation - elle sert à expliquer comment l'oeil voit une source de lumière. Cette explication devient rare quand il s'agit de la vision d'un objet diffusant (Cf. par ex. Guesne [39]). Elle n'est, par ailleurs, pratiquement pas invoquée quand on demande à l'élève de justifier une prévision devant un montage expérimental. Enfin, l'oeil-récepteur de la lumière n'est jamais employé pour soutenir l'opinion que l'on peut voir la lumière "de profil", se propageant devant l'observateur (Cf. Bouwens [12]).

Même lors d'enquêtes menées auprès d'adultes, on a pu trouver des situations expérimentales ou des circonstances dans lesquelles ce public manifestait des difficultés associées à l'emploi du concept de propagation rectiligne de la lumière (Cf. par exemple, en plus des travaux déjà cités : La Rosa et al. [49]).

En outre, le concept de propagation isotrope de la lumière est quasiment absent dans les explications recueillies en situations "non-scolaires", indépendamment de l'âge et de l'enseignement reçu par les personnes interrogées (Cf. enquêtes déjà citées et aussi : Goldberg and McDermott [32], [34], Feher and Rice [22]).

Beaucoup d'enquêtes (Cf. par exemple [32], [33], [34], [18], [19], [46]) qui ont été consacrées à la formation d'image par un système optique simple (miroir plan, lentille mince convergente) ont apporté des résultats riches et détaillés. Ainsi Goldberg et McDermott [33] écrivent dans leur conclusion à propos des difficultés des étudiants (15-18 ans; avant et après l'enseignement de l'optique géométrique), interrogés devant un miroir plan :

"On almost all of the tasks, the behavior of some post-students suggested that they did not recognize the ray diagram as the representation of the principles of geometrical optics. In spite of being able to state that the angle of reflection equals the angle of incidence,

they frequently ignored the implications that this relationship has for the image. The results of this investigation have shown that many students emerge from instruction in geometrical optics unable to connect the formal description of image formation by specular reflection with what they see in a mirror."

L'interprétation de la formation d'une image réelle par une lentille mince convergente pose le même type de problèmes aux étudiants interrogés après enseignement (15-20 ans selon l'enquête). Les élèves bien entraînés à résoudre des exercices "classiques", où l'on demande de calculer les positions et les grandissements des images, échouent quand le problème porte sur les principes de formation d'image : la nécessité d'avoir une lentille entre l'objet et l'écran², le statut des rayons de construction sur le schéma³, les conditions nécessaires pour voir l'image directement (sans écran)⁴ et, pour une image sur l'écran diffusant, les concepts de netteté et de luminosité de l'image⁵.

Les commentaires et les justifications des réponses recueillies au cours de ces enquêtes montrent souvent des traits communs avec ceux donnés par des enfants à l'occasion des questions plus "faciles": sur la formation des ombres ou sur le fonctionnement de la chambre noire. Il semble que le cri-

² La moitié des personnes interrogés (élèves de Première au Liban [18], [19], du collège aux U.S.A [32], [34], B.T.S. et Terminales C et D en France [46], [47]) considèrent qu'il y aura une image sur l'écran quand on enlève la lentille d'un montage "standard".

³ La majorité des personnes interrogés (mêmes références) prévoient une image partielle, diminuée, ou même supprimée si l'on propose d'obturer une partie (le centre, les bords ou la moitié) de la lentille - d'après les justifications fournies on peut déduire que "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." [19].

⁴ Aux difficultés évoquées plus haut (rôle de la lumière dans la vision associé à la notion de l'oeil-récepteur de la lumière) s'ajoutent ici des automatismes d'origine scolaire : par exemple une "certitude" que l'image réelle ne peut être vue que sur l'écran (mêmes références).

⁵ "La netteté n'est pas associée prioritairement à un registre géométrique." [18]. Une forte proportion d'élèves mentionnent une dépendance entre netteté et luminosité: soit la netteté augmente avec la luminosité (image "bien éclairée"), soit elle diminue quand la luminosité augmente ("éblouissement").

tère de reconnaissance de forme de l'objet soit responsable des ressemblances entre l'interprétation de la formation de l'image et celle de l'ombre sur un écran. Ainsi, l'ombre est parfois traitée comme si elle existait déjà, "cachée dans l'objet", en attente d'être "expulsée" vers l'écran par la lumière qui "frappe" l'objet (Cf. par exemple: Feher and Rice [20], [22], [23]). L'ombre est souvent appelée "reflet" ou même "image" de l'objet, et le rôle de la lumière dans sa formation est, pour le moins, ambigu :

"If you ask whether the light has anything to do with the shadow, the usual answer will be that the light allows us to see the shadow, «It puts it on the screen where we can see it» and «It shines on it so we can see it.»" [20].

"La moitié des enfants (10-12 ans) interprète le phénomène des ombres en éliminant toute référence explicite à la lumière et un plus grand nombre corrèle l'intensité de la source lumineuse avec la taille de l'ombre." [70].

Notons, que les adultes (enseignants ou étudiants universitaires) manifestent parfois des difficultés de même nature devant des tâches non-scolaires (ombre dont la forme reproduit celle de la source et non celle de l'objet [20], ombres colorées [57]). Dans les raisonnements qui servent à prévoir la position et l'aspect de l'ombre, ils n'évoquent pas systématiquement la propagation rectiligne de la lumière et ils ne font pas appel à la propagation isotrope de la lumière.

Un autre thème scolaire, celui du fonctionnement de la chambre noire, a attiré l'attention des chercheurs (Cf. une série de travaux de Feher et Rice [21], [23], [24] et l'enquête de A. Fawaz [18], [19]). La chambre noire est employée dans de nombreux pays comme dispositif d'introduction à l'imagerie optique. Les résultats de recherche incitent à s'interroger sur ce choix. En particulier, les rôles respectifs de la taille de l'objet (source de lumière), de la taille et de la forme du trou dans la formation de la figuration de l'objet sur le fond de la chambre noire, semblent donner l'occasion à la manifestation de raisonnements "spontanés" résistant à l'enseignement classique. Par exemple :

"A considerable proportion of the teachers think that the light propagates as a whole, in the shape of the source and in the direction of the screen. /.../ Our work indicates that this way of thinking is not limited to students /.../. It is a deeply ingrained notion used by adults and children alike to describe the propagation of light in free space." (Feher and Rice [22]).

Cette notion de l'aspect de l'objet (ou de l'"image") qui "voyage" vers l'écran (ou vers l'oeil de l'observateur) a été mise en évidence par différents chercheurs (Bouwens [12], Fawaz et Viennot [19] Feher et Rice [22], Goldberg et McDermott [34]). Le même résultat a été trouvé auprès de publics d'origines diverses, indépendamment de la méthodologie employée (entretiens directifs, questionnaires papier-crayon...) et dans des situations évoquant des phénomènes différents du point de vue du physicien.

Venons-en enfin au phénomène de la couleur. Celui-ci est souvent analysé par les enfants (et parfois par les adultes) sans aucune référence à la lumière; la couleur de l'objet, mais aussi la couleur d'une aire lumineuse sur l'écran (éclairé avec le faisceau d'un projecteur muni d'un filtre), est décrite en termes des sensations (chaleur, joie...) et la seule analyse semble puiser dans l'expérience de mélange des peintures ([2], [49], [12]). Dans une enquête consacrée plus spécifiquement aux difficultés "scolaires" (Perales et al. [58]), les adultes (20 ans environ, étudiants en formation d'enseignants de physique et de sciences naturelles) ont manifesté, dans une proportion importante, des difficultés liées au phénomène de dispersion de la lumière par un prisme.

La grande majorité des publications consacrées aux conceptions des élèves en optique, contiennent des suggestions pédagogiques ou, pour le moins, des réflexions sur les objectifs de l'enseignement dans ce domaine. Les chercheurs souhaitent fournir aux enseignants des éléments permettant une prise de conscience des difficultés repérées, tout en préconisant l'utilisation en classe des questionnements et des situations expérimentales qui ont servi au cours de leurs enquêtes exploratoires. Ils avancent l'opinion selon laquelle l'élève qui cherche à vérifier sa propre prévision exprimée dans son langage (comme lors des entretiens directifs) est particulièrement motivé. Ils stipulent (Cf. par exemple [22]) qu'ainsi stimulé, il sera plus apte à concevoir une vision plus générale des phénomènes étudiés.

Certaines recherches sur les conceptions et les difficultés des élèves en optique ont conduit à l'élaboration de séquences pédagogiques : un projet pour 13-15 ans par Anderson et Karrqvist [2] et *Module photographie* de Guesne et Barboux [36]. Cette dernière proposition a abouti à modifier profondément l'enseignement d'optique en France. On y trouve notamment un nouveau type de schéma qui, sans faire appel aux rayons de construction traditionnels, illustre la formation d'image réelle par une lentille convergente [38]. Ce schéma

représente tout le faisceau de lumière issu d'un point-objet (figuré par les rayons qui arrivent sur les bords de la lentille) qui participe à la formation d'un point-image. Il existe une grande différence entre ce type global de schématisation, à visée largement opératoire, et un modèle fondé sur la notion des rayons, qui suppose une démarche beaucoup plus analytique.

De l'état de la question que nous venons de résumer, il ressort que sur un certain nombre de points des difficultés (en termes cognitifs on parlerait plutôt de distances par rapport au savoir savant) se manifestent chez les adolescents et les adultes. Nous les exprimons ici dans les termes du physicien, en particulier, et pour certaines notions, à l'aide du modèle des rayons lumineux :

1. Lumière comme entité distincte de sa source et de l'objet éclairé, et possédant certaines propriétés.
2. Principe de la vision des objets lumineux par eux-mêmes ou diffusants : la lumière parvient, directement ou par diffusion, dans l'oeil. La lumière ne se voit pas de profil.
3. La propagation rectiligne et isotrope de la lumière.
4. Les principes de la formation d'une image au sens strict (stigmatisme de Gauss) :
 - a) A chaque point de l'objet correspond un point de l'image tel que tout rayon passant par le point-objet passe également par le point-image. Le tracé de deux rayons suffit donc pour établir le trajet d'une infinité d'autres rayons issus du même point (notion d'échantillonnage de rayons d'un faisceau [18, 19]).
 - b) Deux correspondances ponctuelles objet-image permettent d'en prévoir une infinité d'autres, concernant le même objet (notion d'échantillonnage de points d'un objet, mêmes références)
 - c) Comme pour un objet lumineux par lui-même (cas d'une image en vision directe) ou diffusant (cas d'une image reçue sur un écran), un point de l'image est vu si la lumière issue de ce point parvient dans l'oeil, lequel doit être situé à quelque distance de l'image pour une vision distincte.
 - d) Les concepts de netteté et de luminosité de l'image, qui sont souvent adhérents pour les élèves (après enseignement).
5. Les principes de la formation d'une figuration de l'objet sur le fond de la chambre noire, ainsi que la notion

d'ombre qui, pour les élèves ne se résumant pas à la propagation rectiligne de la lumière.

6. Enfin les notions relatives à la couleur, en particulier, synthèse additive et soustractive.

APPROCHES PREALABLES, PREMIERS RESULTATS

Les conclusions précédentes tracent les grandes lignes de nos objectifs d'enseignement. Ceux-ci seront détaillés, séquence par séquence, dans le chapitre consacré à la description de notre maquette d'enseignement. Nous tenons à insister sur le fait que la précision de cette description, nécessaire pour savoir ce qui a exactement été fait et évalué, ne doit pas laisser penser que notre philosophie d'enseignement est celle d'application minutieuse de recettes. Tout au contraire, on peut imaginer autour de cette proposition toutes sortes d'utilisations pédagogiques laissant une place beaucoup plus large aux initiatives des maîtres et des élèves.

Dans nos premiers stages de formation (nous en avons assuré sept au total, chacun d'une trentaine d'heures et pour douze à vingt professeurs), l'évaluation de nos séquences s'est faite de deux manières.

D'une part, nous avons regardé fonctionner à chaque fois notre plan d'enseignement, notant les durées, les blocages, les surprises, les discussions, tentant de décrypter la pensée de nos stagiaires malgré les procédures de protection mises en oeuvre par des enseignants habitués à ne pas se mettre en défaut de connaissances sur des sujets réputés élémentaires. Difficilement quantifiable, ou même résumable, cette évaluation s'est révélée décisive pour l'élaboration finale des séquences décrites plus loin, et qui font la matière du dernier stage. On en donnera une idée lors de la brève justification qui précède chaque description de séquence.

Plus classique et plus quantifiable, un essai d'évaluation par comparaison de réponses entre nos stagiaires à la fin de l'un des stages et un groupe "témoin" d'adultes étudiants en licence de physique, à l'aide de questionnaires papier-crayon, fait apparaître, pour les objectifs fixés à ce stage, une assez nette supériorité des premiers sur les seconds (sur les points 1, 3, 4 ci-dessus, voir les tableaux 2 et 3 de l'article "*Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière*", publié dans le Bulletin de l'Union des Physiciens [47], reproduit dans l'Annexe A). Nous avons déjà évoqué toutes les réserves que l'on doit apporter à la constatation d'un succès, lorsque l'enseignement évalué a été administré

par un enseignant sur-motivé. Pour notre part, nous en avons retenu un encouragement indicatif, ainsi qu'une incitation au réalisme: le succès est relatif, et cela témoigne bien de la résistance des difficultés en cause. On trouvera plus de détails sur cette évaluation dans l'article, mentionné ci-dessus [47] et reproduit dans l'Annexe A. Ce report en annexe ne signifie pas que ces préalables ont pour nous valeur accessoire, mais plutôt qu'il serait fastidieux pour le lecteur de lire séquentiellement plusieurs documents qui repassent au fil des approximations successives sur les mêmes éléments, explorations de raisonnement, spécification de l'enseignement et des questions posées.

PLAN DE L'EXPOSE

Nous avons choisi d'axer la partie linéaire de notre exposé, autrement dit le corps de la thèse, sur les points suivants :

Un premier chapitre est consacré à une étude dite "exploratoire" sur les idées des élèves de quatrième et de leurs enseignants les plus motivés (puisque'il s'agit de volontaires). Bien sûr, l'exploration est guidée par les résultats qui viennent d'être rappelés. Mais elle se veut à la fois plus exhaustive et plus ciblée du point de vue des populations concernées. Elle se complète d'indications d'une autre nature : nous demandons à des enseignants n'ayant pas encore subi notre formation, d'évaluer le caractère plus ou moins acceptable de certaines argumentations d'élèves. Nous trouvons là des informations indirectes sur les objectifs d'enseignement de ces "professeurs-juges".

Nous n'exposerons dans ce chapitre que ce qui concerne la chambre noire, bien que de nombreux autres éléments aient été engrangés au cours de nos stages. L'article déjà cité ([47], Annexe A) mentionne par exemple, entre autres, des résultats sur le thème de l'image formée par une lentille convergente ou par un miroir, que l'on ne retrouvera pas là. Afin de ne pas alourdir ce texte il fallait choisir, et le thème de la chambre noire est un véritable concentré de difficultés. Là aussi, nous avons choisi de n'approfondir que les aspects les plus fondamentaux, essentiellement les points 1, 2, 3 et (partiellement) 5 de la liste de difficultés conceptuelles qui clôt notre "état de la question", c'est à dire ce qui concerne les propriétés de base de la lumière.

Le lecteur trouvera ensuite l'exposé détaillé et motivé, séquence par séquence, de nos propositions d'enseignement. Cinq séquences portent respectivement sur les thèmes suivants:

1. La composition de la lumière blanche, le rôle des filtres et de l'écran diffusant, les synthèses soustractive et additive.

2. La propagation rectiligne et isotrope de la lumière. Thème de synthèse entre les deux premières séquences : les "ombres colorées".

3. Les lentilles (simples et convergentes) : notion d'image à partir d'une schématisation fondée sur des manipulations expérimentales, rôles de tous les éléments de la chaîne optique, luminosité et netteté de l'image.

4. Prise de distance par rapport aux procédés de visualisation des pinces lumineuses.

5. La chambre noire, thème de synthèse : analyse de l'influence de la forme et de la taille du trou dans les deux cas suivants : le trou est vide, ou bien il est recouvert d'une lentille.

La troisième partie de notre étude porte sur l'évaluation de l'impact de ces séquences sur un groupe d'enseignants ayant suivi le dernier de nos stages. Ce ne sont pas directement leurs acquis conceptuels que l'on évalue (cela a été fait en partie dans d'autres stages, voir Annexe A). Il fallait se faire une idée sur ce point, mais aussi sur le degré d'adhésion des enseignants à la proposition pour une reprise à leur compte dans leur propre enseignement. A cette fin, nous avons procédé à travers des questions de deux types :

* d'une part, celles portant sur les détails des activités (l'épisode ou l'aspect le plus surprenant, difficile, décevant, etc, pour quelles raisons?), que nous avons posées à la fin de chacune des cinq séquences;

* d'autre part, des questions plus générales, sur l'intérêt de la formation proposée pour l'enseignant et sur ses intentions quant à l'utilisation (ou non) ultérieure (quelles séquences, dans quel ordre?) des éléments des activités proposées. Ces questions ont été posées au cours du bilan général à la fin du stage.

Enfin on trouvera un bilan de cette recherche et notre conclusion.

CHAPITRE 1

INVESTIGATION DES DIFFICULTES COURANTES EN OPTIQUE ELEMENTAIRE - EXEMPLE DE LA CHAMBRE NOIRE

1.1. Introduction

Nous venons de préciser, dans l'introduction générale, nos raisons de choisir la chambre noire comme thème privilégié d'investigation sur les raisonnements courants.

L'analyse des programmes [86] et des manuels de quatrième, la faveur dont ce thème jouit en tant qu'introduction à l'optique géométrique, pourraient laisser croire qu'il est à la fois simple et formateur.

En fait il met bien en jeu de façon incontournable les notions fondamentales de l'optique : propagation rectiligne et isotrope de la lumière, mais de manière déjà complexe.

En effet, le principe du fonctionnement de la chambre noire peut se résumer en correspondance entre un point-source et une aire lumineuse ("image") sur l'écran diffusant, la forme de cette aire reproduisant la forme du trou. L'explication fait appel à la propagation rectiligne de la lumière⁶.

Une des difficultés du modèle, dans sa version enseignée habituellement, vient du fait que le concept de lumière n'est pas construit préalablement, ce qui laisse les élèves avec les conceptions courantes sur la lumière. Ces conceptions, étudiées depuis une quinzaine d'années, manifestent une grande invariabilité à travers des langues et des traditions différentes dans de nombreux pays (pour les enquêtes avant enseignement Cf. par exemple [2], [21], [35] et [70], les enquêtes menée après enseignement [12], [19], [22] et [47]).

⁶ La taille du trou et les distances en jeu permettent de négliger tous les effets de diffraction dans les dispositifs évoqués ici.

L'autre difficulté est liée à la complexité du passage entre le principe du fonctionnement de la chambre noire, énoncé pour un point-objet et le cas où l'objet est étendu. Chaque point de l'objet envoie alors (émet ou diffuse) la lumière dans toutes les directions dont celle du trou de la chambre noire. La schématisation habituelle ne représente que la lumière issue de quelques points (le plus souvent les deux extrémités) de l'objet, et pour un point donné, on ne s'intéresse qu'aux rayons qui limitent le faisceau pénétrant dans le trou. Dans le cas classique - un objet étendu très grand par rapport aux dimensions du trou (par exemple un arbre ou un monument), ce faisceau est représenté par un seul rayon comme sur la figure 1.

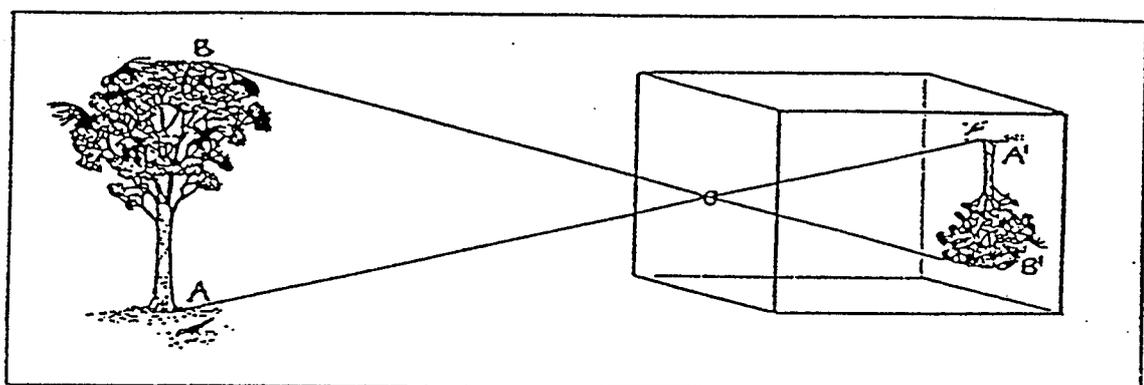


Figure 1 - Représentation habituelle du fonctionnement de la chambre noire

Le danger vient d'un glissement possible vers l'idée que seule existe une correspondance globale entre l'objet entier et tout ce qu'on voit sur l'écran. Le schéma de la figure 1, souvent le seul enseigné, ne rend pas facilement compte de la correspondance entre chaque point de l'objet étendu et sa figuration sur le fond de la chambre noire. Pour ne citer qu'un exemple, les élèves affirment fréquemment: "Le trou concentre la lumière de la source" ([22] Feher-Rice, *A comparison of teacher-student conceptions in optics*).

Un autre aspect difficile de l'analyse du fonctionnement de la chambre noire est le rôle de l'écran diffusant. Cet écran est indispensable pour former la figuration de la source, qui ne devrait pas (en toute rigueur) être confondue avec une image : en optique, le point-image (réel) est défini comme celui où converge toute la lumière issue du point-objet, après passage par le système optique. L'image est formée par le système optique, son existence est indépendante de l'écran et

elle peut être vue "dans l'espace"⁷ - l'écran ne sert qu'à diffuser la lumière pour faciliter l'observation. En revanche, l'aire lumineuse sur l'écran de la chambre noire, correspondant à un point-objet, n'est pas localisée dans l'espace, elle n'existe que grâce à la diffusion à partir de l'intersection de l'écran avec le faisceau de la lumière envoyé par le point-objet et délimité par le bord du trou. Si l'écran est enlevé, la figuration de l'objet ne peut plus être formée; si l'oeil de l'observateur reçoit la lumière issue de l'objet alors il voit cet objet directement (comme par le trou de la serrure).

Dans l'étude exploratoire présentée ici, réalisée en 1989, nous avons voulu voir les difficultés qui demeureraient chez des élèves de quatrième après l'enseignement, et celles d'enseignants de collège de ce niveau. Nous avons également cherché à savoir qu'elle était l'opinion des professeurs en exercice sur les réponses que nous obtenions de la part de ces sujets. Ce jugement a apporté une dimension supplémentaire à notre analyse de résultats. En effet, dans l'idée de réponse "acceptable", il existe une possibilité de tolérance à l'égard des éventuels écarts par rapport à la prévision exacte, correctement justifiée. L'étendue de ces écarts tolérés par les maîtres de collège qui examinent les réponses des élèves peut apporter des éléments d'information sur les objectifs didactiques habituellement associés au thème de la chambre noire.

Notre enquête se centre sur les aspects les plus fondamentaux de la compréhension de ce dispositif, qui sont à la base de l'optique élémentaire et non à ceux, plus complexes, qui conduisent à une compréhension complète de la correspondance globale entre objet étendu et forme lumineuse sur l'écran, ou de la non-localisation de la figuration d'objet dans l'espace.

⁷ Cf [19], [34] et [46] pour le cas de la lentille mince convergente.

1.2. Présentation de l'enquête

En effet, les éléments conceptuels détaillés ci-dessus que nous avons retenu comme objets principaux de cette enquête sont :

- * Maîtrise de la correspondance ponctuelle entre un point-source et une aire lumineuse (figuration de la source) sur l'écran diffusant.
- * Rôle de l'écran.

A travers ceci nous avons souhaité explorer la façon dont les sujets mettaient en oeuvre, pour ce dispositif, les notions fondamentales :

- * sur la lumière - propagation rectiligne et isotrope,
- * sur la vision d'objets lumineux ou diffusants.

Des réponses ont été recueillies à l'aide d'un questionnaire papier-crayon qui comportait trois questions concernant trois montages expérimentaux, placés devant élève ou professeur et schématisés sur la feuille de réponse. Ces montages ont été construits en rassemblant le moins d'éléments possible. Aucun d'eux ne ressemble véritablement à la chambre noire. Au lieu d'une boîte fermée, nous n'avons gardé que ses deux faces "pertinentes": par exemple pour la question 1, la face avant avec un trou et la face arrière où un écran diffusant en bristol blanc remplace le papier calque traditionnel. Pour simplifier l'aspect purement géométrique du montage, nous avons imposé la même distance entre la source de lumière et l'écran avec un trou que celle entre le trou et l'écran diffusant. De même, dans tous les trois montages, au lieu d'une source de lumière étendue, nous avons placé une petite ampoule halogène qui, compte tenu de la taille du trou, pouvait être assimilée à une source ponctuelle.

Nous avons ainsi renoncé par avance à faire varier, comme les programmes nous y incitent, des paramètres qui, dans des conditions expérimentales "classiques", correspondent à la longueur de la chambre noire et la distance de l'objet au trou. En revanche, nous remplaçons un trou déjà grand (4 mm de diamètre) du montage de départ par les trois trous encore plus grands (6 mm de diamètre) dans le montage qui sert pour la question 3.

Dans toutes les questions, la tâche consiste à prévoir

l'effet d'une modification spécifique du montage, indiquée dans la consigne ("Que verra-t-on si..."). Dans les questions 1 et 3 il s'agit de prévoir ce qu'un observateur verra sur l'écran diffusant. Dans la question 2 - ce qu'il verra directement. On demande d'explicitier chaque prévision à l'aide d'un (ou de) schéma(s).

47 élèves de la classe de quatrième d'un collège de Bobigny en région parisienne, et 23 enseignants de sciences physiques de collège (Académies de Créteil et Paris) ont participé à l'enquête exploratoire en répondant aux trois questions qui seront présentées plus loin.

Douze autres professeurs de collège (Académie de Créteil) ont accepté de jouer le rôle de "juges". Les professeurs-juges n'ont pas eu eux-mêmes à répondre aux questions de l'enquête - ils ont pu vérifier toutes les prévisions en effectuant les manipulations indiquées dans les consignes. Ils connaissaient ainsi les réponses. Leur rôle de "juges" consistait à examiner toutes les prévisions recueillies pour décider, selon leurs propres critères, si elles étaient acceptables ou non.

1.3. Question 1

Cette question porte sur la compréhension du fonctionnement de la chambre noire avec une source ponctuelle.

1.3.1. Matériel et montage

Une petite ampoule halogène (A) est placée à 20 cm devant un écran diffusant (E). Le filament de l'ampoule est à 6 cm du sol environ. Un autre écran (Et), avec un trou T de 0,4 cm de diamètre, percé à 6 cm du sol environ, se trouve à mi-chemin entre la source (A) et l'écran (E) comme sur la figure 2 ci-dessous.

1.3.2. Énoncé de la question 1

Le montage, schématisé sur la figure 2, est présenté la pile débranchée pour que l'élève (ou professeur) fasse une prévision - la question posée est la suivante :

* *Que verra-t-on sur l'écran (E) si l'on allume la lampe (A)?*

* *Expliquez à l'aide d'un schéma.*

L'énoncé de la question, ainsi que le schéma du montage sont présentés sur la feuille de réponse. On précise oralement qu'il s'agit de donner une prévision détaillée, accompagnée par un schéma qui la justifierait.

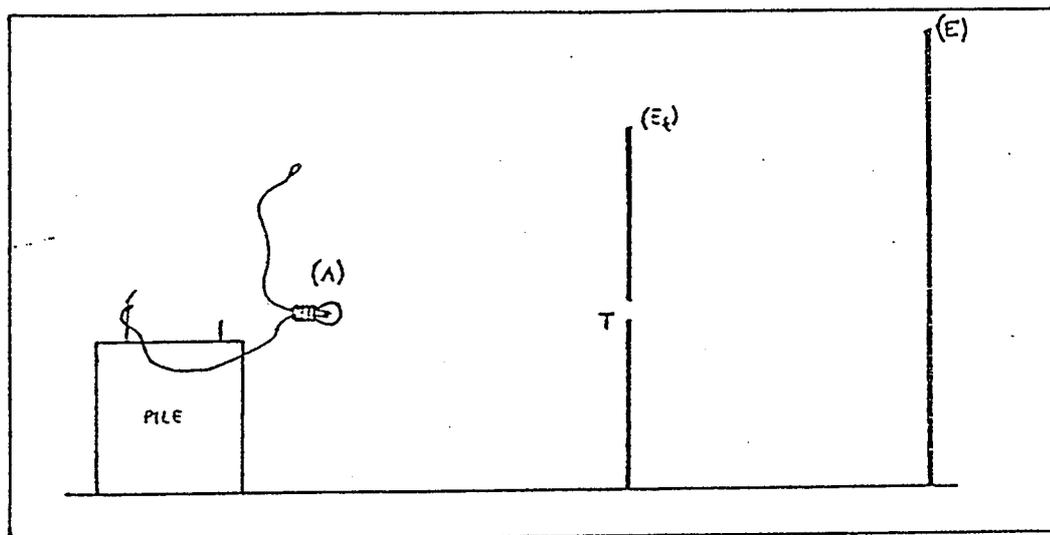


Figure 2 - Schéma du montage (pile débranchée)
servant à répondre à la question 1 (reproduit de
la feuille de réponse)

1.3.3. Réponse correcte

Si la source de lumière est assimilable à l'objet ponctuel alors, avec un trou de 4 mm de diamètre, équidistant de la lampe (A) et de l'écran (E), l'aire lumineuse sur ce dernier a un contour précis, la forme de cette aire reproduit celle du trou et son diamètre est de 8 mm. La prévision correcte est donc: **"On verra un disque lumineux sur l'écran diffusant (E)"**. Le schéma justifiant cette prévision se trouve sur la figure 3 ci-dessous.

Devant le montage réel, une autre hypothèse peut être envisagée : que l'ampoule joue le rôle d'une source étendue. Dans ce cas, des aires correspondant aux points-objets différents se chevauchent sur l'écran et constituent une tache plus grande, moins lumineuse vers sa périphérie et floue sur le pourtour. La figure 4 présente le schéma adapté à cette hypothèse.

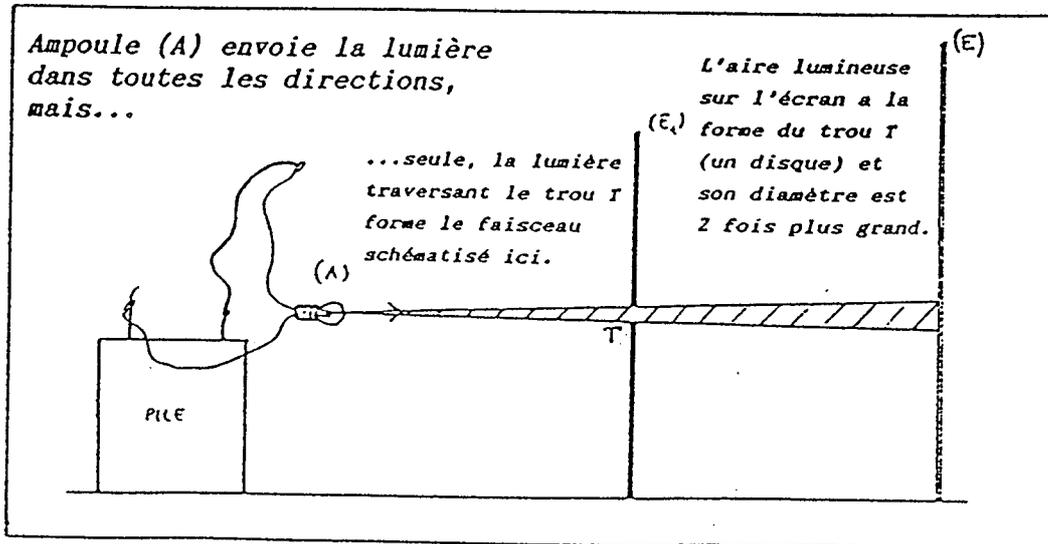


Figure 3 - Schéma justifiant la réponse correcte

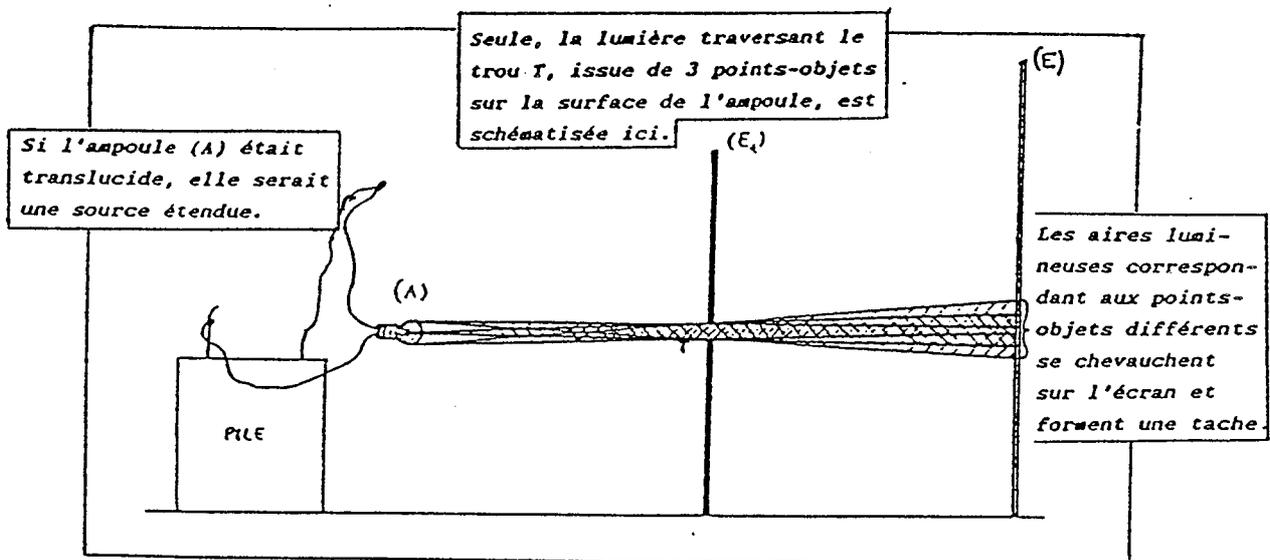


Figure 4 - Schéma justifiant la prévision dans le cas d'une source étendue

1.3.4. Prévisions recueillies

L'essentiel des résultats apparaît dans le tableau 1. Les pourcentages sont arrondis à 5% près. Les réponses ne peuvent être qualifiées de correctes sans une confrontation des

prévisions avec les schémas.

On voit:	un disque lumineux (cercle, rond)	une tache lumineuse	de la lumière (lueur, rayon)	image (reflet...)	autres et sans réponses
enseignants	10%	80%	10%	-	-
élèves	15%	20%	40%	15%	10%

Tableau 1 - Prévisions données en réponse à la question 1

Les prévisions des enseignants présentent une particularité saisissante : elles sont très laconiques. Nous n'avons trouvé aucun commentaire sur la taille de la source lumineuse par rapport à celle du trou T, aucune interprétation de la réponse donnée, aucun renseignement sur une relation possible entre ce qu'on pense voir sur l'écran (E) d'un côté et l'ampoule (A) ou le trou (T) de l'autre. Seul le schéma tracé rend ces prévisions un peu plus explicites.

Les élèves interrogés ont fourni un peu plus de détails à propos de la prévision demandée. Leurs descriptions concernent à la fois ce qui se trouve sur l'écran, le lien éventuel entre la lampe et le reste du montage et, enfin, le schéma. Aucun élève ne se prononce sur la taille du trou par rapport à celle de la lampe.

1.3.5. Schémas justifiant les prévisions recueillies

Le tableau 2 rassemble des schémas expliquant les prévisions recueillies.

10% des élèves (aucun professeur) écrivent explicitement que leur schéma représente un faisceau lumineux. Selon cette hypothèse, généralisée, sauf indice précis en sens contraire, à toutes les personnes interrogées, nous considérerons les traits liant l'ampoule (A) avec l'écran (E) comme symbolisant les rayons de lumière.⁸

⁸ Notons au passage qu'aucun élève (ni professeur) n'a dessiné l'ampoule branchée.

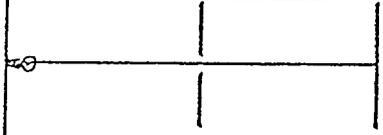
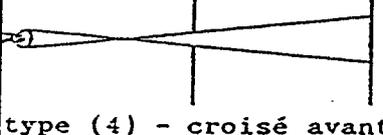
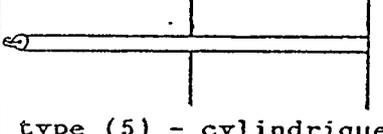
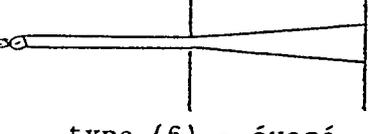
SCHEMAS TRACES	Enseignants	Elèves
 type (1) - conique	45%	5%
 type (2) - à 1 rayon	15%	15%
 type (3) - croisé dans T	10%	35%
 type (4) - croisé avant T	-	15%
 type (5) - cylindrique	5%	10%
 type (6) - évasé	15%	5%
Autres ou sans schéma	10%	15%

Tableau 2 - Schémas justifiant les réponses à la question 1 - les taux de réponses correspondant au schéma correct sont encadrés. Les pourcentages sont arrondis à 5% près.

Par conséquent, les schémas (1), (2), (3), (4) et (5) respectent le principe de la propagation rectiligne de la

lumière⁹. En revanche, sur le schéma (6) la lumière "s'évase" à la sortie du trou T. Cette manière de représenter la lumière est plutôt distinctive des conceptions d'élèves avant l'enseignement de l'optique¹⁰. Par ailleurs, seul le schéma conique (type 1) rend compte de la propagation isotrope de la lumière.

Les schémas (3), (4), (5) et (6), semblent représenter une correspondance globale entre l'ampoule (A), considérée comme une source étendue, et sa figuration sur l'écran (E) : les deux traits qui limitent le faisceau "global" sont issus chacun d'une extrémité de l'objet et arrivent à l'extrémité correspondante de l'aire éclairée sur (E)¹¹. Notons aussi que sur les schémas (2) et (3), le trou T n'est pas "rempli" par la lumière qui le traverse.

On observe une prédominance du schéma (1) chez les enseignants (45%) et du schéma (3) chez les élèves. Plus généralement, les enseignants traitent majoritairement l'ampoule comme une source ponctuelle (60%) tandis que, dans une proportion analogue (65%), les élèves établissent une correspondance globale entre la source, considérée comme étendue, et son image.

1.3.6. Confrontation des prévisions avec les schémas

Une confrontation des prévisions avec les schémas qui les accompagnent permet de préciser davantage les réponses recueillies :

* "On verra un disque lumineux" appelle, pour les enseignants (10%), un schéma du type 1 (schéma conique - réponse correcte). En revanche, pour les élèves, cette prévision est suivie par les schémas de types (2), (3), (4) et (5) avec les fréquences du même ordre de grandeur.

Ce "disque" n'est donc pas, pour ces derniers, interprété par un schéma témoignant d'une compréhension sans ambiguïté, soit d'une correspondance point-disque (schéma 1), soit d'une correspondance source étendue-disque (figure 4). En ce sens,

⁹ Ces cinq types de schémas ont tous été observés dans une enquête (après enseignement [19]) déjà citée.

¹⁰ La moitié d'adolescents de 16-17 ans avant l'enseignement schématise ainsi [49].

¹¹ Le principe que chaque point-objet n'émet qu'un rayon dans la direction du trou de la chambre noire figure fréquemment dans les manuels scolaires (Cf aussi [22]).

la seule réponse verbale "disque" ne nous semble pas suffisante pour conclure sur la compréhension du mécanisme de formation du "disque" en question.

* *"On verra une tache lumineuse"*: cette prévision peut se trouver associée, dans les deux populations interrogées, à chacun des 6 types de schémas. Mis à part le schéma conique proposé par 35% des enseignants (mais 5% seulement des élèves), les pourcentages correspondant aux autres schémas sont du même ordre de grandeur.

Une tache semble donc désigner indifféremment la figuration d'un point-objet avec le schéma conique (réponse correcte), l'"image" globale d'une source étendue avec un des schémas (3), (4) ou (5), un éclairage diffus de l'écran avec le schéma évasé (6), ou bien, elle accompagne une absence d'analyse avec le schéma à un seul rayon (type 2).

* *"On verra de la lumière sur l'écran"*: la réponse donnée majoritairement par les élèves, est accompagnée par l'un des schémas (2), (3), (4), (5) et (6). Cet ensemble de schémas laisse penser que dans cette prévision se manifestent les mêmes difficultés que dans les précédentes : une prédominance d'analyse globale et un manque de précision sur le mécanisme physique en jeu. Ce flou s'étend à une confusion entre la lumière-faisceau et la lumière désignant une surface-éclairée-de-l'écran. La figure 5 en montre deux exemples.

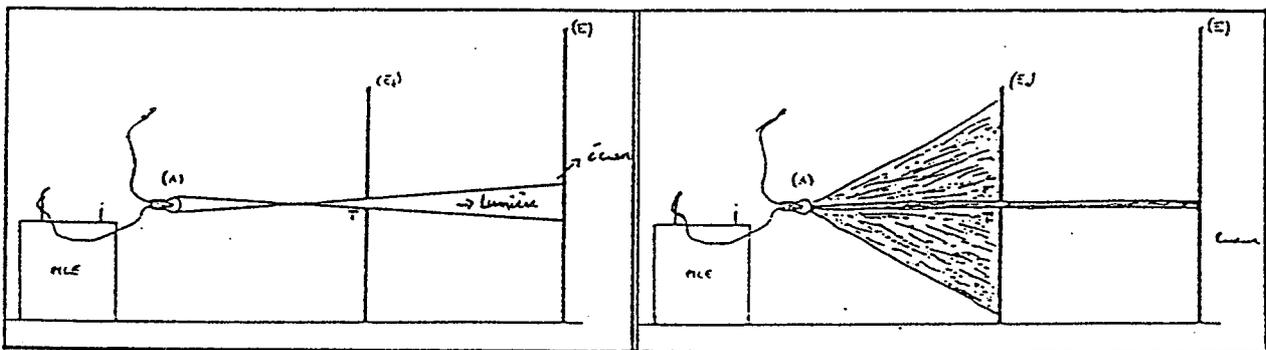


Figure 5 - Schémas accompagnant les réponses d'élèves :
"On verra de la lumière sur l'écran" (à gauche)
 et *"Nous voyons une petite lueur qui se reproduit sur (E). Toute la lumière s'arrête sur (E_t) sauf une petite lueur passant par le trou."* (à droite).

L'élève qui a tracé le schéma reproduit à gauche, emploie le même mot, *lumière*, pour désigner d'un côté le faisceau entre l'ampoule et l'écran et, d'un autre côté, ce qu'il pense

voir sur l'écran. De même, dans le deuxième exemple (à droite), le terme : "une petite lueur" annonce à la fois ce qui passe par le trou et ce qui est vu sur l'écran. Le commentaire de cet élève exprime une conception de la lumière qui "s'arrête" et ne repart pas d'une surface éclairée - cette idée refuse le concept de la diffusion et, en outre, est inconciliable avec l'interprétation de la vision en termes de lumière qui doit arriver dans l'oeil pour provoquer une impression visuelle ([69] entre autres).

Les enseignants qui ont fait cette même prévision, ont choisi soit le schéma à un rayon (type 2) qui évite aussi bien les difficultés que la compréhension, soit le schéma évasé (type 6). Là encore une réponse à priori correcte et en tout cas bien anodine ne garantit donc à peu près rien en matière de compréhension des concepts de base explorés ici, essentiellement la propagation rectiligne et isotrope de la lumière.

* "On verra l'image" - cette réponse est toujours justifiée par le schéma du type 3. La figure 6 en présente un exemple.

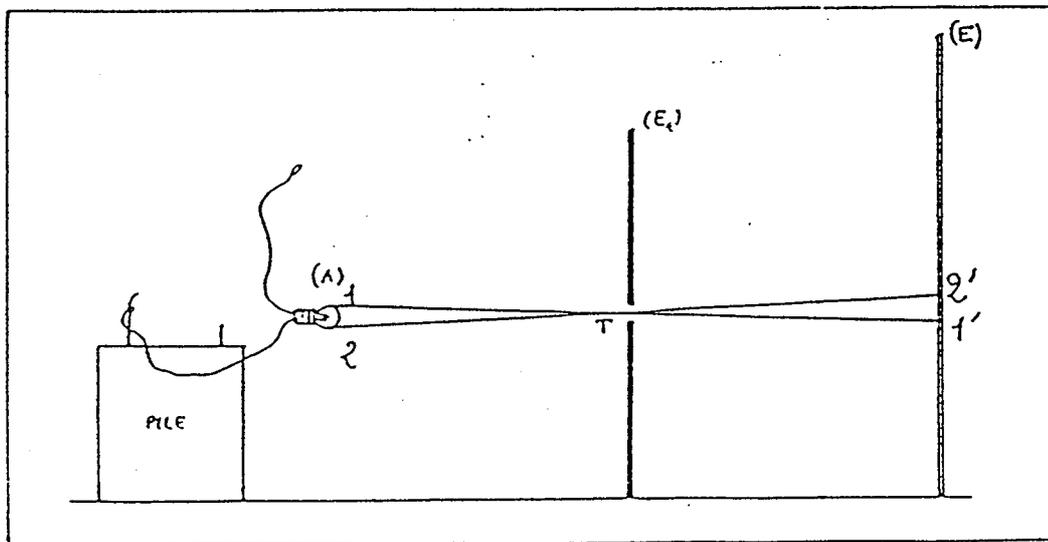


Figure 6 - Schéma justifiant la prévision d'un élève "L'image se reproduira à l'envers sur l'écran (E). On verra une tache de même grosseur que la source."

Les notations ajoutées de chaque côté de l'ampoule et sur l'écran, indiquent qu'il s'agit de l'image inversée de la source. La taille du trou est ignorée.

Le schéma "scolaire", adapté à une situation tout à fait différente (grande source d'une forme caractéristique, petit trou), témoigne ici qu'il a été appris, mais qu'il n'a pas été compris. La correspondance globale objet-"image" n'est pas conciliée avec le concept plus fondamental de correspondance ponctuelle, où la taille et la forme du trou déterminent (grâce à la propagation rectiligne et isotrope de la lumière) l'aire lumineuse sur l'écran qui constitue la figuration de chaque point-objet.

Notons, que 20% d'enseignants, sans écrire le mot "image", ont dessiné des petites flèches sur leurs schémas et ces flèches pointent toutes vers le bas. On trouve parmi eux tous ceux (10%) qui ont fourni un schéma du type 3 : il y a là une certaine logique, la flèche retournée étant l'évocation du retournement de l'image, celui-ci étant lui même l'impératif sous-jacent au schéma 3. Mais on trouve également 10% d'entre eux qui ont superposé cette flèche à un schéma conique qui lui, ne rend absolument pas compte d'un retournement d'image (de ce fait ces schémas incohérents sont classés dans la colonne "Autres ou sans schéma" du tableau 2). La figure 7 montre une telle réponse.

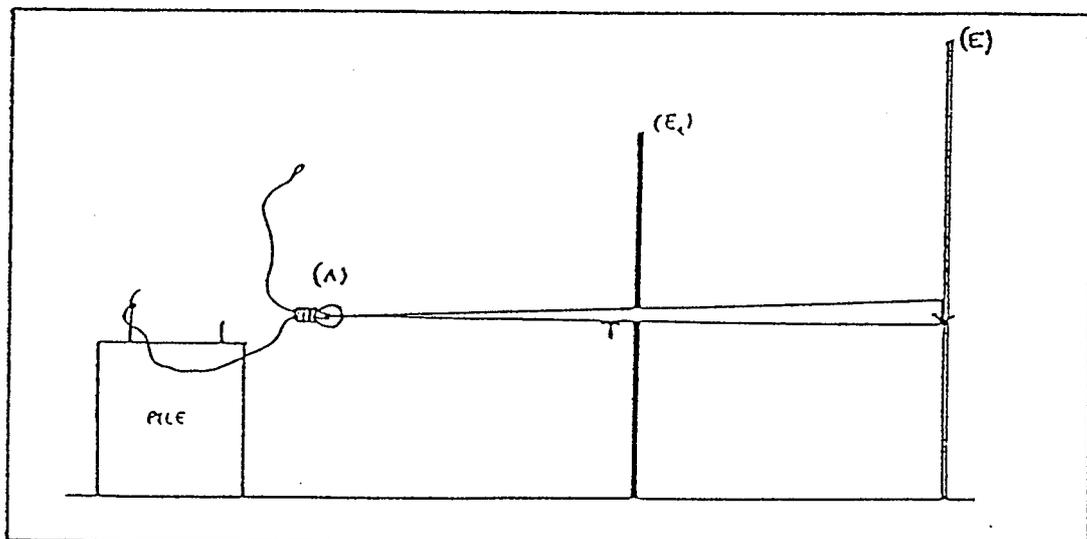


Figure 7 - Réponse d'un enseignant - la petite flèche sur l'écran, indiquant une "image inversée" est en contradiction avec le reste de son schéma.

Nous avons déjà signalé que la taille du trou T n'était commentée par aucune personne interrogée. On peut, néanmoins, penser que ce trou, un peu trop grand par rapport à celui de la chambre noire vue en classe, a perturbé certains élèves. 5%

d'entre eux ont mentionné que la "tache" ("rond", "lumière") prévue sur l'écran (E) "n'est pas nette mais la luminosité est grande" (ou "On verra une lumière floue"). Leurs prévisions sont accompagnées des schémas du type (1), (3) ou (4) qui ne rendent absolument pas compte de cet effet. Ces élèves ont mémorisé l'information que plus le diaphragme est grand plus "l'image" est floue, mais ils ne savent pas l'interpréter à l'aide du schéma.

Cette confrontation des prévisions avec les schémas nous amène à regarder d'un oeil neuf des commentaires qui à première vue peuvent sembler témoigner d'une compréhension du problème posé. En effet, une même prévision, par exemple : "On verra une tache lumineuse", acquiert, selon le type de schéma qui la justifie, une signification particulière. Avec un schéma de type (1), "une tache" désigne l'aire lumineuse sur l'écran, éclairée par la source ponctuelle, et délimitée en raison de la forme et de la taille du trou. Mais, même avec ce schéma, il est possible de donner une réponse incohérente comme celle de la figure 7. En outre, "une tache", associée à un des schémas de type (3), (4) ou (5), inadaptés à la situation expérimentale imposée, devient "l'image" globale de l'ampoule et, avec un schéma à un rayon (2) ou "évasé" (6), elle cesse d'avoir une quelconque signification précise.

1.3.7. Appréciation des réponses recueillies par les enseignants-juges

Notons enfin que toutes les prévisions et tous les schémas ont été soumis au jugement de 12 enseignants de collèges, pour décider s'ils étaient acceptables ou non. Les prévisions jugées "inacceptables" ont été classées dans la colonne "Autres et sans réponse" du tableau 1. Les schémas déclarés "inacceptables" - se trouvent dans les lignes "Schéma évasé (6)" et "Autres et sans schéma" du tableau 2. Toutes les prévisions analysées ci-dessus associées aux schémas (1), (2), (3), (4) et (5) ont reçu une approbation majoritaire. La dispersion de ces réponses et la grande tolérance des enseignants à leur égard laissent penser que la compréhension de ces points délicats n'est pas perçue par les professeurs.

1.3.8. Résumé des résultats (question 1)

L'analyse des prévisions et des schémas qui les accompagnent permet de conclure que la compréhension de deux types de correspondance - ponctuelle et globale - entre l'objet et sa figuration sur l'écran, est loin d'être

maîtrisée par les personnes interrogées.

Le lien entre l'objet et l'écran, à savoir la lumière émise par l'ampoule, n'est jamais mentionné par les enseignants. 10% des élèves l'indiquent sur leurs schémas mais, en employant des termes identiques à ceux qui désignent l'aire lumineuse sur l'écran. Nous examinerons cette ambiguïté plus en détail à l'aide de la question 2.

La source est considérée (toujours implicitement) comme un objet ponctuel par la majorité des enseignants et comme un objet étendu par la plupart des élèves. Mais aucun schéma illustrant cette dernière hypothèse ne rend compte du rôle de la taille et de la forme du trou dans la formation de ce que l'on voit sur l'écran. Le schéma (3) garantit seulement l'inversion de l'*image*, le schéma (5) assure le remplissage du trou, et le schéma (4) - les deux. Une majorité de réponses, dans les deux populations, donne l'impression qu'on n'est pas loin de tracer des traits à peu près au hasard, pourvu qu'ils "remplissent un trou" et "fassent une tache sur l'écran".

La meilleure maîtrise conceptuelle des enseignants ne se manifeste que chez une moitié d'entre eux (schéma 1 - 45%). Quant aux élèves, ils semblent avoir surtout tiré de l'enseignement reçu l'idée quelque peu stéréotypée du schéma global croisé (schémas 3 et 4 - 50%), sans le support d'une analyse conceptuelle bien précise.

1.4. Question 2

Une modification de la situation expérimentale utilisée dans la question 1, a pour but de vérifier la compréhension d'un point : pour voir un objet, il faut que ce dernier envoie la lumière jusqu'à l'oeil. Pour cela nous imposons trois positions de l'oeil de l'observateur.

1.4.1. Matériel et montage

Dans le montage précédent, l'écran diffusant (E) est remplacé par un écran (E_{3t}) avec trois trous :

- T₁ à 3 cm du sol environ,
- T₂ à 6 cm du sol environ,
- T₃ à 9 cm du sol environ.

Chacun des trous T₁, T₂ et T₃ a 6 mm de diamètre. Ils sont

donc plus grands que le trou T (de diamètre 4 mm) dans l'écran (E_t). Ce fait rend plus facile la tâche de l'observateur (Cf plus loin).

L'ampoule (A), de position inchangée (10 cm devant l'écran (E_t) et 6 cm au-dessus du sol), repose sur un support en carton. Un écran noir est placé derrière l'ampoule (A), comme sur la figure 8 ci-dessous.

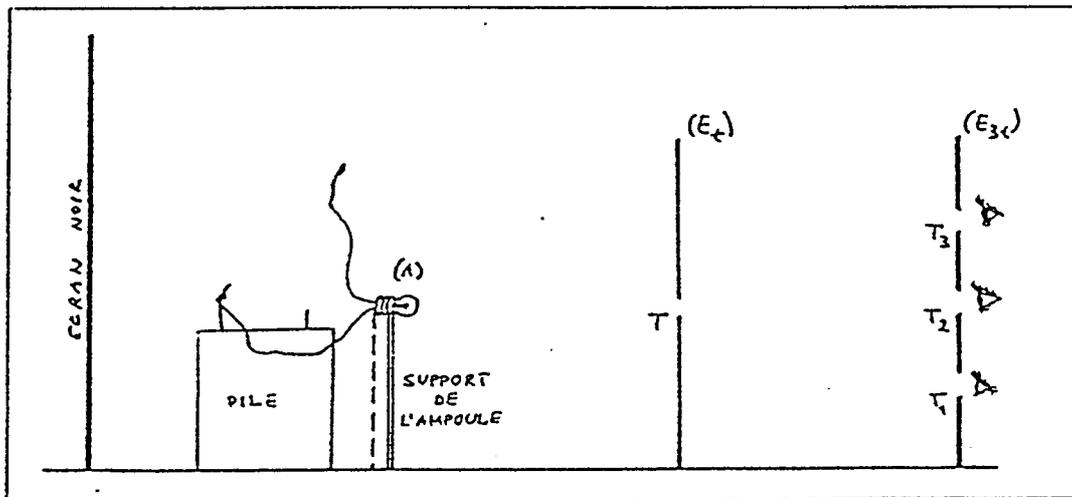


Figure 8 - Schéma du montage (pile débranchée) servant à répondre à la question 2 (reproduit de la feuille de réponse)

L'observateur, derrière l'écran (E_{3t}), est invité à regarder par chacun des trous T_1 , T_2 et T_3 à travers le petit trou T. La pile étant débranchée, il aperçoit, dans la lumière ambiante, l'écran noir (ou "le trou noir") par le trou T_1 , l'ampoule (A) par le trou T_2 et le support de l'ampoule par le trou T_3 . Notons que la pile se trouve à côté de l'axe du montage; elle ne peut donc pas être vue à travers T et T_3 (Cf Figure 8).

1.4.2. Enoncé de la question 2

La prévision demandée concerne l'observateur derrière l'écran (E_{3t}).

* Que peut-il voir si l'ampoule est allumée :

- par les trous T_1 et T?
- par les trous T_2 et T?

c) par les trous T_3 et T ?

* Expliquez à l'aide des schémas.

1.4.3. Réponse correcte

La position de l'ampoule (A) par rapport au trou (T) n'a pas changé - la seule modification consiste à remplacer trois endroits de l'écran diffusant par l'oeil de l'observateur.

* Derrière le trou T_1 , il n'est aligné qu'avec l'écran noir qui, même éclairé par l'ampoule allumée, ne diffuse que très peu de lumière susceptible d'arriver jusqu'à l'oeil. L'observateur reconnaîtra alors l'écran noir (ou "du noir").

* Derrière le trou T_2 , l'oeil de l'observateur reçoit directement la lumière émise par l'ampoule (A). Il verra donc cette dernière.

* Derrière le trou T_3 , il se trouve "en face" d'un autre objet qui peut lui envoyer la lumière : le support de l'ampoule en carton clair, éclairé lui-même par la lampe. L'oeil de l'observateur reçoit donc, à travers le trou T dans l'écran (E_t), la lumière diffusée par le carton, et il le voit en identifiant le support de l'ampoule.

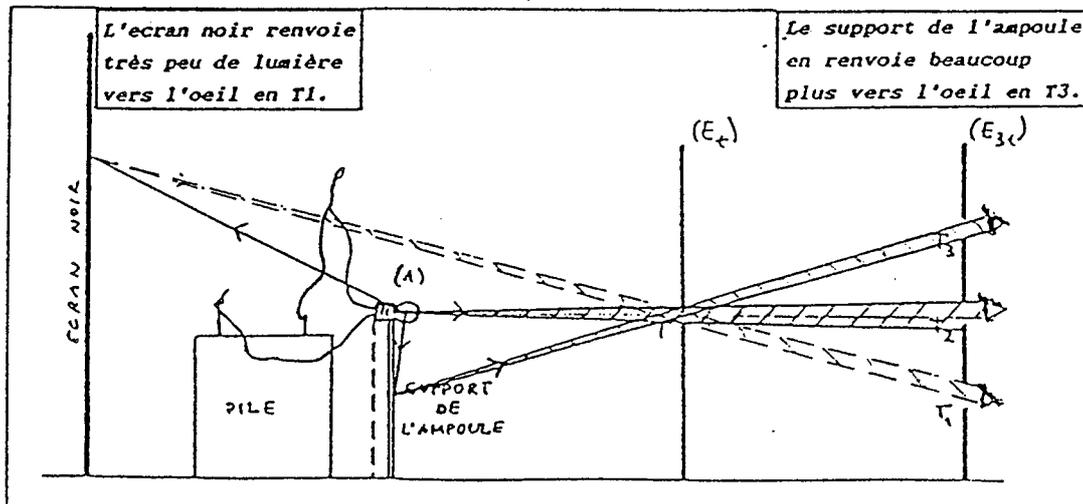


Figure 9 - Schéma justifiant la réponse correcte (Cf le texte).

Le schéma justifiant cette prévision est présenté sur la figure 9.

1.4.4. Prévisions recueillies

Les prévisions concernant ce montage sont rassemblées dans le tableau 3.

On voit	Trou en face de la lampe		Les deux autres trous	
	enseignants	élèves	enseignants	élèves
ampoule	75%	15%	-	-
l'écran noir par T1 et le support par T3	-	-	5%	5%
tache lumineuse (lumière, rayon, etc.)	50%	60%	50%	25%
sans réponse mais un schéma de type 1 à 5	10%	10%	-	-
"On ne voit rien" (du noir, etc)	-	-	20%	15%
Autres ou sans réponse	15%	15%	25%	55%

Tableau 3 - Prévisions données en réponse à la question 2. Les pourcentages sont arrondis à 5% près.

Comme pour la question 1, les réponses des enseignants sont très succinctes. En revanche, cette fois les prévisions des élèves sont presque aussi sommaires que celles des professeurs. Les deux positions de l'oeil - derrière T₁ et T₃, sont traitées ensemble, en une prévision commune, souvent sans schéma. Il n'y a aucune allusion au fait que le carton du support de l'ampoule diffuse la lumière, aucune interprétation de la réponse donnée. Ici aussi nous commenterons ces résultats compte tenu des schémas qui accompagnent les réponses.

1.4.5. Schémas justifiant les prévisions recueillies

Parmi les schémas justifiant les prévisions recueillies, on retrouve tous les six types déjà utilisés. Mais, pour une majorité des enseignants (65%) et des élèves (70%), le montage étant modifié par rapport à la question précédente, ces schémas ne sont tracés que pour expliquer ce que verra l'observateur en position T₂. Pour cette position, on observe comme précédemment la faveur des enseignants pour le schéma conique (1) et des élèves pour le schéma de type (3).

Les prévisions concernant les deux autres positions de l'oeil sont accompagnées des schémas chez 35% des enseignants et 25% des élèves seulement.

Par ailleurs, même pour justifier la réponse pour la position T₂, 55% des enseignants et 65% des élèves changent la manière de schématiser d'une question à l'autre. Les fréquences d'emploi du même type de schéma pour la question 1 et pour cette partie de la question 2, apparaissent dans le tableau 4. On notera leur faiblesse.

Type de schéma	type (1) conique	type (3) dans T	type (4) avant T	type (5) cylindrique	type (6) évasé
enseignants	30%	-	-	5%	10%
élèves	5%	20%	5%	5%	-

Tableau 4 - Schémas du même type pour la question 1 et la position T₂ de la question 2. Au total 45% des enseignants et 35% des élèves.

1.4.6. Confrontation des prévisions avec les schémas

* "On verra l'ampoule" par T₂ (réponse correcte) - est expliquée par un schéma conique (1) par 15% des enseignants et moins que 5% des élèves. Par ailleurs, certains enseignants associent cette prévision à un schéma cylindrique (5) ou "évasé" (6). Les élèves emploient plutôt le schéma (3) (10%

d'entre eux), les autres choix sont répartis parmi les types (1), (2) et sans schéma.

* "On verra l'écran noir par T_1 et le support de la lampe par T_3 ." Cette prévision, justifiée par un schéma de type (1), constituerait la réponse correcte (Cf la figure 9 ci-dessus). Elle est donnée, toujours sans schéma, par 5% des enseignants et par moins que 5% des élèves. Dans les deux cas, il n'y a aucun autre commentaire.

* "On verra une tache lumineuse (une lumière, un rayon, un faisceau, une lueur, un reflet)". Pour chacune des positions T_1 , T_2 et T_3 , cette prévision est donnée par le plus grand nombre d'enseignants et d'élèves (Cf Tableau 3). Elle est accompagnée par chacun des types de schémas : (1) à (6) et "Autres" pour les élèves; (1), (2), (5), (6) et "Autres" pour les enseignants. Ces schémas, pour 35% des élèves et 25% des enseignants, ne justifient que leur réponse pour la position T_2 . En outre, 10% des élèves tracent leur schéma évasé (6) comme si les traits reliant le trou T avec les positions T_1 et T_3 de l'oeil avaient un autre statut que ceux qui partent de l'ampoule vers la position T_2 . La figure 10 en donne un exemple; la réponse de cet élève est : "Dans le T_3 on voit une lueur, dans le T_2 l'ampoule nous éclaire les yeux, nous sommes éblouis par l'ampoule, la hauteur de l'ampoule étant à la hauteur du T_2 . Dans le T_1 on voit une lueur."

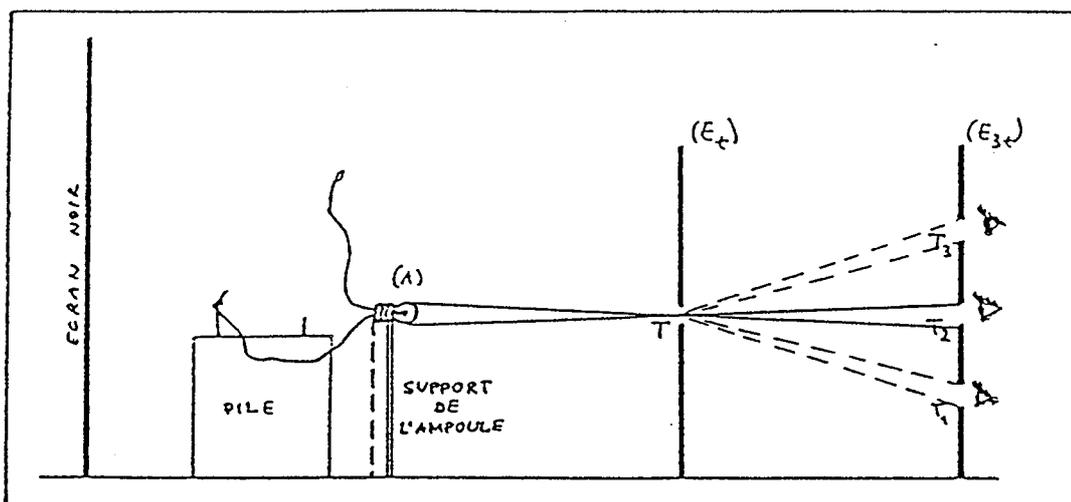


Figure 10 - Schéma tracé par un élève en réponse à la question 2 (voir le texte).

On peut penser que la partie du schéma en trait plein représente ici la lumière, émise par l'ampoule et reçue par

l'oeil de l'observateur. En revanche, il n'y a aucune indication explicite du sens des pointillés. Ce type de réponses montre l'existence de deux conceptions différentes de la vision : une pour la source ("ampoule nous éclaire les yeux") avec la lumière comme le lien entre ce qui est vu et l'oeil; l'autre conception, où ce lien reste implicite, sinon inexistant, est utilisée ici pour "voir une lueur".

En outre, sur les schémas, tracés par 10% des enseignants et 5% des élèves, les traits qui lient les positions T₁ et T₃ avec le trou T, sont prolongés et se terminent "en l'air", comme sur la figure 11. La prévision associée à un tel schéma distingue la position T₂ : "On voit la lampe" ou "une lumière" et les deux autres, T₁ et T₃ : "On voit les rayons", "une tache" ou "de la lumière".

Le statut de ces traits n'est jamais commenté. On peut probablement, compte tenu de leur départ (ou peut-être leur arrivée ?) "en l'air", écarter l'hypothèse qu'ils représentent des rayons lumineux.

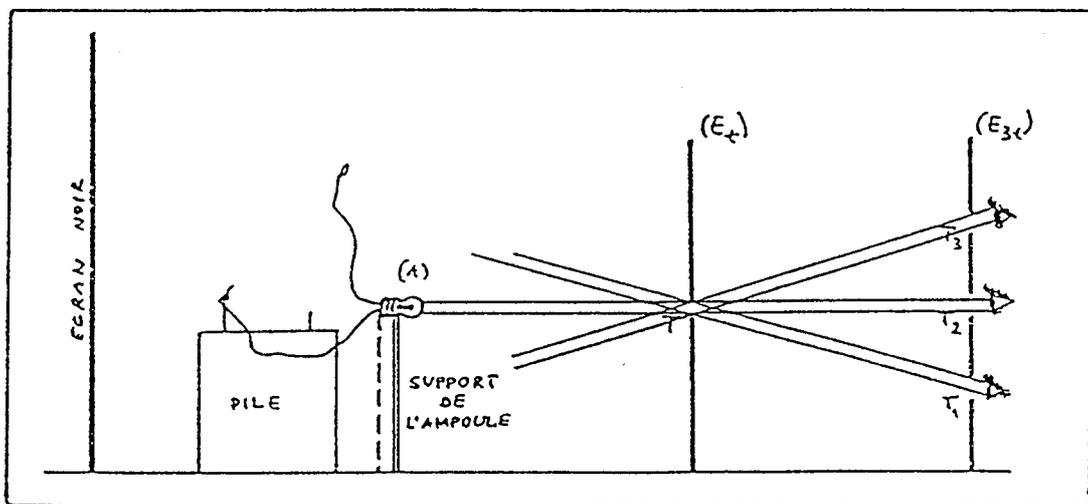


Figure 11 - Schéma tracé par un enseignant en réponse à la question 2 (voir le texte)

Dans la même catégorie de prévisions ("On voit la lumière"...), d'autres difficultés se manifestent liées au rôle de l'écran noir dans le montage. 15% des enseignants et 15% des élèves font part dans leur réponses de la présence de cet écran noir derrière l'ampoule, sans pour autant dire qu'on le voit. Cet écran permet à ces personnes de voir des "taches" ou

des "reflets", pour la plupart d'entre eux. Des schémas très variés justifient ce type de prévisions. La figure 12 en montre un exemple.

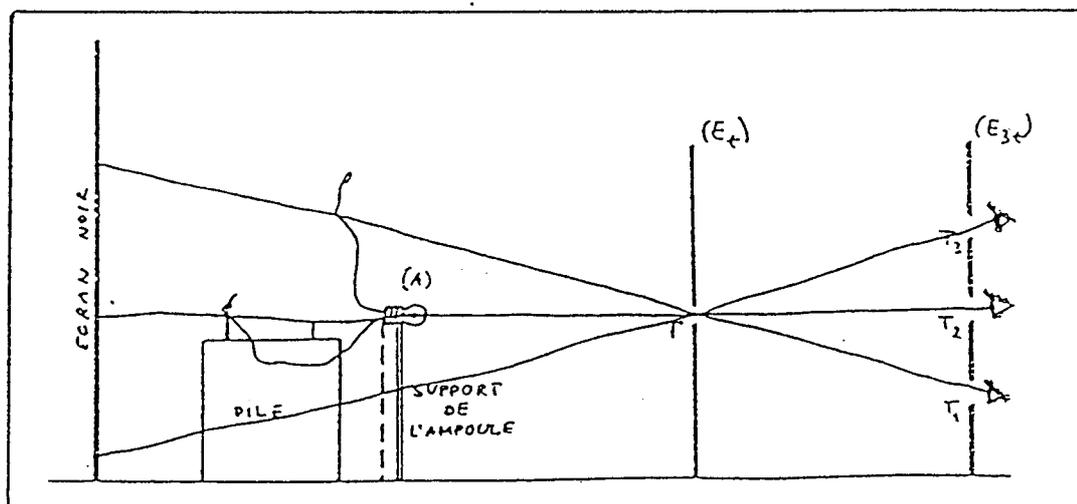


Figure 12 - Schéma justifiant la prévision d'un élève :
 "Les taches T_1 , T_2 , T_3 , se reproduisent en passant par T en recevant la lumière. De plus ils se reposent sur l'écran noir mais les points sont inversés."

L'élève qui a tracé ce schéma, emploie pour les trous T_1 , T_2 et T_3 le mot "taches", utilisé par la majorité de personnes interrogées dans le sens de "taches lumineuses". Ici, ces "taches" passent par le trou T , reçoivent "la lumière" et terminent leur parcours "en se reposant" sur l'écran noir.

Le statut des traits sur ce schéma semble être celui des "trajets des taches". On retrouve, d'ailleurs, les traces d'un raisonnement à partir de l'œil dans les réponses de 10% des élèves et 5% des enseignants. Parfois ce sont des flèches sur des traits dirigées de l'œil vers l'endroit où ils pensent voir "la lumière", "des taches" ou "le reflet du point lumineux de la lampe". L'œil n'est probablement pas considéré ici comme récepteur de lumière.

Dans la réponse citée ci-dessus (figure 12), un schéma à première vue anodin, accompagne un commentaire pour le moins peu canonique. Or, seulement 25% des enseignants et 25% des élèves interrogés ont formulé leurs prévisions en employant plus d'une phrase et ces prévisions témoignent de difficultés que les schémas seuls ne laisseraient point se manifester. Quant aux autres, ils se sont contentés d'expressions telles que : "ampoule en T_2 ", " T_1 et T_3 : taches lum.", "toujours une

tâche" ou "on voit noir" pour toute explication.

De plus, seulement 5% des enseignants et 5% des élèves interrogés ont précisé la signification des traits liant le trou T avec les yeux derrière T_1 ou T_3 - ces traits représentent "la lumière". Mais une comparaison des réponses aux questions 1 et 2 pour ces mêmes personnes révèle une contradiction. Alors que l'écran diffusant E (question 1) recevait la lumière "en face" de l'ampoule seulement, en accord avec le principe de la propagation rectiligne, l'écran E_t (question 2) en reçoit à chaque endroit où l'on a percé un trou pour l'oeil de l'observateur¹². En outre, selon un enseignant qui prévoit pour les positions T_1 et T_3 de voir un "trou lumineux", des traits issus du trou T (schéma de type 6) représentent la "lumière diffuse par l'écran noir derrière", sans qu'aucun trait ne relie cet écran ni au trou T ni même à l'ampoule. Un élève commente son schéma évasé : "La lumière est plus faible à cause de l'écran noir".

Dans ces réponses l'écran noir semble "agir à distance" en justifiant des prévisions qui n'ont rien à voir avec l'idée qu'il faut que l'oeil reçoive de la lumière issue d'un objet pour que l'observateur voie cet objet.

* "On ne voit rien (du noir)" - cette prévision pour les positions T_1 et T_3 de l'oeil n'est jamais accompagnée de schéma - ni sur les réponses de 20% des enseignants, ni sur celles de 15% des élèves qui l'ont proposée.

Il est alors difficile de deviner si ce "rien" signifie "l'écran noir" ou bien si l'observateur ("oubliant" de viser le trou T) regarde horizontalement et ne voit donc que l'écran (E_t).

* Autres et sans schéma - 5% des enseignants et 10% des élèves explicitement refusent l'énoncé de la question en privilégiant la direction horizontale de la visée. Il répondent alors : "En T_1 et T_3 on voit E_t ." ou "Il peut voir l'écran E_t ." etc. La figure 13 présente un schéma associé à une telle prévision.

¹² Selon des adolescents, interrogés avant l'enseignement de l'optique, la lumière ne se propage pas de façon isotrope : elle ne se rend qu'en direction d'un dispositif optique (par exemple, un trou dans un écran opaque) ou vers un obstacle spécifique (si l'on s'intéresse à la formation d'ombre [22]).

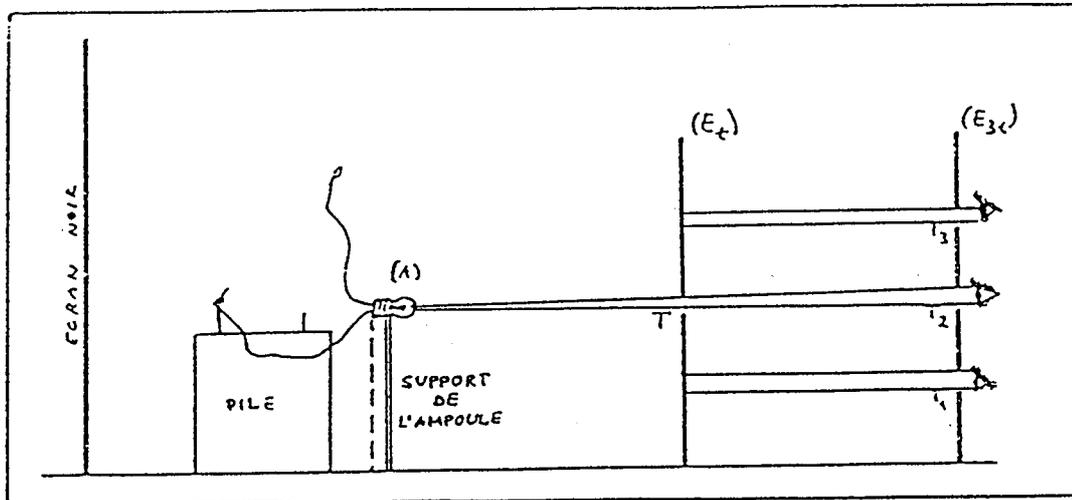


Figure 13 - Schéma justifiant la prévision d'un élève :
*"Je ne verrais que l'écran par le trou T₁.
 Par le trou T₂ je verrais le rayon lumineux de
 l'ampoule.
 Je ne verrais que l'écran par le trou T₃."*

Cette confrontation des prévisions avec les schémas confirme l'analyse des résultats de la question 1. Les réponses à la question 2 semblent indiquer que, pour les personnes interrogées, le sens de commentaires tels que "voir une tache" et, surtout, "voir la lumière" est loin d'être précis. De même, la signification de schémas qui les illustrent n'est pas du tout évidente.

1.4.7. Cohérence entre les réponses aux questions 1 et 2

Si l'on examine maintenant la cohérence des réponses entre les questions 1 et 2, il faut remarquer que les réponses correctes à ces deux questions comportent, compte tenu des caractéristiques géométriques de deux montages, le même type de schéma (conique) mais deux prévisions différentes : une aire lumineuse sur l'écran diffusant pour la première et des objets vus directement (l'écran noir - position T₁, la source lumineuse - position T₂, le support diffusant - position T₃) pour la deuxième. Or, même si l'on se limite à la seule position T₂, la comparaison des réponses, données par une même personne, aux questions 1 et 2 révèle une confusion des idées.

En effet, 20% des élèves et 15% des enseignants qui emploient bien, pour les questions 1 et 2, un schéma du même type (d'ailleurs d'une grande diversité selon les personnes),

gardent les mêmes expressions pour leurs prévisions. Sur l'écran diffusant (E) ou en regardant directement, à travers les deux trous alignés, T₂ et T, ils prévoient la même impression visuelle.

En revanche, 15% des enseignants et 5% des élèves seulement donnent bien, pour les questions 1 et 2, d'une part des schémas identiques (unanimentement de type (1) pour les premiers et de type (3) pour les derniers), d'autre part des prévisions différentes pour l'impression visuelle (selon les enseignants "On voit une tache lumineuse" sur l'écran et "On voit l'ampoule" ou "source" directement; selon les élèves "On voit l'image" ou "cercle de lumière" sur l'écran et "la lumière de l'ampoule" directement).

1.4.8. Appréciation des réponses recueillies par les enseignants-juges

Selon les enseignants-juges, 85% de personnes interrogées (dans les deux populations) ont répondu de façon "acceptable" à la question concernant l'ampoule, trou T et l'oeil alignés (position T₂). Il s'agit de toutes les prévisions qui se trouvent dans les lignes 1, 3 et 4 du tableau 3.

Pour les deux autres positions de l'oeil (T₁ et T₃), la décision était difficile et la délibération longue. Le point délicat concernait la réponse majoritaire "On voit une tache lumineuse (lumière, rayon...)". Les enseignants-juges n'ont pas participé au jeu de prévisions, ils ont branché la pile et regardé dans chacun des trous - ils ont donc vu que cette réponse ne correspondait pas à la réalité expérimentale et pourtant, ils ont voulu l'accepter. Leur raison principale était la "difficulté" de la question, qualifiée de "hors programme". Sur l'intervention de l'auteur, ils se sont résignés à la refuser. La suite de la discussion, entre eux seuls cette fois, les a amenés à la conclusion que le seul obstacle en cause était l'idée - effectivement hors programme - que la lumière ne peut pas être vue en tant que telle.

Dans le verdict final, le taux de réponses "acceptables" pour les positions T₁ et T₃ est de 25% pour les enseignants et de 20% pour les élèves - les lignes 2 et 5 du tableau 3 (les prévisions classées dans la catégorie "On ne voit rien" ont été interprétées dans le sens : "On ne voit ni la source ni la lumière").

1.4.9. Résumé des résultats (question 2)

Nous avons incorporé trois positions de l'oeil de l'observateur dans le montage expérimental conçu pour répondre à cette question. Notre but était d'examiner l'interprétation de la vision par les deux populations interrogées. L'analyse de réponses permet des conclusions à plusieurs niveaux :

* Il y a peu d'allusions à l'objet vu.

La prévision demandée porte sur ce que l'observateur pourra voir directement, et pourtant, la majorité de personnes interrogées répondent en mêmes termes que pour ce que l'on voit sur l'écran ("*tache lumineuse*", "*lumière*"...). Le rôle de l'écran diffusant n'est donc pas bien compris et les mots employés pour décrire l'effet prévu n'ont pas de signification précise. Quand l'objet vu n'est pas la source lumineuse (mais le support de l'ampoule, ou l'écran noir), il n'y a aucun schéma pour expliquer comment on peut le voir.

* Selon les personnes interrogées, l'observateur "*verra la lumière*".

Le même mot "*lumière*" semble désigner, à tour de rôle, une aire lumineuse sur l'écran diffusant (question 1), la source (position T₂) et le faisceau de lumière entre les trous T et T₂, "vu" d'une position qui ne permet pas de le recevoir par l'oeil de l'observateur (positions T₁ et/ou T₃) [47].

* Il y a plusieurs conceptions du rôle de l'oeil dans le phénomène de la vision.

L'oeil est considéré comme récepteur de la lumière émise par une source. En revanche, on ne mentionne jamais que la lumière peut venir d'un objet diffusant. En outre, on trace parfois des traits liant l'oeil avec "*la lumière (lueur, tache, rayon)*" que l'on affirme voir. Ces traits semblent avoir un statut différent que ceux représentant le faisceau envoyé par l'ampoule. Contrairement à ces derniers, on les dessine parfois en pointillés ou on leur ajoute des flèches dirigées de l'oeil vers ce que l'on voit. La signification de ces traits n'est jamais précisée ni commentée, mais il semble que l'oeil est envisagé comme actif dans l'action de voir. Dans certaines prévisions où il n'y a pas de schéma, on trouve les expressions telles que "champ de vision" ou "regard".

* Le type de schéma tracé ne rend pas toujours compte de l'identité des caractéristiques géométriques de la situation expérimentale utilisée dans ces deux questions.

La modification du premier montage - le remplacement de l'écran diffusant (E) par l'écran troué (E_{3t}) - ne devrait pas justifier le choix d'un autre type de schéma pour la position T₂ de la question 2 que pour la question 1. Et pourtant, la majorité de deux populations interrogés, schématise ces deux cas de manière différente, comme si l'arrivée de la lumière sur l'écran ou dans l'oeil, déterminait son comportement en amont. Globalement, on retrouve la faveur des enseignants pour le schéma de type (1) et des élèves pour le schéma de type (3).

* Cette question, et surtout les prévisions pour les deux positions de l'oeil non-alignées avec l'ampoule, a été perçue comme plus difficile que la précédente.

Le taux de prévisions dans la catégorie "Autres et sans réponse" est particulièrement élevé : 25% des enseignants et 55% des élèves (35% - sans schéma et sans réponse) pour les positions T₁ et T₃, alors que pour la position T₂ cette catégorie ne concernait que 15% dans les deux populations interrogées, et pour la question 1 - 0% des enseignants et 10% des élèves.

1.5. Question 3

Au début du questionnaire, nous avons présenté une situation de référence (question 1). Maintenant, la complication consiste à affronter un montage correspondant à une chambre noire "détriplée" : la lumière émise par l'ampoule arrive à l'écran diffusant (E) en passant par trois trous au lieu d'un seul. En outre, deux de ces trous ne sont pas à la même hauteur que l'ampoule (A). Pour répondre correctement, il faut maîtriser la notion de la propagation rectiligne de la lumière, même si la direction du faisceau lumineux n'est ni horizontale ni normale par rapport à l'écran (E). Cette même modification du montage expérimental permet d'examiner plus en détail une autre difficulté, mentionnée déjà ; elle est liée au concept de propagation isotrope de la lumière.

1.5.1. Matériel et montage

Dans le montage précédent, on remplace l'écran (E_t) par l'écran (E_{3t}). Chacun des trois trous T₁, T₂ et T₃, percés dans ce dernier, est plus grand que le trou T "de référence" : ils ont 6 mm de diamètre contre 4 mm pour T (Cf questions 1 et 2). A la place de l'écran (E_{3t}) on remet l'écran (E) comme sur le schéma ci-dessous.

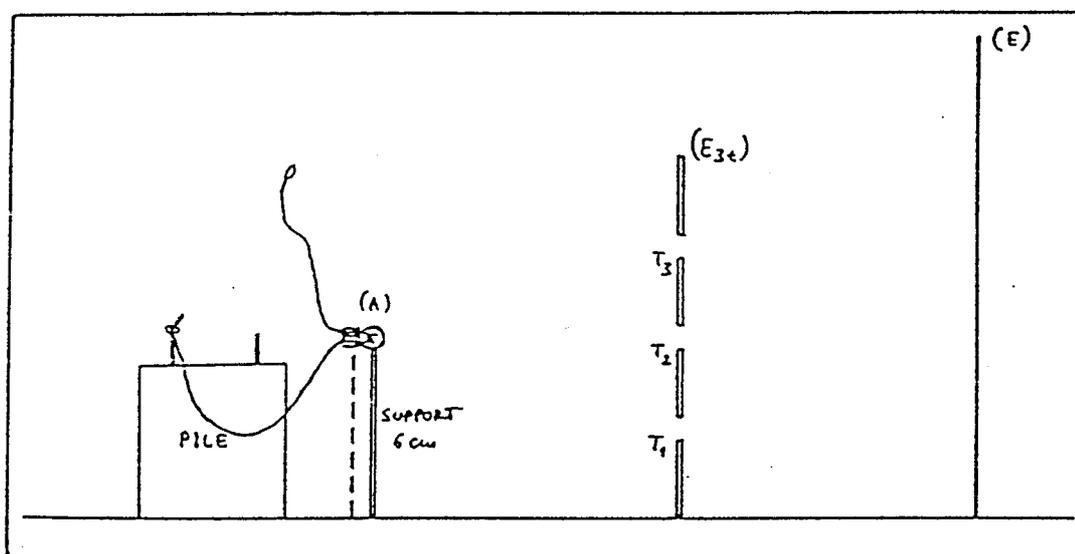


Figure 14 - Schéma du montage servant à répondre à la question 3.

1.5.2. Énoncé de la question 3

Le montage, schématisé sur la figure 14, est présenté la pile débranchée pour que l'élève (ou professeur) fasse une prévision - la question posée est la suivante :

* Que verra-t-on sur l'écran (E) si l'on allume la lampe (A) ?

* Expliquez à l'aide d'un (ou des) schéma(s).

1.5.3. Réponse correcte

Comme dans la situation expérimentale de référence, la source de lumière est assimilable à l'objet ponctuel, placé à 6 cm du sol. Chacun des trois trous dans l'écran (E_3) a 6 mm de diamètre et ils sont tous équidistants de l'ampoule (A) et de l'écran (E). A chacun d'eux correspond donc une aire lumineuse sur l'écran, de 12 mm de diamètre environ. Celle qui est formée par la lumière traversant le trou T_1 , percé à la hauteur de 3 cm, se trouve tout en bas de l'écran. Celle, "en face" du trou T_2 , percé à 6 cm (la même hauteur que celle de l'ampoule), se trouve, elle aussi, à 6 cm du sol (cas analogue à celui de la question 1). La troisième, formée par la lumière

traversant le trou T_3 , percé à 9 cm, se trouve à la hauteur de 12 cm du sol. Les deux aires, correspondant à la propagation de la lumière dans une direction oblique, ne sont pas parfaitement circulaires, mais cet effet n'est pas essentiel ici.

Le schéma justifiant cette prévision est présenté sur la figure 15.

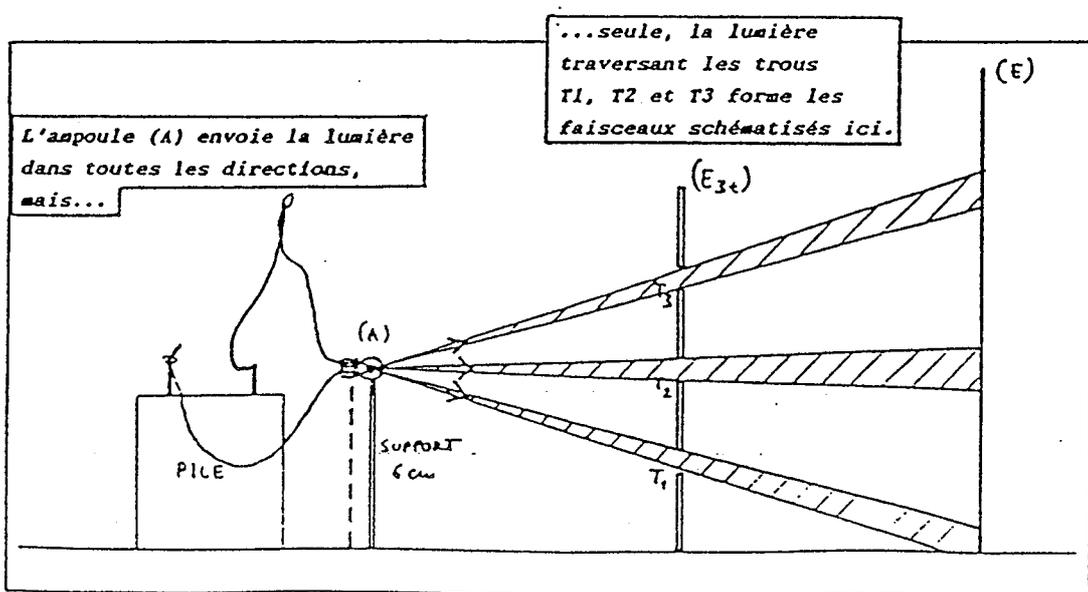


Figure 15 - Schéma justifiant la réponse correcte (Cf le texte)

1.5.4. Prévisions recueillies

Les prévisions concernant ce montage sont rassemblées dans le tableau 5. Comme pour les questions précédentes, les réponses recueillies sont très laconiques. Les personnes interrogées ne commentent jamais ni les dimensions respectives de la source et des trois trous dans l'écran (E_{3t}), ni leur choix du type de schéma, même si ce dernier est différent pour le trou T_2 et pour les deux autres.

1.5.5. Schémas justifiant les prévisions recueillies

Comme pour la question 1, le choix des enseignants n'est pas le même que celui des élèves. Les premiers accompagnent préférentiellement leurs prévisions d'un schéma conique (1)

pour 30% d'entre eux et jamais d'un schéma du type (3) ni (4). En revanche, les derniers répondent en gardant l'éventail complet des schémas, tout en maintenant la préférence, déjà observée, pour les types (2) - 20% et (3) - 15% d'entre eux.

On voit	enseignants	élèves	Jugement de 12 autres enseignants
3 taches lumineuses (lumières, points lum., etc) schéma de type 1 à 5 [dont : schéma correct - (1)]	40% [25%]	30% [-]	Réponses déclarées acceptables
sans prévision mais schéma de type 1 à 5	15%	10%	
Schéma pour le trou "en face" différent de ceux pour les deux autres trous	10%	10%	
sans schéma : "trois ronds lumineux"	-	5%	
UNE "IMAGE" (UNE tache, UN rond, etc) en face du trou au milieu	10%	10%	Réponses déclarées inacceptables
Propagation horizontale à partir de tous les trois trous	10%	10%	
"On ne verra rien" autres contradictoires ou sans réponse	15%	25%	

Tableau 5 - Réponses à la question 3 (voir le texte).
Les pourcentages sont arrondis à 5% près.

D'autre part, les trous T₁ et T₃ n'étant pas à la même hauteur que l'ampoule (A), on observe de ce fait une perturbation importante dans les réponses. Elle se manifeste de trois manières :

* Un pourcentage notable (dans les deux publics)

privilégie dans leurs réponses le rôle du trou T_2 , en allant parfois jusqu'à déclarer : "La lumière ne passe pas par les autres trous."

* Certaines personnes (dans les deux publics également) ne respectent pas la propagation rectiligne de la lumière - 10% d'entre elles tracent des lignes horizontales (ou des faisceaux évasés autour de la direction horizontale) entre l'écran troué (E_{3t}) et l'écran diffusant (E).¹³

* Toutes les personnes qui choisissent un schéma de type "global" pour chaque trou (types 3, 4, 5, 6 et certains "Autres" - au total 30% des enseignants et 45% des élèves), doivent envisager la possibilité qu'un même objet lumineux puisse envoyer la lumière dans trois directions à la fois. Or, on ne peut pas surmonter cette difficulté sans faire défaut à la propagation isotrope de la lumière si l'on veut employer ces types de schéma. Une "solution" consiste à diviser l'ampoule en trois secteurs et à faire correspondre à chacun d'eux une aire lumineuse sur l'écran (E). La figure 16 en montre deux exemples.

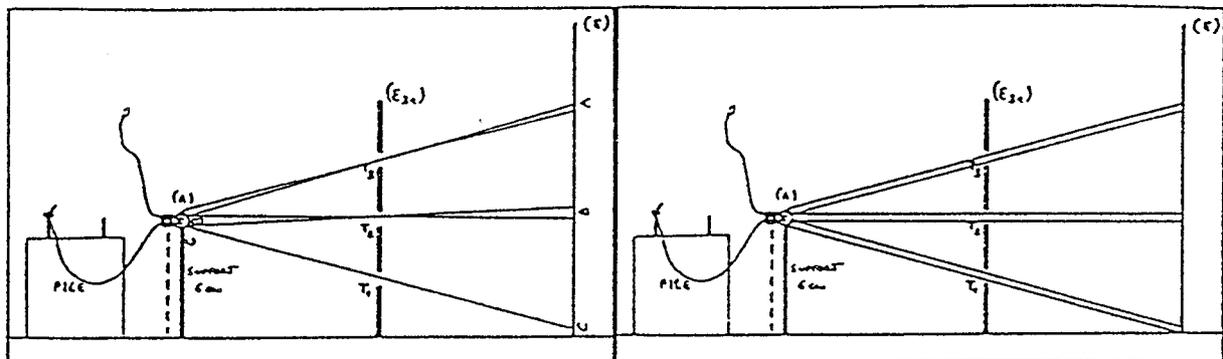


Figure 16 - Schémas proposés par un élève (à gauche) et par un enseignant (à droite) en réponse à la question 3 : à chaque secteur de l'ampoule correspond une aire sur l'écran (E). Ces schémas font peu de cas de la propagation isotrope de la lumière.

L'autre moyen de dessiner un schéma "global" détriplé est

¹³ On rencontre souvent des réponses privilégiant une direction horizontale de propagation de la lumière auprès d'un public avant enseignement (Cf. par exemple [21], [39]).

présenté sur la figure 17. Chacun des trois faisceaux lie l'objet entier à une des trois figurations de cet objet sur l'écran (E) et pourtant on est toujours loin de la propagation isotrope de la lumière. En effet, chaque "extrémité" de l'ampoule envoie trois rayons dans trois directions différentes¹⁴, mais ces directions sont bien particulières, elles n'assurent que l'aspect propre à chaque faisceau.

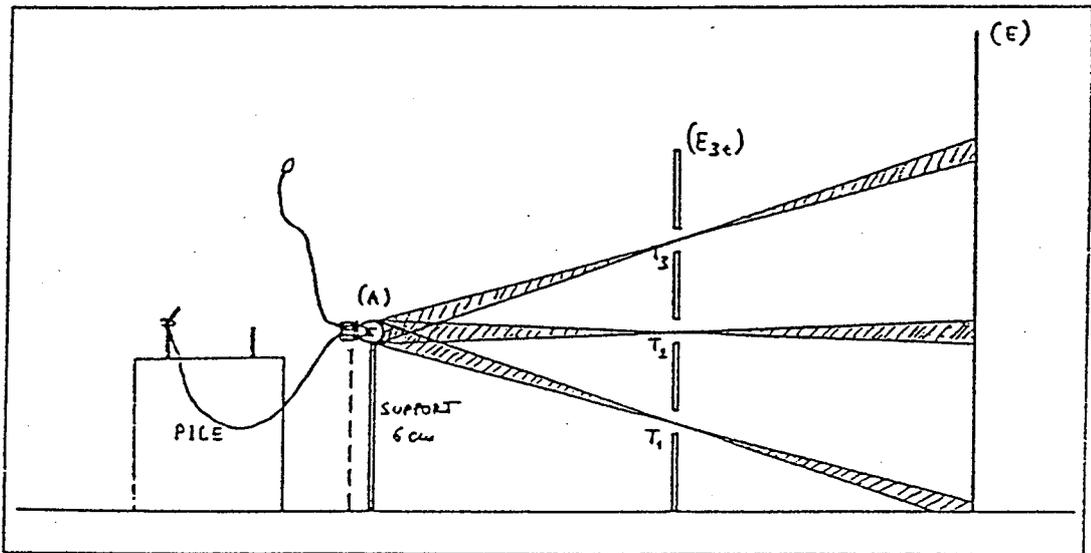


Figure 17 - Schéma tracé par un élève en réponse à la question 3 (voir le texte).

On peut voir les traces de la même difficulté chez toutes les personnes interrogées qui proposent le schéma du type (2), surtout si chacun des trois rayons part d'un point différent de la "surface" de l'ampoule. En outre, même en choisissant le schéma conique, certains enseignants (10% d'entre eux) placent les trois sommets non sur le "filament" de l'ampoule, mais sur trois endroits distincts du "verre".

Au total, et étant donné que tous les schémas "uniques" (pour le trou T₂ seulement) ainsi que les prévisions "On ne verra rien" sans schéma, témoignent de cette difficulté, il faudra admettre que 65% des enseignants et 85% des élèves se révèlent incapables de prendre en compte dans leurs réponses le principe de la propagation isotrope de la lumière.

¹⁴ Selon les résultats d'une enquête auprès des adolescents avant enseignement, ils ne dessinent qu'un rayon issu d'un point de l'objet [21].

* * *

Sur le plan de la cohérence entre questions, nous avons comparé, pour chaque personne, les schémas fournis en réponse aux questions 1 et 3. La première partie du tableau 6 rassemble les choix de celles, au total seulement 40% des enseignants et 30% des élèves, qui ont proposé le même type de schéma (et la même prévision) pour chacun des trous: T (question 1), T₁, T₂ et T₃ (question 3). La deuxième partie de ce tableau présente les fréquences correspondant au choix du même type de schéma pour toutes les trois questions de l'enquête (en ne tenant compte que des réponses pour le trou T₂ -en face de l'ampoule - quant à la question 2) : au total seulement 25% des enseignants et 20% des élèves.

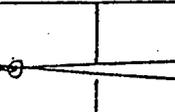
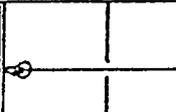
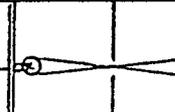
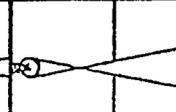
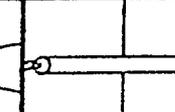
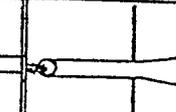
Type de schéma						
	conique	1 rayon dans T	avant T	cylindrique	évasé	
enseignants (q.1/q.3)	25%	5%	-	-	-	10%
élèves	-	10%	10%	5%	5%	-
enseignants (q.1/q.2/q.3)	15%	-	-	-	-	10%
élèves	-	-	10%	5%	5%	-

Tableau 6 - Schéma du même type :
 en haut - pour les trous : T (question 1), T₁, T₂ et T₃ (question 3);
 en bas - pour les trous : T (question 1), T₂ (question 2) et T₁, T₂, T₃ (question 3).

Avant d'aborder la confrontation des schémas avec les prévisions, nous voyons déjà qu'un enseignant sur quatre seulement, et un élève sur cinq, emploient systématiquement un type de schéma donné.

Notons enfin, que 15% des enseignants et 10% des élèves n'ont pas fait de prévision, tout en fournissant un schéma de type : (1), (2) ou (5) pour les premiers et (1), (2), (3) ou (5) pour les derniers (ligne 2 du tableau 5).

1.5.6. Confrontation des prévisions avec les schémas

* "On voit trois ronds de lumière (taches lumineuses, points, lumières...)" avec un schéma de type 1 à 5.

Les enseignants dont les réponses sont classées dans cette catégorie du tableau 5, prévoient de voir des "taches". Ils justifient cette prévision par des schémas coniques - réponse correcte - pour 25% d'entre eux. Les "taches" restantes sont accompagnées des types (2) et (5) de schémas.

15% des élèves qui ont prévu des "ronds", "points" et "taches lumineuses", choisissent plutôt un schéma du type (3) - 10%. Ceux qui pensent voir des "lumières", "lueurs" et "faisceaux lumineux" (également 15% des élèves), tracent un schéma de type (2), (3) ou (4).

Cette différence entre les choix des enseignants et des élèves s'est faite déjà remarquer dans l'analyse des réponses à la question 1. Ici, un schéma conique détripilé, proposé par les premiers, précise le sens de la prévision "On voit trois taches lumineuses". Chacune de ces taches devient une figuration de la source de lumière, assimilée à un objet ponctuel (filament de l'ampoule - le sommet du cône), sur l'écran diffusant (E). En revanche, un schéma du type (3), majoritaire dans les réponses d'élèves, confère à ces mêmes "taches" un statut d'"image" globale d'une source étendue (c'est à dire de l'ampoule ou de l'un des trois "secteurs"), non pertinent ici compte tenu, entre autres, de la taille de chacun de trous.

* Schéma pour le trou "en face", T₂, différent de celui tracé pour les deux autres trous : schéma "double type", ou bien un seul schéma proposé pour le trou T₂, avec la prévision : "On verra une tache lumineuse (un disque, une lumière, un faisceau, l'image)".

Les enseignants (au total 20%) prévoient soit "une tache" si seul le schéma pour le trou T₂ est tracé, soit "des taches" avec un schéma "double type".

Ces prévisions donnent l'impression d'un conflit : si le mot "tache" a une signification précise alors pourquoi chercher une "double" explication avec, par exemple, un schéma conique pour le centre de l'écran et un rayon par trou pour les "taches" plus haut et plus bas sur ce même écran? On peut penser que pour ces enseignants, la "tache" correspondant au "secteur central" de l'ampoule est différente de celles,

formées par les trous T_1 et T_3 à partir des "secteurs" périphériques.

Les réponses données par les élèves sont très variées : "l'image" avec un schéma de type (3) pour le trou T_2 (identique à celui donné pour la question 1 - 5%), mais aussi des "lumière" avec le même schéma. D'autres "lumière" accompagnent le schéma de type (4), ce dernier pouvant également justifier "1 disque sur E". "Un faisceau sur T_2 " s'explique par un schéma conique qui, par ailleurs, sert pour la prévision : "On verra une lumière floue et peu nette."

Les élèves qui prévoient des "images" uniques, en face de T_2 seulement, tracent le même type de schéma qu'avec leurs prévisions aux questions précédentes. Les réponses des autres, et surtout des ceux qui tracent des schémas "double type", témoignent d'un même conflit que les réponses des enseignants mentionnées plus haut. Les expressions employées dans leurs prévisions sont plus variées, mais leur signification semble aussi vague que celle des "taches" d'enseignants. En revanche, 5% des élèves précisent la différence entre ce qu'ils pensent voir au centre de l'écran (E) et ce qu'ils prévoient plus haut et plus bas. Un élève écrit : "Je vois avec T_2 un disque sur (E). Je vois avec T_1 [T_3] un point sur (E)".

* Propagation horizontale à partir des trois trous. On trouve dans cette catégorie des schémas de type (6) chez les enseignants qui prévoient "des taches lumineuses" ou bien, quand le schéma est "très évasé" une seule tache : "On voit l'écran éclairé, de façon diffuse, grande tache lumineuse aux contours non définis."

Les réponses des élèves sont, une fois encore, plus diverses - des schémas de types (2), (5) et (6) accompagnent les prévisions : "On remarquera 3 ronds (3 lumières, 3 petites taches)".

Notons, que ni le type de schéma majoritairement choisi par les enseignants - conique (1), ni celui des élèves - croisé dans le trou (3), n'apparaissent dans cette catégorie des réponses. En revanche, nous retrouvons ici des prévisions "présumées correctes" - "3 ronds", "3 taches lumineuses" qui ne devraient donc pas être considérées en tant que telles, séparées des schémas qui les justifient.

* "On ne verra rien". Cette réponse est donnée, toujours sans schéma, par 10% des élèves et 5% des enseignants.

Aucune de ces personnes n'avait fait la même prévision pour la question 1. Nous avons ici un paradoxe : le trou T, en face de l'ampoule (A), est remplacé par le trou T₂, plus grand; les deux autres trous T₁ et T₃ sont percés dans l'écran (E₁) et, au lieu d'avoir l'écran diffusant (E) mieux éclairé qu'avant, "On ne voit rien". Un élève précise : "La lampe n'est pas disposée aux mêmes hauteurs.", un autre écrit : "La lumière se diffuse. On ne voit rien sur (E).", un troisième pense "... que la lumière traversera à peine les trois trous et le reflet sur l'écran blanc sera pratiquement invisible." Ces mêmes élèves ont répondu à la question 1 en prévoyant respectivement : "on voit le reflet de l'ampoule", "un point lumineux", "une légèreueur" ou "une petite tache jaune".

1.5.7. Cohérence entre les réponses à plusieurs questions

Les personnes interrogées qui ont tracé le même type de schéma en réponse aux questions 1 et 3 (50% des enseignants et 35% des élèves), ont donné également, pour la plupart d'entre elles, la même prévision "détriplée", par exemple : "Sur l'écran il y aura une tache de forme circulaire" ("rond", "point lumineux") pour la question 1 et "On voit trois taches à hauteurs différents" ("ronds", "points lumineux") pour la question 3. C'est d'ailleurs cette prévision (une tache/trois taches) qui a été proposée par 35% des enseignants avec un schéma de type (1) ou (6), et par 15% des élèves, avec un schéma de type (2), (3) ou (5). L'autre prévision : "On voit un faisceau lumineux" ("lueur", "de la lumière") pour la question 1 et "On voit trois faisceaux lumineux" ("lueurs", "de la lumière") pour la question 3, a été proposée par 5% des enseignants avec un schéma à un rayon par trou - type (2), et par 15% des élèves avec un schéma de type (2), (3) ou (4).

Si l'on s'intéresse maintenant à la cohérence des réponses entre les questions 1, 2 et 3, il faut chercher parmi celles qui, grâce au même type de schéma pour ces trois questions, ont été classées en bas du tableau 6. On constate encore la différence entre les réponses données par les enseignants et par les élèves. Les premiers proposent une seule prévision : "On voit une/trois tache(s) lumineuse(s)", justifiée par un des deux types de schéma, conique (1) ou "évasé" (6). Les derniers tracent un des trois autres types de schéma - (3), (4) ou (5), avec une préférence pour le type (3) (deux traits croisés dans chaque trou). Leurs prévisions sont toujours aussi variées : même pour le seul type (3) de schéma, on retrouve, selon les cas, des "lueurs", "taches", "faisceaux" et "points lumineux" qui correspondent aux figurations soit de l'objet entier, soit chacune de "son secteur" de l'ampoule.

Si l'on examine un autre type de réponses, données par certains élèves qui ont proposé, pour la question 3, des prévisions classées dans la ligne 5 du tableau 5 (une "image" en face du trou au milieu), alors on peut admettre qu'il existe une autre cohérence, propre à ces réponses. En effet, 10% des élèves tracent le même type de schéma pour les trois questions (avec un seul schéma à travers le trou T_2 pour la question 3) et proposent des prévisions qui ne sont pas contradictoires à condition d'accepter qu'il n'y a "rien" dans les trous T_1 et T_3 . La figure 18 montre un tel schéma tracé par l'élève qui prévoit, pour la question 3, que "L'image se reproduira à l'envers sur l'écran (E). La lumière ne passe pas par les autres trous."

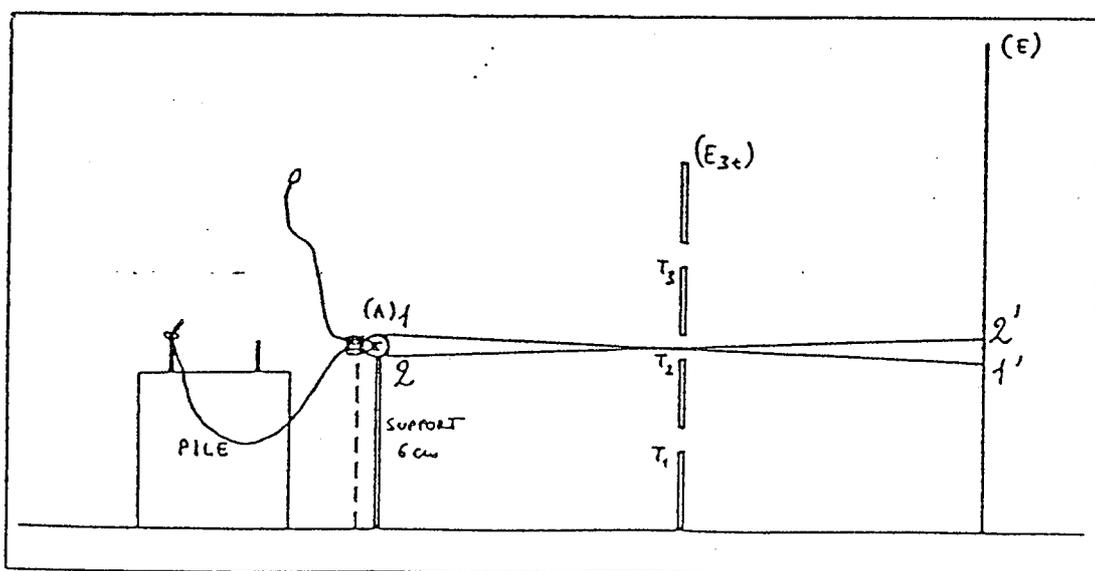


Figure 18 - Schéma tracé par un élève en réponse à la question 3 (voir le texte).

Cet élève accompagne d'un schéma identique ses prévisions précédentes : "L'image se reproduira à l'envers sur l'écran E. On verra une tache lumineuse de même grosseur que la source.", donnée pour la question 1, ainsi que "T₂ sera éclairé d'une lumière mais on ne verra pas d'image. La lumière n'atteindra pas les autres trous.", donnée pour la question 2.

Selon cet élève, "la lumière" ne se propage qu'en direction "globalement horizontale" : malgré le fait que les deux traits croisés dans le trou sont obliques, l'axe du faisceau tracé doit rester à la même hauteur. En outre, comme pour tous les schémas du type (3), le principe de la propagation isotrope de la lumière est ignoré.

1.5.8. Appréciation des réponses recueillies par les enseignants-juges

Nous avons indiqué le verdict des enseignants-juges dans le tableau 5 : les réponses de 65% des enseignants et de 55% des élèves ont été déclarées acceptables. Dans ce même tableau, on remarque que pour cette question, seulement 25% des enseignants interrogés (et 0% des élèves!) ont donné une réponse correcte.

Le type de schéma tracé constitue le critère principal d'une réponse "acceptable". En effet, on trouve dans cette catégorie toutes les prévisions accompagnées des schémas de type 1 à 5, même si le schéma pour le trou T₂ est différent de ceux pour les deux autres trous. En outre, ces types de schéma sont considérés comme les réponses acceptables en absence de prévision (voir la ligne 2 du tableau 5). Une exception a été faite pour 5% des élèves qui ont prévu de voir "trois ronds lumineux" sans schéma.

Les réponses déclarées inacceptables sont contredites par l'expérience - quand on allume la petite lampe on ne voit pas ce qu'il y a dans les prévisions proposées (lignes 5, 6 et 7 du tableau 5).

1.5.9. Résumé des résultats (question 3)

Nous avons déjà signalé que le montage expérimental, devant lequel l'élève (ou l'enseignant) a répondu à la question 3, correspondait à la situation de référence (question 1) "détriplée". Cette complication a provoqué, pour la majorité des personnes interrogées, des changements de leur réponse : elles ont proposé une nouvelle prévision et/ou elles ont tracé un autre type de schéma.

Nous n'avons trouvé qu'exceptionnellement des explications du fait que la prévision précédente (donnée à la question 1) devait être remplacée par une autre et ces explications n'étaient fournies qu'avec la réponse "On ne voit rien", sans schéma. En revanche, aucune personne n'a justifié ni même mentionné les raisons qui l'ont amenée à tracer un schéma différent de celui proposé pour la question 1.

Des difficultés, liées au fait que les trous T₁ et T₃ ne sont pas à la même hauteur que l'ampoule, se sont manifestées de diverses façons. Notons d'abord que, tous les types des schémas confondus, 65% des enseignants et 85% des élèves

n'arrivent pas à respecter dans leurs réponses le principe de la propagation isotrope de la lumière. On observe que les schémas à travers le trou T₂ ("en face" de la lampe) peuvent être différents de ceux que la même personne a proposé pour les deux autres trous, ou bien qu'il n'y a que le schéma pour le trou T₂ sans rien pour les deux autres - "*La lumière ne passe pas par les autres trous*" a écrit un élève en justifiant une telle réponse. Si les mêmes types de schéma pour les trois trous sont envisagés, certaines personnes interrogées divisent l'ampoule en trois "secteurs" pour faire correspondre à chacun d'eux sa propre "tache" sur l'écran. Pour d'autres personnes, seule est admise la direction horizontale des faisceaux (ou des traits) entre l'écran (E_{3t}) et l'écran diffusant (E). Dans ce dernier cas, même le principe de propagation rectiligne de la lumière n'est pas respecté.

L'analyse des réponses recueillies confirme des différences importantes entre les schémas proposés par les enseignants et par les élèves. Les premiers préfèrent un schéma conique (type 1) et ne tracent ni le type (3) ni (4), les derniers choisissent plutôt deux traits croisés dans le trou (type 3), sans pour autant éviter l'un quelconque des schémas parmi les types (1) à (6).

Si l'on examine la cohérence des réponses entre les trois questions, (en ne tenant compte que du trou T₂ pour la question 2) on ne retrouve que 25% des enseignants et 20% des élèves qui emploient systématiquement un type de schéma donné, en le "détriplant" pour la question 3. En revanche, si, pour cette dernière question, on accepte comme non-contradictoire un seul schéma à travers le trou T₂, on trouvera, dans les réponses de 10% des élèves, d'autres propositions cohérentes, où les prévisions de voir "*une image*" pour les questions 1 et 3, et "*l'ampoule*" (ou "*la lumière de l'ampoule*") pour la question 2, sont accompagnées toujours par un schéma de type (3).

On recense donc les réponses cohérentes chez 25% des enseignants et 30% des élèves au total. Parmi elles, on observe des schémas qui ne respectent pas la propagation isotrope de la lumière (chez 10% des enseignants et 30% des élèves - types 3, 4, 5 et 6) et même, qui font défaut au principe de la propagation rectiligne (schéma "évasé" - type 6). La réponse correcte n'est systématiquement donnée que par 15% des enseignants (AUCUN ELEVE).

1.6. Récapitulation et discussion

1.6.1. Prévisions de l'effet escompté

Les élèves expriment leurs prévisions en termes variés ("taches, ronds, images, lueurs, rayons, faisceaux, lumière" ...) et donnent parfois des précisions sur la taille (par exemple "même que le trou") ou sur la couleur ("jaune, blanche, jaune orangé"...) de ce qu'ils pensent voir sur l'écran. Pour la moitié d'entre eux la même impression visuelle est attendue dans le cas de l'observation sur l'écran diffusant (questions 1 et 3) et lors de la visée à travers les deux trous alignés (question 2).

Les enseignants sont très laconiques dans leurs prévisions. Ils n'utilisent qu'exceptionnellement d'autres termes que "taches lumineuses" (sinon "taches de lumière") ou "lumière", sans plus de précision, pour décrire ce qu'ils verront sur l'écran diffusant. Un tiers des enseignants interrogés emploie la même expression en prévoyant l'effet attendu de l'observation directe (question 2).

Le tableau 7 rassemble les fréquences, dans les deux populations interrogées, de l'usage de mêmes termes dans ces deux cas.

On voit sur l'écran (question 1 et/ou 3) et directement à travers les trous (question 2)	enseignants	élèves
"tache lumineuse" (rond, point lumineux, image, réflet, éclairage)	25%	20%
"lumière" (lueur, rayon lumineux, faisceau lumineux)	10%	30%
Au total	35%	50%

Tableau 7 - Mêmes termes employés pour décrire ce qu'on pense voir sur l'écran diffusant et directement, à travers les trous.

Les expressions classées dans le tableau 7 n'ont donc pas une signification précise, et on peut même penser qu'elles

sont choisies massivement grâce à cela, pour permettre des prévisions "passe-partout". Il est pourtant possible d'affiner leur sens en fonction du schéma qui les justifie.

1.6.2. Schémas justifiant les prévisions

* Schéma conique - type (1) - "présumé correct".

En principe, ce type de schéma rend compte de la propagation rectiligne et isotrope de la lumière, il traduit la correspondance entre le point-objet (l'ampoule assimilée à la source ponctuelle) et l'aire lumineuse sur l'écran diffusant (figuration de cet objet) ou bien, il montre que la lumière émise par la source arrive dans l'oeil de l'observateur pour lui permettre de voir cette source. Mais, parmi les enseignants qui l'ont proposé pour la question 1, un tiers seulement l'emploie systématiquement, avec toutes les prévisions pour les trois questions de l'enquête. En revanche, le schéma conique n'est choisi que par 5% des élèves : il semble que ni ce type de schéma ni la correspondance point-objet/aire lumineuse sur l'écran, illustrée par ce schéma, ne sont efficacement enseignés.

On peut penser que pour certaines personnes, le schéma conique sert "simplement" à "remplir le trou" (Cf la figure 7).

* Schéma à un trait - type (2) - ne précise rien.

Ce type de schéma n'est jamais employé pour toutes les questions, par une même personne. En revanche, il accompagne souvent des prévisions exprimées en mêmes termes que celles, justifiées par un autre type de schéma - par exemple : pour la question 3, un élève a tracé un schéma à un trait par trou en prévoyant de voir "*trois taches*" sur l'écran; or, ce même élève, pour la question 1 a prévu sur l'écran "*une petite tache*" avec un schéma conique.

* Schéma à deux traits croisés dans le trou - type (3) - "appris en classe".

En principe, ce type de schéma rend compte de la correspondance globale entre un objet étendu et sa figuration sur l'écran diffusant, dans le cas où la taille du trou est petite par rapport aux dimensions de cet objet. Ce sont, d'ailleurs, les conditions "classiques" de l'étude de la chambre noire au collège. Si le trou est trop grand, ce schéma

cesse d'être pertinent (Cf la figure 4 qui montre un schéma correct adapté au cas d'une source étendue). De nombreux élèves qui proposent le schéma de type (3) pour justifier leurs prévisions, semblent ignorer ses limites. On peut voir dans un tel transfert un exemple de l'automatisme scolaire qui fait tracer, sans trop réfléchir, un même schéma sans tenir compte des circonstances.

En revanche, les enseignants interrogés choisissent rarement ce schéma (10% d'entre eux pour la question 1, aucun pour les questions 2 et 3) - ils savent sans doute mieux reconnaître les conditions qui permettent de l'appliquer.

Notons que seul le schéma du type (3) était associé à l'attente de voir "*l'image*" dans les réponses des élèves.

* Schéma à deux traits croisés avant le trou - type (4) - trou "rempli".

C'est un deuxième type de schéma qui n'illustre que la correspondance globale entre l'objet étendu et sa figuration sur l'écran diffusant, mais ici on "remplit" le trou. Ce schéma aurait donné une taille "correcte" de l'aire lumineuse sur l'écran si l'ampoule avait été vraiment une source "étendue" - il faudrait pour cela prendre une ampoule en verre dépoli. Un manque de commentaires sur les dimensions de la "tache" ainsi justifiée, laisse penser que les élèves proposant ce type de schéma¹⁵ ont voulu plutôt satisfaire aux exigences telles que croiser les traits issus de deux extrémités de l'objet et "remplir" le trou en même temps.

* Schéma cylindrique - type (5) - le plus "simple" des schémas globaux.

Ce type de schéma a été déjà décrit par les chercheurs (Cf. [19], [22],...) qui ont interrogé des élèves, avant ou après l'enseignement, au sujet du fonctionnement d'un dispositif correspondant à la chambre noire. Dans les résultats de l'enquête présentée ici, le taux d'apparition de schéma cylindrique est relativement faible (inférieur à 15% chez les deux populations interrogées, contre 40% environ chez les personnes répondant aux autres enquêtes¹⁶). On peut voir deux

¹⁵ Le schéma de type (4) n'a jamais été proposé par un enseignant.

¹⁶ Cf [21] et [22] où les prévisions des personnes interrogées sont justifiées majoritairement par ce type de schéma.

raisons de ce fait : d'un côté, l'ampoule étant reconnue comme objet ponctuel par une majorité d'enseignants, ceux-ci n'ont pas proposé des schémas de type global; de l'autre côté, malgré que l'ampoule ait été traitée comme une source étendue par une majorité d'élèves, le schéma cylindrique "préscolaire" a été remplacé chez beaucoup parmi eux, par le schéma de type (3), fraîchement appris en classe.

* Schéma "évasé" - type (6) - "pré-rectilinéaire";

Ce type de schéma est caractéristique des conceptions de la lumière qui contourne les obstacles et qui, comme le jour, remplit tout espace disponible (par ex.[49]) - les populations où ce schéma est choisi préférentiellement n'ont pas encore acquis le concept de la propagation rectiligne de la lumière.

On peut penser que devant des situations expérimentales, nouvelles pour eux, certains élèves ont "oublié" la leçon sur la propagation rectiligne et sont retourné à leur ancienne façon de représenter la lumière.

En revanche, un schéma "évasé", justifiant une réponse donnée par un enseignant, pourrait faire référence au phénomène de diffraction, mal identifié compte tenu des caractéristiques géométriques des montages en jeu. Et pourtant, nous n'avons trouvé aucun commentaire dans ce sens. En outre, la diffraction ne saurait justifier un schéma où trois faisceaux, entre l'écran (E_3) avec trois trous et l'écran diffusant (E), s'évasent autour de la direction horizontale, comme sur la figure 19.

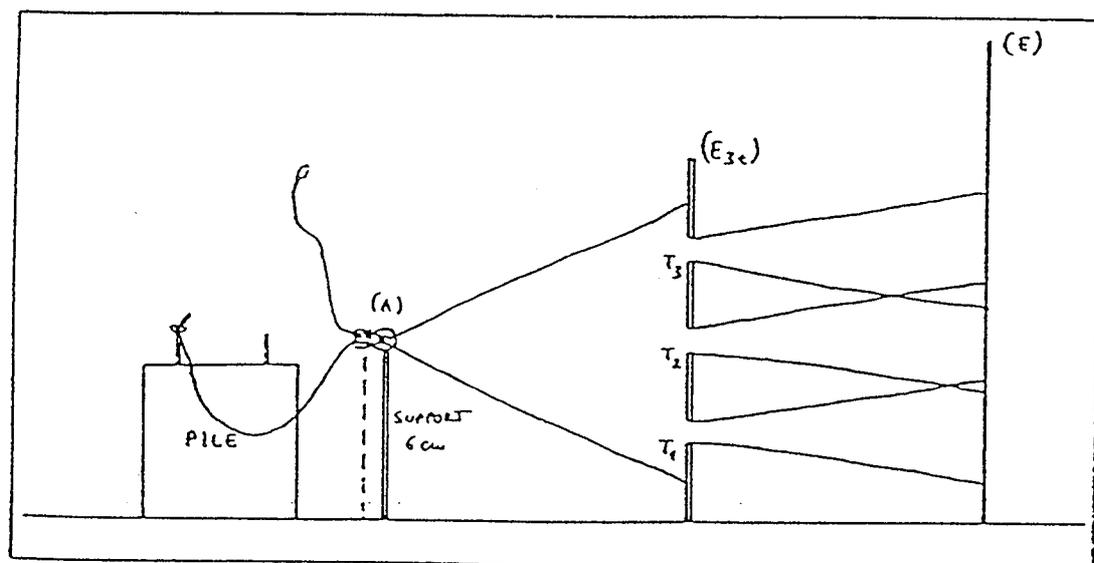


Figure 19 - Schéma tracé par un enseignant (voir le texte).

Cette préférence pour la direction horizontale de l'axe de chaque faisceau, souvent rencontrée chez les enfants qui n'envisagent pas encore la propagation rectiligne dans une direction oblique [39], laisse croire que certains enseignants, perturbés par les questions de cette enquête, partagent avec les élèves ces difficultés.

1.6.3. Statut des traits sur des schémas de type global

Notre hypothèse que les traits liant l'ampoule avec l'écran représentent des rayons de lumière, n'était fondée que sur des commentaires explicites de 10% des élèves, et généralisée provisoirement à toutes les personnes interrogées. On pourrait cependant, compte tenu des nombreux indices trouvés dans les réponses recueillies, et des observations d'autres chercheurs (par ex. [12] et [22]), en avancer une autre : que les deux traits, issus chacun d'une extrémité de l'objet, limitent un faisceau qui transporte l'aspect global de l'objet - sa forme, couleur, etc.

Le schéma de type (5) illustrerait le transport non-perturbé de "l'image" ou de l'un de ses trois secteurs (Cf le schéma de la figure 16 à droite).

Si l'on ajoute une contrainte de "retourner l'image", c'est à dire de croiser les traits, alors la taille du trou peut être ignorée. C'est probablement le cas des élèves (et des enseignants) qui proposent le schéma de type (3). Pour passer le trou, toute l'information sur l'objet "se comprime", se retourne et ensuite, se détend pendant le trajet entre le trou et l'écran. Si en plus on exige de "remplir le trou" - le schéma de type (4) fait l'affaire.

Cette nouvelle hypothèse n'est certainement pas réfutée par l'emploi de mêmes termes pour désigner ce qui est représenté entre l'ampoule et l'écran, et ce qui est prévu sur cet écran ("*la lumière*", "*faisceau*", "*lueur*").

1.6.4. Statut des traits sur des schémas interprétant la vision (question 2).

Quand l'observateur voit l'ampoule, les traits qui arrivent dans son oeil représentent, selon les prévisions qui accompagnent les schémas, la "*lumière de l'ampoule*".

En annonçant la vision d'un objet non lumineux - les personnes interrogées ne tracent jamais de schéma et il n'est

jamais question de recevoir de la lumière renvoyée par un objet diffusant.

En revanche, on propose des schémas pour justifier que l'on "verra la lumière". Les traits qui lient la lumière que l'on pense voir et l'oeil derrière T_1 ou T_3 , sont souvent dessinés d'une façon différente (par exemple en pointillés) que ceux qui représentent la lumière issue de l'ampoule et arrivant à la position T_2 (Cf figure 10).

Sur certains schémas, des traits sont munis des petites flèches, dirigées de l'oeil de l'observateur vers ce que l'on affirme voir. La signification de ces traits n'est jamais mentionnée, mais certains commentaires suggèrent qu'ils représentent "le champ de vision", "le regard" ou "la direction de visée".

Nous n'avons pas trouvé, ni chez les enseignants ni chez les élèves interrogés, un modèle permettant d'interpréter la vision d'un objet autre qu'une source de lumière, qui soit suffisamment structuré et cohérent pour résister à toutes nos questions.

1.6.5. Enquêtes complémentaires

Nous l'avons déjà annoncé dans l'introduction générale - une partie de nos résultats a été publiée dans l'article [47] reproduit dans l'Annexe A. En ce qui concerne cette enquête nous y présentons les réponses, obtenues auprès d'autres enseignants de collège qui ont été interrogés devant un montage analogue à celui de la question 2.

Une troisième enquête a été menée par F. Chauvet (Cf. son Mémoire de Tutorat de DEA de Didactique, Annexe B) auprès d'étudiants préparant un BTS d'Arts Appliqués. Un groupe de ces étudiants a répondu aux trois questions présentées dans ce chapitre sans que, cette fois, aucune suggestion au sujet de la chambre noire ne soit faite au préalable. En outre, une version modifiée de ces trois questions a été proposée au second groupe : avec la nouvelle position de l'ampoule, la direction horizontale de propagation de la lumière n'est plus privilégiée.

Autant les schémas que les prévisions recueillies dans ces deux enquêtes, réalisées dans des conditions modifiées, et avec, pour la seconde, un autre public, confirment largement l'existence des difficultés décrites dans ce chapitre.

1.7. Conclusion du chapitre 1

Les résultats de cette enquête permettent de mettre en doute la valeur de la chambre noire en tant que dispositif d'introduction à l'optique au collège. L'analyse des réponses recueillies montre que la majorité des élèves, sortant de l'étude de la chambre noire, et des enseignants interrogés, ne maîtrisent pas les concepts fondamentaux que ce dispositif est censé faire comprendre. Devant une situation expérimentale modifiée par rapport à celle, "apprise" en classe, les personnes interrogées semblent être en plein désarroi.

Même le concept de la propagation rectiligne de la lumière pose parfois problème surtout quand il s'agit d'une direction oblique (et non horizontale).

Les types de schéma, proposés par une même personne en réponse aux différentes questions, ne rendent pas compte de l'identité des caractéristiques géométriques des montages expérimentaux. Le fait que la lumière arrive sur l'écran diffusant ou dans l'oeil de l'observateur semble déterminer son comportement en amont.

Nous en déduisons que le modèle géométrique enseigné traditionnellement pour expliquer le fonctionnement de la chambre noire, mais qui laisse de côté les aspects conceptuels, ne présente qu'une efficacité réduite pour introduire précisément ces aspects conceptuels.

On peut s'étonner de la faible sensibilité des enseignants-juges à ces carences conceptuelles. Remarquons seulement qu'elle traduit, outre le fait probable que ces enseignants partagent les difficultés évoquées, une absence de fait d'objectifs conceptuels précis pour l'enseignement de la chambre noire.

Un retour sur l'introduction de ce chapitre laisse d'ailleurs apparaître à quel point il est difficile de définir, pour la chambre noire, un niveau de compréhension quelque peu cohérent et qui ne fasse pas appel, déjà, à une multiplicité de concepts. Cette remarque, jointe au constat qui émerge de cette enquête, conduit à remettre encore davantage en question le rôle traditionnellement introductif de ce dispositif. Il nous semble préférable d'introduire les divers concepts en cause - notamment la propagation rectiligne et isotrope de la lumière, le fait que celle-ci soit invisible "de profil", le rôle de l'écran diffusant, celui de l'oeil, les correspondances ponctuelle et globale entre objet et image -

successivement et non tous à la fois. De ce point de vue la chambre noire, pour laquelle les correspondances objet-image sont sans doute plus difficiles à comprendre que pour les lentilles, peut être utilisée plus efficacement comme thème de synthèse que comme thème introductif. C'est le choix que nous avons fait dans notre séquence d'enseignement.



CHAPITRE 2

ACTIVITES EN OPTIQUE ELEMENTAIRE

2.1. Introduction

Les activités présentées dans ce chapitre constituent la partie centrale d'un projet d'enseignement d'optique élémentaire, proposé aux professeurs de collège dans le cadre de la Formation des Maîtres à l'Université Paris 7. Ces activités se divisent en cinq séquences expérimentales, dont certaines reprennent les instructions du programme officiel (Propagation rectiligne de la lumière, Formation des images par une lentille mince convergente, Chambre noire...) tout en modifiant son contenu pour dépasser les difficultés résistant à l'enseignement traditionnel.

Nous avons déjà indiqué (Cf. ETAT DE LA QUESTION - p.4) quelles étaient, d'après les résultats des recherches sur les conceptions des adolescents et des adultes dans ce domaine, ces difficultés le mieux reconnues. Nous les rappelons dans nos commentaires plus détaillés qui accompagnent la description de chacune des séquences.

Le déroulement de ces activités est décrit de façon à rendre compte, le plus exactement possible, de ce que nous avons réalisé au cours d'un stage de formation; celui qui a servi à effectuer l'évaluation que nous présentons dans le chapitre 3 de ce travail. En revanche, il serait contraire à nos intentions que l'on considère nos indications comme des directives à appliquer rigoureusement. Une seule et même séquence peut donner l'occasion, au gré de l'initiative et de la curiosité des participants, de développer différentes explorations expérimentales relativement aisées avec notre matériel, et, plus largement, à des styles d'interventions pédagogiques moins contraints par le temps, laissant beaucoup plus de place à la phase de motivation préalable des élèves, aux tâtonnements et aux questionnements.

De toute façon, dans la description de chacun des épisodes on trouvera :

* Sous la rubrique "Matériel" - l'énumération des éléments

du montage expérimental et les conseils de fabrication des pièces originales.

* Sous la rubrique "Déroulement" - les manipulations et les observations détaillées de manière à permettre de les reproduire ou de s'en inspirer (Cf. ci-dessus).

* Sous la rubrique "Remarques" - les commentaires, réflexions et conclusions essentielles pour introduire ou mettre à l'épreuve le contenu conceptuel de l'épisode. Il est souhaitable que les stagiaires accèdent à ces "remarques" à la suite des manipulations et observations. Si tel n'était pas le cas, il importe que le formateur anime des discussions ou qu'il propose d'autres variantes des activités expérimentales afin d'obtenir ce résultat.

2.2. SEQUENCE n°1 - ANALYSE DE LA COULEUR

En classe de Quatrième, dans le chapitre "Analyse de la lumière", les instructions officielles prévoient l'utilisation du réseau de diffraction et l'observation des différents spectres de la lumière, dans le but, entre autres, de parvenir à la "connaissance d'un astre par son spectre".¹⁷

Cette partie du programme d'optique met les enseignants (selon leur expression) "particulièrement mal à l'aise". Les informations à transmettre sont complètement détachées du reste du contenu du chapitre "Optique", ce dernier étant surtout consacré aux éléments de l'optique géométrique.

La séquence décrite ci-après constitue en quelque sorte une contre-proposition par rapport au contenu du programme. Elle apporte essentiellement des informations à propos de la relation entre l'impression visuelle des couleurs et la composition spectrale de la lumière reçue par l'oeil (épisodes 1 à 4)¹⁸, mais on montre aussi que cette impression - pour un même spectre - varie si une couleur est vue sur des fonds différents (épisode 5).

¹⁷ La partie des instructions officielles, concernant l'optique au collège, est citée dans l'Annexe C.

¹⁸ Ces épisodes ont été élaborés à partir de la proposition de J.-Pierre Utrilla "Que la lumière soit, et la couleur fut" dans le BUP N° 703 [72].

L'intérêt de la séquence "Analyse de la couleur", placée au début de cette formation, repose sur les éléments suivants:

* On peut espérer une certaine motivation à priori sur le thème de la couleur (lien avec la vie courante, esthétique...)

* L'oeil s'y trouve d'emblée au centre du phénomène - c'est l'impression visuelle qui signale l'existence des différentes composantes spectrales dans la lumière reçue par l'observateur. En même temps, il importe de relativiser la fiabilité d'un tel indicateur (Cf. Episode 5 - variation de la couleur observée avec le contraste).

* Ce thème ne requiert qu'une analyse extrêmement sommaire de la vision (un écran blanc renvoie dans l'oeil ce qu'il reçoit) et pratiquement pas d'optique géométrique. Le réseau est considéré comme une "boîte noire" propre à trier les composantes spectrales, rien d'autre.

* Le phénomène de la diffusion de la lumière par les surfaces éclairées - essentiel pour l'interprétation de la vision - est mis en évidence tout en étant différencié de la réflexion (Cf. Episode 6).

* Le thème de la couleur permet, par la mise en jeu de règles combinatoires simples, une authentique analyse des phénomènes observables, et des prédictions (Cf. Episodes 3 et 4). On peut en espérer une forte motivation - a posteriori cette fois.

La principale difficulté à affronter (Cf. [2], [12], [49]) est associée à la conception de couleur considérée comme une caractéristique propre à un objet donné, et où le rôle de la lumière se limite au celui d'un "éclairage suffisant pour bien voir". Cette conception est très largement partagée : les auteurs cités la retrouvent aussi bien chez des enfants de 10-12 ans que chez des adultes de 18 ans et plus.

Au début de la séquence (épisodes 1 et 2) on propose la constitution d'un petit "catalogue" où à chaque couleur est associé un spectre de la lumière qui "produit" cette couleur sur l'écran blanc. Les couples spectre-couleur sont observés et comparés par rapport au couple de référence, à savoir le spectre de la lumière "blanche" - associé à l'aire lumineuse blanche sur l'écran. La constitution de ce catalogue n'est pas une fin en soi - dans la suite de la séquence (épisodes 3 et 4), ces données devraient faciliter la compréhension des règles de la synthèse soustractive et additive des couleurs, à laquelle les élèves sont censés parvenir à la suite d'une

série des prédictions/vérifications d'hypothèses.

Notons que toutes les observations décrites dans les différents épisodes de cette séquence gagnent à être réalisées dans une salle obscure. La durée de cette séquence est prévue pour 4 heures environ.

2.2.1. Episode 1 - Spectre de la lumière blanche

Dans cet épisode nous proposons l'observation d'un effet expérimental (décomposition de la lumière blanche en ses composantes spectrales) et l'analyse du rôle des éléments du montage servant à l'étudier.

Matériel:

Un projecteur de diapositives, une fente (1 mm environ) montée sous cache-diapositive (Cf. figure 20), un bon réseau de diffraction (à fixer sur l'objectif du projecteur), un écran blanc, un tableau noir (facultatif : de grandes feuilles de papier noir et de couleur), lampes de poche, filtres.

Déroulement:

1. Faire la mise au point sans le réseau - on obtient sur l'écran l'image de la fente.
2. Fixer le réseau - des deux côtés de l'image précédente, on voit des arcs-en-ciel (le spectre de la lumière blanche).

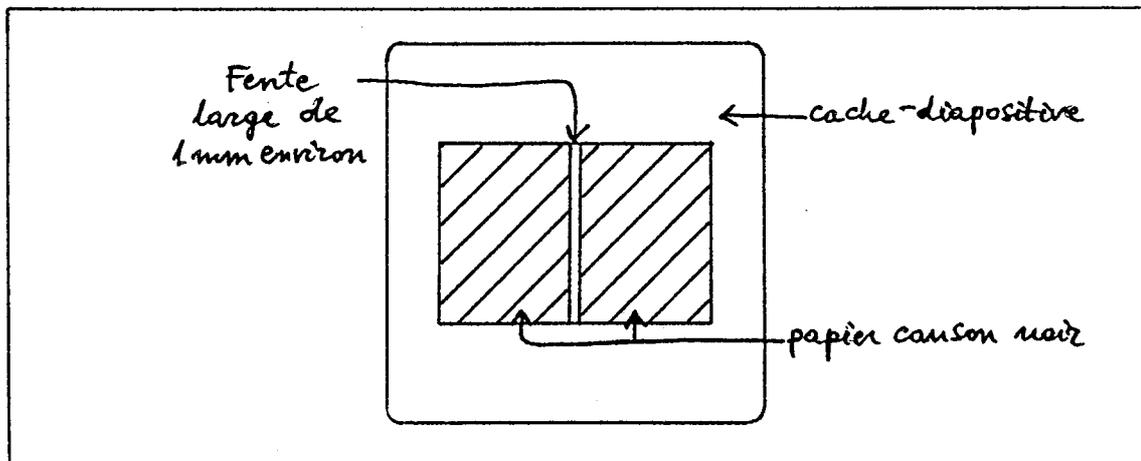


Figure 20 - Eléments de la fente montée sous cache-diapositive

3. Montrer le rôle de chaque élément du montage:

* Si le projecteur est muni d'un variateur d'intensité, baisser la lumière jusqu'à la couleur rougeâtre de l'image centrale de la fente - le spectre pâlit surtout dans le bleu.

* Enlever la fente ou la remplacer par une fente large (1 cm environ) - le spectre se transforme en irisations pâles.

* Enlever l'écran blanc - le remplacer par le tableau noir, ou bien (facultatif) placer sur une partie de l'écran (sur la moitié de l'image de la fente et sur la moitié du spectre) une grande feuille de papier noir (et ensuite une à une, des feuilles de couleurs différentes) - conclure sur la "supériorité" de l'écran blanc qui permet d'observer le plus grand nombre de couleurs différentes.

Remarques:

1. Toutes les couleurs de l'arc-en-ciel sont des composantes de la couleur blanche dans le sens où elles peuvent être obtenues par l'analyse (à l'aide du réseau) de la lumière qui "produit" une aire blanche sur l'écran.

Important : Le réseau ne colore pas, il sépare seulement les couleurs déjà existantes mais mélangées et, par conséquent, "invisibles". Pour travailler cette idée, proposer une "synthèse sauvage" : distribuer des lampes de poche et des filtres (par exemple les 6 filtres du "Kit pour le mélange des couleurs" de Jeulin), demander de diriger les faisceaux sur l'écran - la superposition donne un résultat "qualitativement satisfaisant" (Ne disposant pas de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, il n'est pas impératif d'obtenir la teinte "de référence", donnée par la lumière "blanche" d'une lampe de poche sans filtre dirigée sur un autre endroit de l'écran).

2. L'écran blanc permet de voir toutes les couleurs car il renvoie autour de lui - en particulier vers les yeux des observateurs - toute la lumière qu'il reçoit (ou presque). Le tableau noir en renvoie relativement peu et, pour les feuilles colorées, le résultat dépend de la composition spectrale de la lumière reçue. Certaines composantes sont renvoyées et les autres absorbées : ce ne sont pas de bons écrans.

2.2.2. Episode 2 - Spectre de la lumière de couleur

Le spectre de la lumière blanche, observé dans l'épisode précédent, constitue maintenant la référence pour l'étude des spectres de la lumière "colorée" par le passage à travers un filtre.

Matériel:

Comme pour l'épisode 1, plus une collection de "fentes-couleur" (Cf. figure 21).

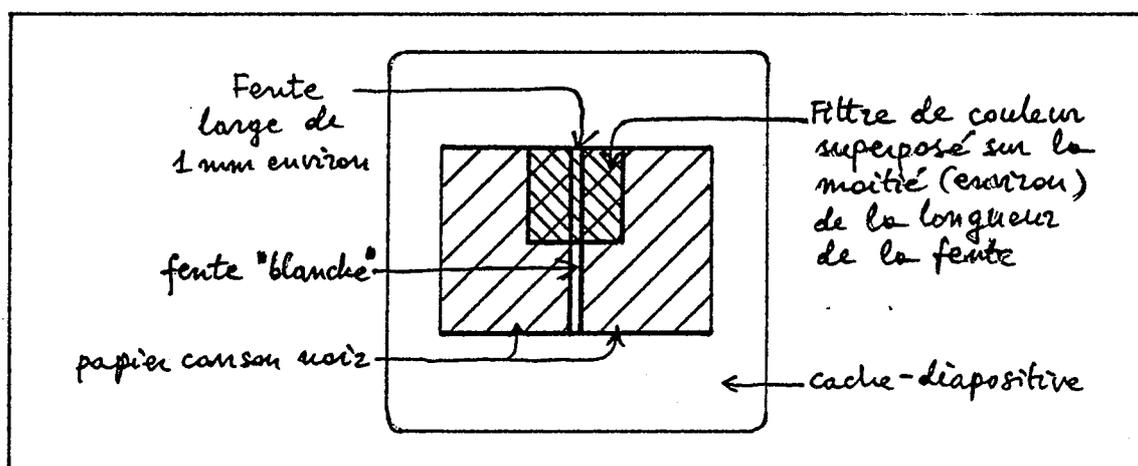


Figure 21 - Eléments d'une "fente-couleur" montée sous cache-diapositive.

Déroulement:

Comparer le spectre correspondant à la partie colorée de la fente avec le spectre "de référence" (correspondant à la partie "blanche" de la fente) pour chaque couleur de la collection.

Remarques:

1. La lumière qui produit une aire colorée est plus pauvre en composantes spectrales que celle qui produit une aire blanche. En traversant un filtre la lumière perd certaines couleurs.

2. L'impression visuelle ne permet pas de trancher facilement entre une couleur "composée" (au spectre large) et une couleur spectrale.

Episode 3 - "Mélange" des couleurs et spectres associés

Dans cet épisode, nous proposons l'étude de la synthèse soustractive des couleurs. Le mot "mélange", employé dans le titre (et destiné aux élèves), fait référence au mélange des peintures.

Materiel:

Comme pour les épisodes 1 et 2, plus une collection de fentes "couleurs multiples" (Cf. figure 22).

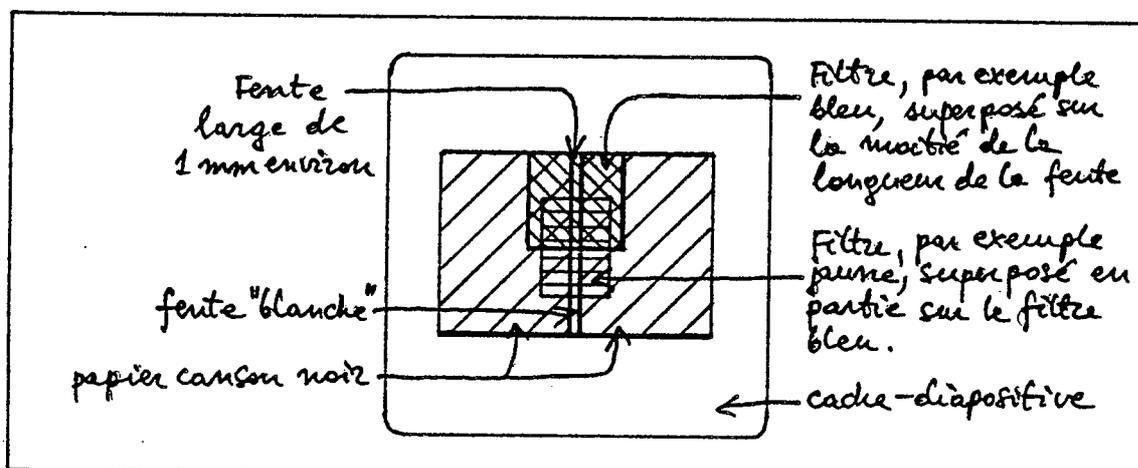


Figure 22 - Eléments d'une fente "couleurs multiples".

Déroulement:

Pour plusieurs fentes de la collection, observer et comparer le spectre correspondant à la couleur obtenue par la superposition de deux filtres, avec les spectres correspondant à chacune des couleurs mélangées.

A partir, par exemple, de la troisième fente, essayer de prévoir le résultat de la superposition en indiquant les deux couleurs de départ (ne pas hésiter à rappeler les spectres de ces deux couleurs en revenant à la collection des fentes de l'épisode 2).

Renouveler les prévisions avec d'autres fentes "couleur multiples" et vérifier les résultats.

Remarques:

En traversant, l'un après l'autre, les deux filtres superposés, la lumière "blanche" perd les composantes absorbées par chacun d'eux. La couleur obtenue contient dans son spectre "l'intersection" des deux spectres de départ : par exemple, en superposant un filtre jaune et un filtre bleu on peut obtenir une aire verte (si les filtres de départ ont des spectres larges, avec une composante verte chacun) ou noire (si leurs spectres n'ont pas de composante commune).

2.2.4. Episode 4 - Addition des couleurs

Au cours de l'épisode précédent, on obtenait une nouvelle couleur en faisant passer un faisceau de lumière blanche à travers deux filtres superposés avant d'arriver sur l'écran blanc. Maintenant on propose de produire une nouvelle couleur en dirigeant sur l'écran blanc deux faisceaux de lumière, issus de deux projecteurs, qui ont traversé chacun un filtre.

Matériel:

Deux projecteurs de diapositives, une collection de filtres (les mêmes que ceux qui ont servi à la fabrication des fentes de l'épisode 3), l'écran blanc.¹⁹

Déroulement:

1. Diriger les deux projecteurs vers l'écran de façon à obtenir deux aires éclairées qui se recouvrent en partie. Il serait souhaitable que ces deux aires aient la même teinte et la même clarté. Montrer ensuite, une à une, les couleurs de deux premiers filtres et proposer de **prévoir** la couleur de l'intersection si les deux faisceaux sont projetés ensemble. Au besoin, revenir à la collection des fentes de l'épisode 2 pour rappeler les spectres associés à chacune de couleurs de départ.

2. Renouveler l'expérience avec d'autres paires de

¹⁹ Les manipulations permettant d'étudier les différents aspects de la synthèse additive des couleurs à l'aide d'un "petit matériel" sont décrites dans le N° 676 de BUP par R. Jouanisson "Une expérience pluridisciplinaire: polyèdres et synthèse additive des couleurs" [43].

filtres.²⁰

Remarques:

1. L'aire éclairée par deux faisceaux renvoie la lumière qui contient à la fois les composantes spectrales de l'un et de l'autre. Ce spectre "résultant" constitue donc "l'union" (ou la somme) des deux spectres de départ. Par conséquent, la couleur obtenue aura un spectre plus large - elle paraîtra plus "claire" ou plus "blanchâtre" que chacune des deux couleurs additionnées. Par exemple, un faisceau de lumière jaune et un faisceau de lumière bleue peuvent donner une aire blanche si le spectre ("résultant") de la lumière renvoyée par cette aire contient toutes les composantes de la lumière blanche.

2. D'autre part, l'écran éclairé par deux faisceaux renvoie plus de lumière que quand il n'est éclairé que par l'un ou par l'autre - la couleur de l'intersection est par conséquent toujours plus lumineuse que chacune des couleurs de départ.

2.2.5. Episode 5 - Impression visuelle des couleurs (contraste)

Dans cet épisode, on examine l'impression visuelle produite par une aire de l'écran qui renvoie toujours la même lumière. La composition spectrale de cette lumière ne varie donc pas au cours de l'observation. Malgré cela, la couleur de cette aire change si l'on modifie la couleur de son "voisinage" (par exemple, sur un fond noir l'aire observée semble avoir une autre couleur que sur un fond vert, etc...).

Matériel:

Comme pour l'épisode 4, plus un cache-diapositive avec un carré noir (opaque) au centre et une collection de filtres avec un carré noir au centre comme sur la figure 23.

Déroulement:

1. Placer un filtre de spectre large (jaune, par exemple) dans un projecteur. Observer, sur l'écran, la couleur de

²⁰ Si, sans filtres, les aires éclairées par les deux projecteurs étaient différentes, on pourrait intervertir les filtres après chaque expérience et commenter le rôle de l'intensité d'une couleur ou de l'autre sur le résultat de l'addition.

l'aire éclairée sur un fond noir (l'autre projecteur étant éteint).

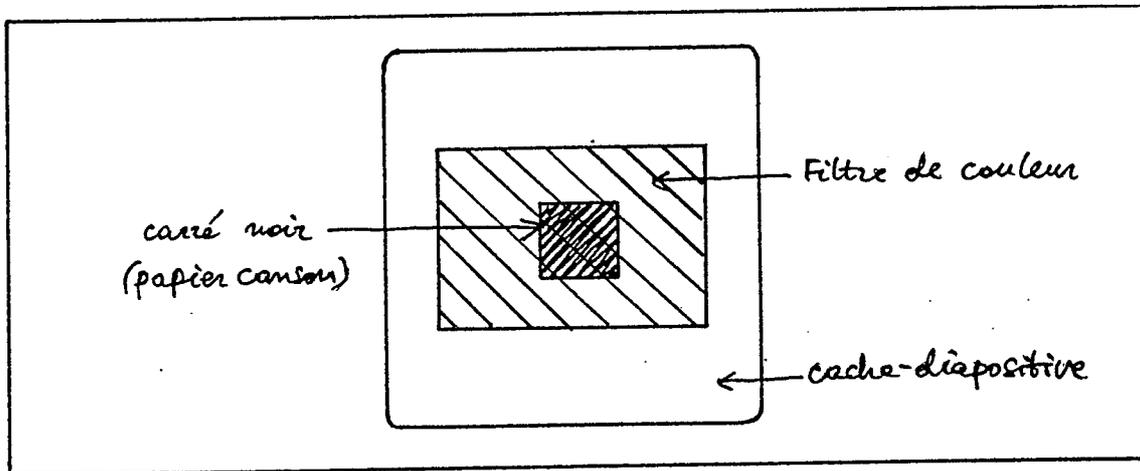


Figure 23 - Filtre avec un carré noir (opaque) au centre, monté sous cache-diapositive.

2. Allumer l'autre projecteur avec le cache-diapositive sans filtre (mais avec le centre noir). Diriger ce projecteur sur l'écran de façon à superposer l'aire colorée (produite par le premier projecteur) et l'aire blanche au centre noir : ce dernier par la même occasion devient éclairé par la lumière colorée (issue du premier projecteur) seulement. Ce centre renvoie donc vers l'oeil de l'observateur toujours la même lumière - et pourtant l'impression visuelle change : on voit une couleur plus "foncée", plus grisâtre que sur le fond noir (quand le second projecteur était éteint).

3. Sans toucher au premier projecteur (la lumière colorée "de référence" éclairant toujours l'écran), placer dans le second projecteur, un à un différents filtres avec le carré noir au centre - on voit que le centre de l'écran change un peu la couleur avec chaque changement de filtre. Par exemple, si la couleur "de référence" est jaune, l'aire centrale de l'écran devient jaune-citron avec le filtre bleu et elle semble verdâtre avec le filtre rouge, etc.

Remarques:

1. Durant tout cet épisode, la lumière renvoyée par l'aire centrale de l'écran est celle issue du projecteur "de référence", et seule la couleur du fond change "objectivement" - le fond est éclairé par la superposition (la somme) de la lumière de deux projecteurs.

2. L'oeil humain ne peut pas être réduit à un simple "identificateur" de la composition spectrale de la lumière reçue - l'impression visuelle est le résultat d'une activité cérébrale complexe, où l'analyse du contraste entre la couleur d'une aire donnée et la couleur de fond sur lequel on voit cette aire est importante dans l'information sensorielle (reconnaissance des formes, identification d'un objet camouflé, etc.).

Episode 6 - Diffusion de la lumière et vision

Au cours de cet épisode on montre que des surfaces éclairées renvoient la lumière et, en particulier, que des surfaces colorées, éclairées par la lumière blanche, renvoient (diffusent) de la lumière "colorée". Nous présentons ici cette démonstration dans sa version réalisée à l'aide d'un "petit matériel" pouvant être manipulé par les élèves.

Matériel:

Pour chaque élève : un écran opaque (une chemise en carton, par exemple), une lampe de poche, deux feuilles de papier bristol blanc (une d'elles, posée contre la chemise en carton, servira comme écran blanc - Cf. figure 24), une feuille de papier noir, des feuilles de papier de couleurs différentes (vives de préférence), une feuille de papier aluminisé (des couvercles des moules jetables en aluminium conviennent), un miroir plan, facultatif (mais utile) : un petit objet (une poupée ou un petit jouet) placé comme sur la figure 24.

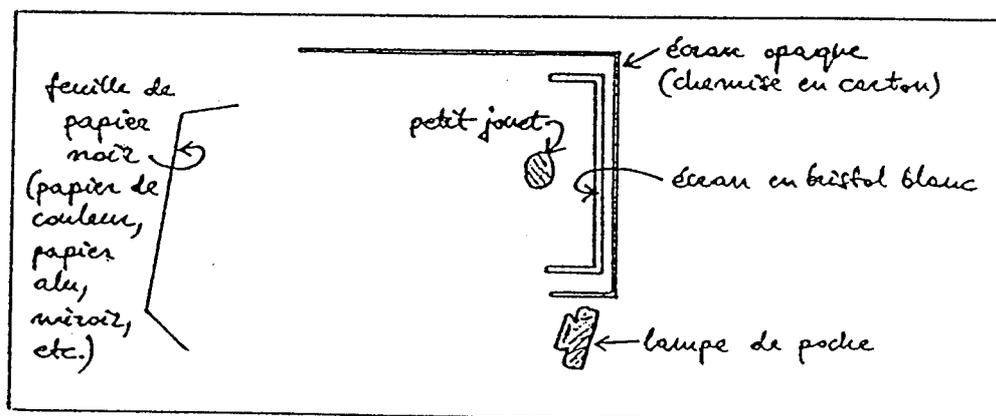


Figure 24 - Schéma du montage expérimental de l'épisode 6.

Déroulement:

1. Diriger le faisceau de la lampe de poche sur la feuille de papier-bristol blanc placée en face de l'écran blanc - on voit que cet écran devient éclairé par la lumière renvoyée (diffusée) par la feuille blanche. Le petit objet rend l'observation plus facile - on remarque, par exemple, sur l'écran derrière lui, une zone plus sombre là où la lumière diffusée par la feuille n'arrive pas.

2. Remplacer la feuille blanche par la feuille noire - elle ne diffuse que très peu de lumière. L'écran et le petit jouet restent sombres.

3. Remplacer la feuille noire par une feuille de couleur vive - l'écran blanc et le jouet deviennent éclairés par une lueur colorée. Renouveler l'observation avec d'autres couleurs.

4. Remplacer la dernière feuille de couleur par la feuille "aluminium" et ensuite, par le miroir - comparer l'effet de la diffusion de la lumière avec l'effet de la réflexion.

Remarques:

1. L'éclairage indirect - par diffusion de la lumière d'une source puissante sur une surface blanche - est couramment employé dans la photographie. En revanche, la diffusion de la lumière colorée par une surface de la même couleur n'est presque jamais démontrée expérimentalement; elle reste, pour les élèves, une de ces affirmations verbales sans conséquences pratiques.

2. Dans cet épisode, la "présence" de la lumière est révélée grâce à la lueur colorée sur l'écran blanc. Ce procédé semble convaincant pour les adolescents qui reconnaissent "la lumière" quand ils voient un éclairage.²¹

3. La lumière de la lampe de poche, réfléchiée par le miroir (ou, partiellement, par la feuille alu), produit sur

²¹ Cf. [70], [39], etc. Les adolescents ont beaucoup de difficultés à reconnaître l'existence de la lumière entre la source et le récepteur - le fait de voir un objet non lumineux ne signifie pas pour eux que la lumière renvoyée par cet objet arrive dans l'oeil de l'observateur. En revanche, en voyant une lueur sur l'écran, ils admettent que la lumière, issue de la tache lumineuse ("produite" par le faisceau de la lampe de poche) sur la feuille de couleur, arrive sur cet écran.

l'écran une aire lumineuse qui se déplace quand on incline, ou quand on tourne légèrement le miroir. Si le petit jouet se trouve dans le faisceau, alors on voit sur l'écran son ombre qui bouge avec les mouvements du miroir. Ces effets montrent la différence entre la réflexion et la diffusion de la lumière par le papier - cette dernière peut être identifiée par l'absence d'une aire lumineuse bien délimitée sur l'écran et par le manque de réaction visible aux petits mouvements de la feuille.

2.3. SEQUENCE n°2 - PROPAGATION RECTILIGNE DE LA LUMIERE

Le concept de la propagation rectiligne et isotrope de la lumière à travers un milieu homogène (ici - dans l'air) est fondamental dans l'optique élémentaire. Au cours de cette séquence nous proposons plusieurs activités expérimentales élaborées en vue d'aider les élèves à mieux le maîtriser. Nous entendons poursuivre, au passage, l'objectif déjà évoqué pour la séquence n°1 : intégrer la compréhension de la vision dans l'optique géométrique.

Les enquêtes évoquées au chapitre précédent ont largement fait apparaître les lacunes conceptuelles associées à ces thèmes. Notons, sur ces points, trois caractéristiques marquantes de l'enseignement :

* L'explication des différents phénomènes visuels n'est pas véritablement associée à l'interprétation des phénomènes que l'on évoque pour "démontrer" la propagation rectiligne et isotrope de la lumière. Ainsi une méthode couramment employée dans l'enseignement consiste à faire viser, par les élèves, une source de lumière ou un objet éclairé, à travers plusieurs écrans troués. La source (ou l'objet) ne peut être vue que quand les trous sont alignés. On propose également aux élèves d'aligner quelques épingles et de constater qu'en visant bien, la première cache toutes les autres. Cela est censé prouver la propagation rectiligne de la lumière.

Mais l'efficacité de ces méthodes dépend de la conviction préalable que pour voir quelque chose, il faut que la lumière issue de l'objet vu arrive dans les yeux de l'observateur. Or, cette conviction, on l'a vu (Cf. les résultats du chapitre précédent et ceux d'enquêtes [2], [12], [39], [47], [49]) est loin d'être largement partagée.

* Parmi les moyens, utilisés souvent dans l'enseignement traditionnel, pour "montrer" que la propagation de la lumière est rectiligne, on trouve de nombreux "faisceaux visualisés". Les résultats de l'enquête [47], citée dans le chapitre précédent, confirment les inconvénients (prévisibles) de ce type d'approche.

* Dans l'enseignement actuel, on propose l'étude de la chambre noire au tout début du chapitre "Optique". Les manipulations de la chambre noire, construite par chaque élève, sont censées lui faire comprendre le principe de

propagation rectiligne avec ses conséquences quant à la formation sur l'écran de la figuration de l'objet-source placé devant le trou. Or, la complexité conceptuelle du modèle, interprétant le fonctionnement de la chambre noire, ainsi que nous l'avons exposée au chapitre précédent, dépasse de loin la propagation rectiligne de la lumière (Cf. aussi [18], [19]).

Ce sont là trois écueils que nous souhaitons éviter, d'une part en explicitant le rôle primordial de l'oeil de l'observateur (dans le contexte d'une géométrie extrêmement simple), d'autre part en n'utilisant pas de faisceaux visualisés. Sur ce second point nous avons consacré toute une séquence à l'analyse de la "lumière visualisée" et aux difficultés attachées à l'idée que la lumière est visible en tant que telle (séquence n°4). Enfin, nous tenons à réserver à l'étude de la chambre noire le statut d'un thème de synthèse (séquence n°5).

Dans la séquence actuelle, après un épisode introductif (Episode 1 - où l'on s'intéresse à la propagation de la lumière entre la source et l'écran diffusant), nous présentons des manipulations qui permettent aux élèves de se rendre compte du rôle de l'oeil en tant que détecteur de lumière (Episode 2, mais aussi les épisodes 3 et 4).

Nous proposons, dans les épisodes 3 et 4, l'étude de la formation des ombres. Le choix de ce sujet, d'apparence tout à fait scolaire, ne nous incite pas pour autant à conduire le déroulement de ces épisodes de façon traditionnelle : là encore on se souciera du trajet de la lumière jusqu'à l'oeil, lequel prendra à l'occasion la place de l'écran.

Nous tenons à souligner qu'au cours des différents stages, les participants eux-mêmes ont élaboré des éléments de montages y apportant de multiples variantes, tout en conservant les caractères propres à l'étude du phénomène en cause. Cependant, pour les besoins de l'évaluation, décrite au chapitre 3, nous avons souhaité fournir à chacun des enseignants du dernier stage un matériel identique. Ceci nous a amené à en donner (Cf. épisodes 1 à 4) une description détaillée puisque nous en précisons les caractéristiques parfois au millimètre près.

L'épisode 5 constitue un exercice expérimental qui permet une récapitulation des deux premières séquences. Pour faire une bonne prévision, il faut avoir compris les règles de la synthèse additive des couleurs et celles de la formation des ombres. En outre, l'effet final est tellement insolite qu'on ne risque pas de l'oublier.

Notons, que les manipulations décrites dans les épisodes 1 à 4 peuvent être réalisées en lumière ambiante. L'épisode 5 gagne à se dérouler dans une salle obscure. La durée de cette séquence est prévue pour 4 heures environ.

2.3.1. Episode 1 - Ecran - détecteur de lumière

Dans cet épisode nous proposons de vérifier le principe de propagation rectiligne en se servant d'un écran diffusant comme détecteur de lumière.

Matériel:

Une petite ampoule (A) alimentée par une pile 4,5 V, des supports pour la placer à la hauteur de 3 ou de 6 cm au-dessus de la feuille - "base" du montage, un écran blanc (E) en bristol, un écran (E_t) percé d'un trou T (4 mm de diamètre) à la hauteur de 6 cm, un autre écran (E_{3t}) avec trois trous (6 mm de diamètre chacun) : T₁ à 3 cm, T₂ à 6 cm et T₃ à 9 cm, une feuille - "base" du montage - où l'on a indiqué les positions de l'ampoule (A) et des deux écrans, et où est tracé l'axe du montage passant à la verticale de l'ampoule et des trous. Pour simplifier l'analyse purement géométrique de la situation expérimentale, on propose de commencer avec la même distance (par exemple - 10 cm) entre (A) et (E_t) que celle entre (E_t) et (E).

La figure 25 présente deux exemples de schéma de montage, manipulé au cours de cet épisode.

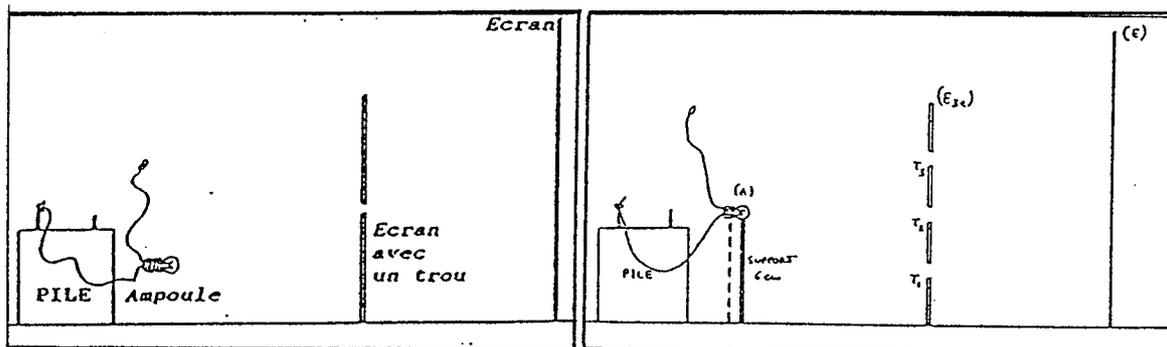


Figure 25 - Sur le schéma de gauche, l'ampoule (A) est placée à la hauteur de 3 cm et, pour produire une aire lumineuse sur l'écran (E), la lumière passe par le trou T, dans l'écran (E_t).
Sur le schéma de droite, l'ampoule (A) est à la hauteur de 6 cm et, pour éclairer l'écran (E), la lumière passe par les trois trous dans l'écran (E_{3t}).

Déroulement:

1. Placer l'ampoule (A), **débranchée**, sur le support de 6 cm. Disposer les écrans (Et) et (E) comme sur la figure 6 à gauche. Fixer sur l'écran (E) une feuille quadrillée (pour mieux repérer la position de l'aire lumineuse). **Avant d'allumer l'ampoule** - dessiner sur cette feuille l'aspect attendu, ainsi que la taille et la position de l'aire lumineuse que l'on verra si l'on branche la petite lampe.

2. Vérifier la prévision en allumant l'ampoule (A) et en observant l'écran (E).

3. Sans changer les positions des écrans, placer l'ampoule (A) à la hauteur de 3 cm. Refaire la prévision et la vérification expérimentale.

4. Déplacer l'écran (Et) (et le trou T avec) de 3 cm vers la droite. Refaire et vérifier la prévision.

5. Remplacer l'écran (Et) par l'écran (Est) avec trois trous. Fixer une nouvelle feuille sur l'écran (E), refaire et vérifier la prévision.

Remarques:

1. L'aire lumineuse sur l'écran (E), observée au cours des manipulations décrites ci-dessus, peut être interprétée comme une "preuve" que la lumière, issue de l'ampoule (A), arrive sur cet écran et, diffusée par sa surface blanche, parvient jusqu'aux yeux de l'observateur. La première partie de cette interprétation (la lumière arrive sur l'endroit lumineux de l'écran) semble convaincante pour les élèves - ils peuvent même la proposer de leur propre chef.²²

En vérifiant les prévisions proposées, on peut conclure par conséquent, sur la propagation rectiligne de la lumière entre l'ampoule (A) et l'écran (E) : (A), le trou T et l'aire lumineuse sur l'écran (E) sont alignés.

2. Il est important de faire varier la hauteur de l'ampoule au cours des manipulations proposées - d'après les ré-

²² En revanche, il faut s'attendre à ce que les élèves "oublient" la diffusion de la lumière par l'écran et le trajet de la lumière diffusée jusqu'à l'oeil (nous y reviendront au cours de l'épisode 2).

sultats de plusieurs enquêtes (Cf. Chapitre précédent et aussi [39], [47]), le principe de la propagation rectiligne et horizontale de la lumière n'est que très rarement étendu par les élèves à toutes les autres directions possibles.

3. Selon les circonstances (le niveau des élèves, le temps disponible, etc.) on peut demander des prévisions plus ou moins précises : par exemple, étant donné que le filament de l'ampoule constitue une source lumineuse de dimensions négligeables, le diamètre de l'aire lumineuse sur l'écran sera le double du diamètre du trou T (ou de chacun des trous T_1 , T_2 et T_3) environ.

En outre, afin de rendre plus complexe l'analyse géométrique du montage, on peut faire varier la disposition des deux écrans - éloigner ou rapprocher l'écran (E_2) par rapport à l'ampoule (A).

2.3.2. Episode 2 - Oeil - détecteur de lumière

Au cours de cet épisode nous proposons de s'intéresser à la propagation rectiligne de la lumière, entre ce qui est vu et l'oeil qui regarde.

Matériel:

Comme pour l'épisode 1 plus un écran noir (pour "isoler" le montage - Cf. figure 26).

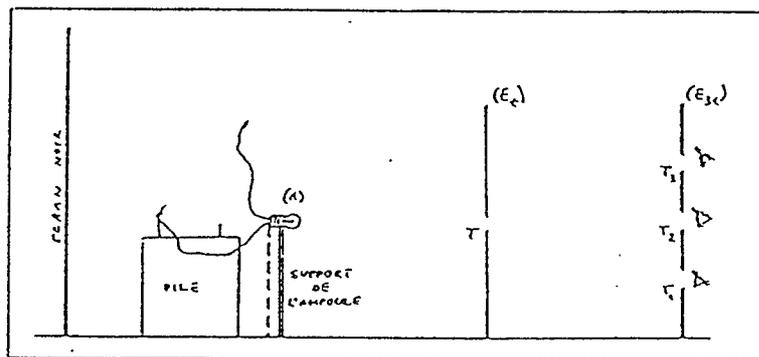


Figure 26 - Schéma du montage servant aux manipulations de l'épisode 2.

Déroulement:

1. Disposer l'ampoule (A) débranchée, l'écran noir,

l'écran (E_t) et l'écran (E_{3t}) comme sur le schéma de la figure 26. Placer l'oeil derrière l'écran (E_{3t}) de façon à regarder à travers les trous T_1 et T . Noter ce qu'on voit. Prévoir ce qu'on verra si l'on allume l'ampoule. Noter et justifier cette prévision.

2. Renouveler la prévision en plaçant l'oeil, toujours derrière l'écran (E_{3t}), de façon à regarder à travers les trous T_2 et T . Ensuite, la même chose pour les trous T_3 et T .

3. Brancher l'ampoule (A) et vérifier les prévisions.

4. Changer le support de l'ampoule (A) - si elle était à la hauteur de 6 cm, la placer maintenant à 3 cm au-dessus de la "base". Refaire les prévisions pour les trois paires de trous.

5. Allumer l'ampoule (A) et vérifier les prévisions.

Remarques:

1. Il est important de demander des prévisions détaillées et de refuser des expressions du genre : "*On ne verra rien*" ou "*On verra de la lumière*" sans plus de précision. "*Rien*" - peut signifier que l'élève ne pense pas voir l'ampoule, ou qu'il prévoit (tout en "oubliant" la consigne de regarder à travers les trous dans les deux écrans, soit pour T_1 et T , ou T_3 et T , dans la direction oblique), l'observation "horizontale" aboutissant sur le "dos" de l'écran (E_t). De même, la prévision de "*voir la lumière*" peut être traduite comme "*voir l'ampoule*" ou comme "*voir le faisceau de la lumière se propageant devant l'observateur*".²³

2. Si la vérification expérimentale ne confirme pas la prévision, il est utile de discuter avec les élèves avant de changer le support de l'ampoule pour que, en refaisant les prévisions devant le montage modifié, ils aient une nouvelle chance.

3. En mettant au point les manipulations proposées dans cet épisode, nous avons un double but :

* Convaincre les élèves qu'un faisceau de lumière n'est pas visible "de profil", c'est à dire quand la lumière de ce faisceau n'arrive pas dans les yeux de l'observateur. Ici, cela correspond aux positions d'où on ne voit pas l'ampoule.

²³ Ce montage a été exploité au cours des trois enquêtes citées au chapitre précédent.

* En revanche, on peut voir "à travers" un faisceau issu de la source de lumière (ici - en regardant à travers T₁ et T, par exemple) des objets diffusant la lumière, si cette dernière, en se propageant en ligne droite, parvient jusqu'à l'oeil.

2.3.3. Episode 3 - Ombre - source ponctuelle

Au cours des manipulations proposées dans cet épisode, nous voulons attirer l'attention sur les difficultés, souvent sous-estimées, liées à l'interprétation de la formation des ombres.

Matériel:

L'ampoule (A), l'écran (E), l'écran (E₂) et la feuille de "base" de l'épisode 1, plus un rectangle haut de 5 cm et large de 4 cm en bristol, pouvant être placé verticalement à mi-distance entre l'ampoule (A) et l'écran (E) comme sur la figure 27.

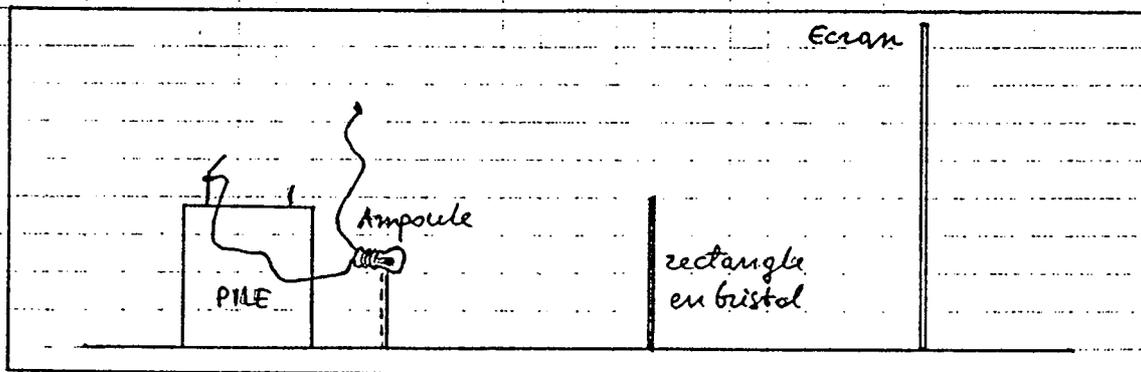


Figure 27 - Montage expérimental servant au cours de l'épisode 3.

Déroulement:

1. Placer l'ampoule (A) sur le support de 3 cm. Avant de la brancher, fixer sur l'écran (E) une feuille quadrillée sur laquelle on a dessiné (avec soin) l'ombre prévue, compte tenu des positions relatives du rectangle, de l'ampoule et de l'écran (E).

2. Allumer l'ampoule (A) et vérifier cette prévision.

3. Remplacer l'écran (E) par l'écran (E_{3t}) - les trous T₁ et T₂ se trouvent "dans l'ombre", le trou T₃ est dans la zone éclairée. Prévoir par quel trou on verra l'ampoule (A), si l'on place l'oeil derrière l'écran (E_{3t}).

4. Vérifier cette prévision.

5. Renouveler l'expérience - faire les deux prévisions : l'aspect de l'ombre du rectangle, et la position de l'observateur derrière le (ou les) trou(s) d'où il voit la source - pour l'ampoule placée à la hauteur de 6 cm.

Remarques:

1. Pour bien prévoir l'aspect de l'ombre, il faut se servir du principe de la propagation rectiligne et isotrope de la lumière émise par l'ampoule (qui peut être considérée ici comme une source ponctuelle). Compte tenu de la géométrie du montage, l'ombre du rectangle sur l'écran (E) a 7 cm de hauteur et 8 cm de largeur pour l'ampoule à 3 cm de la base.²⁴

2. La deuxième prévision contrôle l'interprétation de la vision par l'élève, en termes de lumière issue de ce qu'on voit et parvenant à l'oeil de l'observateur. La lumière de l'ampoule n'arrive que sur la zone éclairée de l'écran (E) - le trou T₃, situé dans cette zone permet de voir la source. En revanche, la zone d'ombre est celle où la lumière de l'ampoule n'arrive pas : on ne verra pas l'ampoule par le trou T₁, situé dans l'ombre du rectangle.

Notons, que le trou T₂ permet de voir l'ampoule quand elle se trouve à 6 cm, mais non quand elle est à la hauteur de 3 cm.

2.3.4. Episode 4 - Ombre - source étendue

Au cours de l'épisode précédent, la source de lumière pouvait être considérée comme ponctuelle. Maintenant, nous proposons de reprendre les mêmes manipulations avec une source étendue, à savoir la flamme d'une bougie.

²⁴ C'est la largeur de l'ombre qui est souvent sous-estimée : une partie importante des personnes interrogées applique le principe de la propagation rectiligne pour prévoir la hauteur de l'ombre et, ensuite, dessine sur la feuille fixée sur l'écran, un rectangle de même largeur que celle de l'objet.

Matériel:

Comme pour l'épisode 3 en remplaçant l'ampoule (A) par une petite bougie haute de 3,5 cm environ : on coupera la mèche à 4 cm au-dessus de la "base" du montage.

Déroulement:

1. Avant d'allumer la bougie, dessiner sur la feuille fixée sur l'écran (E) l'aspect prévu de l'ombre du rectangle.

2. En remplaçant l'écran (E) par l'écran (E_{3t}), et en y déplaçant la feuille avec le dessin de l'ombre attendue, prévoir par quel trou on pourra voir la flamme : entièrement, une partie seulement, pas du tout.

3. Replacer le dessin sur l'écran (E), allumer la bougie et vérifier toutes ces prévisions.

Remarques:

1. Compte tenu des dimensions non-négligeables de la flamme de la bougie, on peut distinguer trois zones particulières sur l'écran (E) :

* Zone éclairée - tout point appartenant à cette zone reçoit (et diffuse) la lumière de toute la surface de la flamme en regard de l'écran.

* Zone d'ombre où n'arrive pas la lumière issue de la flamme.

* Zone de pénombre - un point appartient à cette zone s'il reçoit (et diffuse) la lumière émise par une partie de la flamme seulement.

Par conséquent, il n'y a pas de limite nette entre la zone éclairée et l'ombre du rectangle. En regardant l'écran (E) on ne peut pas distinguer les frontières entre les trois zones définies ci-dessus.

2. En revanche, l'oeil de l'observateur placé derrière l'écran (E_{3t}), pourra servir de détecteur de pénombre :

* Par le trou T₁ il ne voit pas la flamme - il est dans l'ombre.

* Par le trou T₂ il voit une partie de la flamme - il est dans la pénombre.

* Par le trou T₃ il voit la flamme entière - il est dans la zone éclairée.

En déplaçant l'écran (E₃) (ou en se servant d'un autre petit écran où l'on a percé plusieurs trous aux endroits déterminés par analyse géométrique du montage) on peut vérifier les positions exactes des frontières entre ces zones:

* L'oeil se trouve derrière la limite supérieure de l'ombre (à l'entrée dans la pénombre) quand on aperçoit dans le trou le sommet de la flamme au-dessus du "dos" du rectangle.

* L'oeil se trouve derrière la limite supérieure de la pénombre (à l'entrée dans la zone éclairée) quand on aperçoit la base de la flamme au-dessus du "dos" du rectangle (on peut voir ainsi toute la flamme à travers le trou percé à cette hauteur).

De la même façon, on peut déterminer les frontières de la pénombre à gauche et à droite de l'ombre du rectangle.

2.3.5. Episode 5 - Exercice de révision - ombres avec deux sources colorées

Au cours de cet épisode, nous proposons des manipulations qui peuvent constituer un exercice expérimental aidant à réviser le contenu des deux premières séquences. Nous présentons ici la version "démonstration", élaborée afin de susciter une discussion générale en classe, mais il est également possible de transformer cet exercice en travaux pratiques en petits groupes, en remplaçant les projecteurs par le "petit matériel".

Matériel:

Deux projecteurs de diapositives, une collection de filtres, un objet de forme caractéristique (pour bien distinguer les détails de son ombre).

Déroulement:

1. En allumant un projecteur, muni d'un filtre (jaune, par exemple) marquer la position de l'ombre de l'objet sur l'écran. Eteindre le premier projecteur et, en allumant l'autre muni d'un autre filtre (bleu, par exemple), marquer la nouvelle position de l'ombre. Disposer les éléments du montage de façon indiquée sur la figure 28.

2. Prévoir avec le plus de détails possible ce qu'on verra sur l'écran si l'on allume les deux projecteurs à la fois.

3. Vérifier et discuter les prévisions.

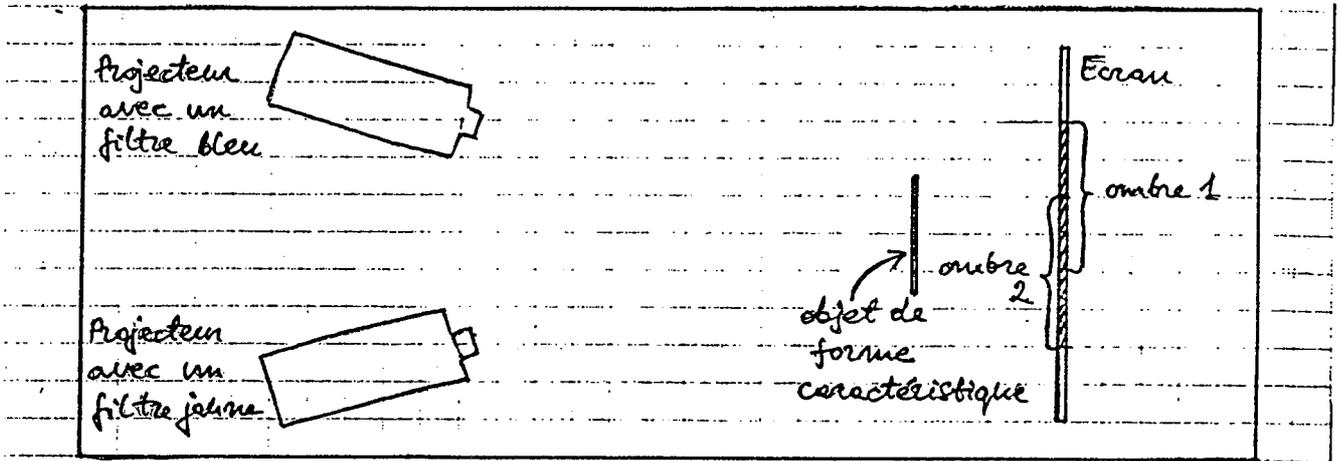


Figure 28 - Schéma du montage servant au cours de l'épisode 5.

4. Changer les filtres dans les projecteurs et renouveler l'expérience.

Remarques:

Une partie de la zone non-éclairée par le premier projecteur reçoit la lumière issue du second - cette partie de l'ombre de l'objet a la couleur correspondant au deuxième filtre (bleue). La partie de la zone non-éclairée par le second projecteur, reçoit la lumière issue du premier - elle a, par conséquent, la couleur correspondant au premier filtre (jaune). L'intersection des deux ombres ne recevant pas la lumière, elle reste noire. Enfin, l'écran autour de deux ombres colorées, éclairé par les deux projecteurs à la fois, a une couleur blanchâtre (sinon blanche). Notons que, par contraste (avant d'allumer les deux sources, chaque couleur était vue sur le fond noir), la couleur de chaque ombre paraît plus vive.

2.4. SEQUENCE n°3 - FORMATION DES IMAGES PAR UNE LENTILLE MINCE CONVERGENTE

Cette séquence sur les lentilles minces convergentes s'inscrit dans la ligne des objectifs d'enseignement déjà spécifiés, à savoir amener les élèves à

- une intégration du phénomène de la vision dans la compréhension du dispositif optique,

- une exploitation de règles simples qui soit à la fois rigoureuse et poussée au maximum de ses potentialités. Ces règles sont les suivantes :

- * Pour qu'un objet soit vu il faut qu'il envoie de la lumière dans l'oeil de l'observateur.
- * Sauf accident (objet dont écran ou dispositif optique) la lumière se propage en ligne droite.
- * Un objet ou un écran (non noir) diffusent de la lumière reçue en chaque point dans toutes les directions.

Ces règles suffisent pour parvenir, à travers les expériences proposées, à une compréhension en profondeur de la formation d'image par les lentilles minces convergentes, sans que soit introduite la moindre formule de conjugaison. La notion même de foyer n'est plus un point de départ mais seulement un point d'arrivée facultatif.

Peu développée donc en direction du calcul de positions d'images, cette séquence en est en revanche centrée sur une compréhension intégrée de notions de base : les règles simples énoncées plus haut auxquelles s'ajoute, en fin de séquence, la notion d'échantillonnage (de rayons dans un faisceau pour une correspondance ponctuelle, de couples de points dans une correspondance globale). Celle-ci est fondamentale sur ce thème de la formation d'image [19] et, on l'a vu au chapitre précédent, très peu présente dans les raisonnements d'élèves ou d'enseignants.

Au passage, cette séquence vise à ne pas laisser subsister des idées fossiles issues de l'enseignement "classique" telles que celles-ci : "une image réelle ne peut être vue qu'à l'aide d'un écran" (Cf. Annexe A), idée parfois explicitée sous cette forme et jamais contredite dans les manuels, et de plus partagée par une écrasante majorité d'enseignants ([34], [19], [46]).

Cette séquence peut donner lieu à 10 heures de travail (dont 4 heures pour les observations et 6 heures si l'on souhaite exploiter à fond les épisodes consacrés à la schématisation).

2.4.1. Episode 1 - Introduction : observations directes (avec l'oeil)

En guise d'introduction, nous mettons à la disposition des élèves un critère pratique simple, permettant d'identifier une lentille convergente. Ensuite, nous proposons une série d'observations, à travers une lentille convergente (c'est à dire, sans écran diffusant), des images de différents objets. Ces observations conduisent en particulier à localiser la position de l'image "dans l'espace".

Matériel:

Différentes lentilles - convergentes (par exemple : loupes, lentilles de Fresnel, etc.) et divergentes, une source de lumière (s'il fait beau, la fenêtre suffit), une feuille transparente sur laquelle on a tracé quelques traits verticaux (Cf. plus loin).

Déroulement:

1. Demander à chaque élève de prendre une lentille au hasard.

2. Poser cette lentille sur une page de cahier ou de livre, bien éclairée. Ensuite, soulever la lentille d'un ou deux centimètres en observant ce qui se passe sur la page :

* Si l'aire en dessous (éclairée à travers la lentille) est plus lumineuse que le reste de la page (éclairé directement), et si le cadre de la lentille semble projeter une ombre "trop large" (Cf. figure 29) - alors la lentille est convergente.

* Si, au contraire, l'aire en dessous de la lentille est moins lumineuse que le reste de la page, et si le cadre fait une ombre "trop fine" - alors la lentille est divergente.

3. Regarder un texte (ou un dessin) à travers une lentille convergente (une loupe), posée dessus. Soulever la lentille en observant l'image du texte - elle est droite (non inversée) et elle semble s'éloigner et s'agrandir quand on augmente la

distance entre la lentille et le texte regardé. Ensuite, pour une distance-limite, l'image disparaît et, au-delà de cette limite, on voit l'image inversée qui diminue quand la distance augmente. Pour bien voir tout cela, il faut tenir la lentille suffisamment loin de l'oeil.

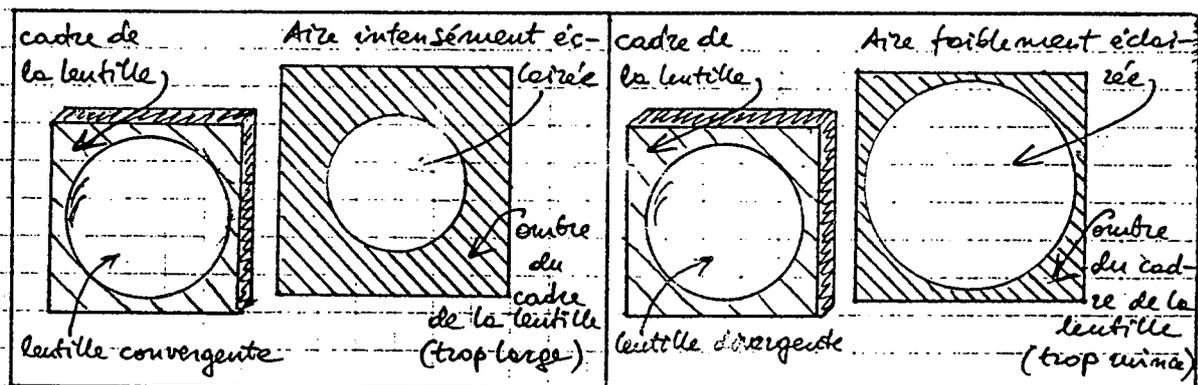


Figure 29 - L'éclairage est plus intense à travers une lentille convergente (à gauche). L'éclairage est plus faible à travers une lentille divergente (à droite).

Facultatif : la même chose avec une lentille divergente - l'image diminue quand la distance augmente, elle est facilement visible, même si l'oeil est relativement près de la lentille, et il n'y a pas de distance-limite (l'image est toujours droite).

4. Observer, à travers une lentille convergente, l'image d'un objet éloigné : une personne qui se trouve à quelques mètres, un tableau ou une affiche, ce que l'on voit par la fenêtre, etc. Placer, entre l'oeil et la lentille, la feuille transparente avec des traits verticaux (Cf. figure 30) de façon à voir l'image "barrée" par des traits. Profiter de l'effet de parallaxe pour "attraper" l'image dans le plan des traits :

Pour cela, tout en observant l'image et les traits, déplacer l'oeil de quelques centimètres à gauche et, ensuite, à droite - si l'image est formée derrière (ou devant) le plan de la feuille transparente, alors elle va bouger par rapport aux traits.

En revanche, si elle se trouve "sur les traits", ces derniers bougeront avec elle (elle sera barrée aux mêmes

endroits).

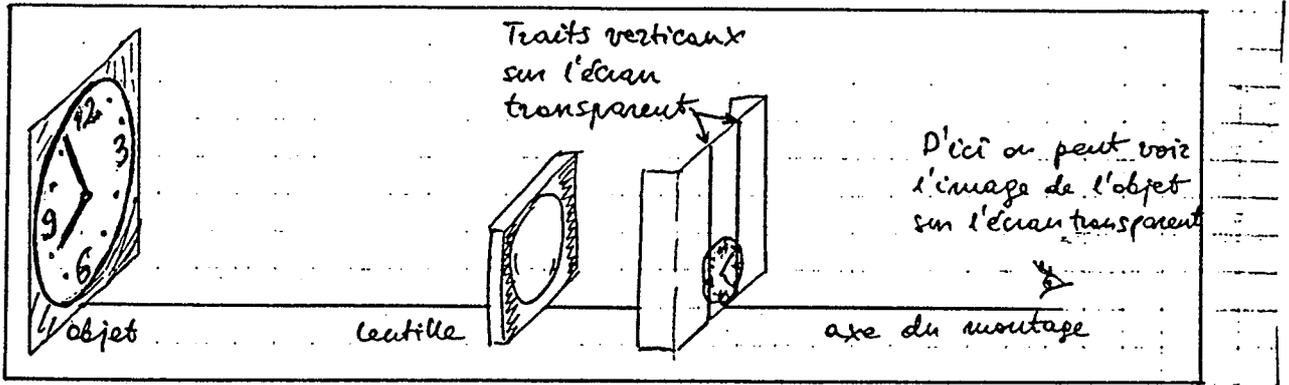


Figure 30 - Schéma du montage servant à déterminer la position de l'image grâce à l'effet de parallaxe.

5. Recommencer avec d'autres lentilles convergentes - à chaque fois, l'image se forme à un autre endroit et elle a une taille différente pour le même objet, placé à la même distance de la lentille.

Remarques:

1. Au cours de cet épisode, on fait des observations que l'on tâchera d'interpréter plus tard. Ici, il est suffisant d'avoir remarqué qu'une lentille convergente "concentre" la lumière. D'autres observations sont de nature pratique - si l'on veut, par exemple, obtenir une image inversée, alors il faut éloigner la lentille de l'objet (et de l'oeil aussi).

2. Si la compréhension de l'effet de parallaxe pose quelques problèmes, alors on peut l'illustrer sur un objet réel : si cet objet se trouve assez loin derrière (ou devant) la feuille transparente, alors, en déplaçant l'oeil, on verra les traits "se promener" sur l'objet (ou l'objet sur les traits). En revanche, si l'on a placé l'objet "collé" à la feuille, les traits resteront "dessus", on les verra bouger avec l'objet.

2.4.2. Episode 2 - Observations indirectes (sur l'écran diffusant) - rôle de l'objet.

Au cours des trois épisodes prochains (à réaliser dans une salle obscure), nous proposons d'examiner le rôle de chaque

élément d'un montage utilisé traditionnellement pour observer l'image inversée (nous introduirons le nom de "l'image réelle" plus tard - Cf. Episode 5). Dans cet épisode nous commençons par l'objet.

Matériel:

Des objets lumineux : une lampe de poche ou une petite ampoule alimentée par une pile, une bougie (facultatif). Des objets diffusants ordinaires : une petite poupée ou un jouet que l'on placera tout près de la lampe. Des objets diffusants translucides : une diapositive avec un morceau du papier-calque fixé au "dos", un petit "vitrail" et un "cadran de montre" diffusants, montés sous cache-diapositive et placés dans un écran porte-objet opaque (Cf. figure 31).

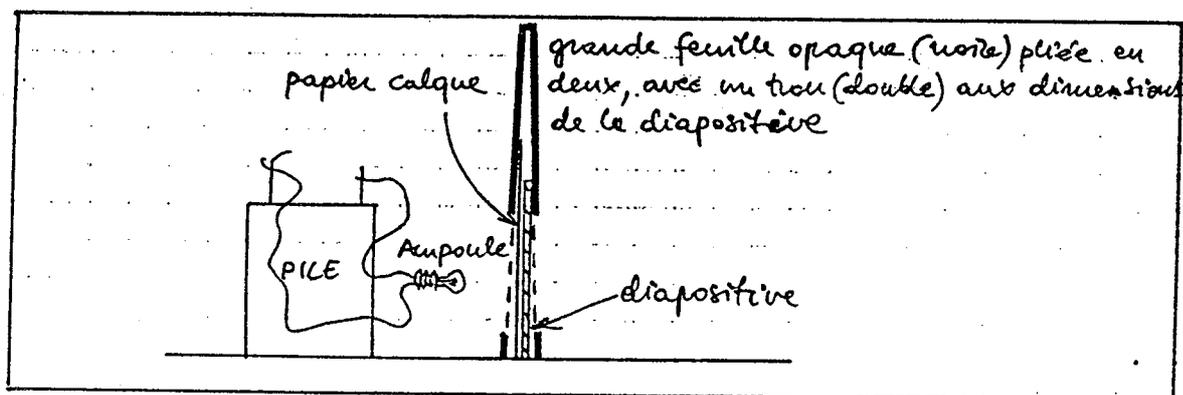


Figure 31 - Eléments d'un objet diffusant translucide.

Une lentille convergente encadrée par un écran porte-lentille opaque, un écran blanc en bristol, la feuille transparente avec les traits verticaux de l'épisode précédent. Une feuille - "base" du montage - où l'on indiquera les positions de l'objet, de la lentille et de l'écran, et où est tracé l'axe du montage (c'est à dire la projection sur le plan de la feuille de l'axe optique de ce montage).

Déroulement:

1. Placer sur la feuille de "base" un objet lumineux, la lentille et la feuille transparente de façon à obtenir une image (inversée) dans le plan des traits. Remplacer la feuille transparente par l'écran blanc - on voit l'image sur l'écran.

2. Placer un objet diffusant (jouet) à côté de l'objet

lumineux - on voit sur l'écran l'image de la partie la plus éclairée de cet objet.

3. Déplacer un des objets (lumineux ou diffusant) vers la lentille - son image sur l'écran devient floue. Marquer sur la "base" la position-limite où l'image commence à perdre la netteté. Ensuite, éloigner un peu l'objet de la lentille - marquer l'autre limite de la zone où on peut placer l'objet pour avoir sur l'écran son image raisonnablement nette. Cette zone est appelée "la profondeur de champ".

4. Recommencer avec un objet translucide éclairé par derrière (du côté opposé par rapport à la lentille).

Remarques:

1. Pour les observations directes (sans écran), on l'a vu, tous les objets sont bons - dans le sens où l'on peut voir leurs images sans difficulté (à condition de se placer suffisamment loin de la lentille). En revanche, pour les observations sur l'écran blanc, des objets lumineux facilitent considérablement l'examen de l'image. Même dans une salle obscure, un objet ordinaire doit être fortement éclairé pour former une image bien visible sur l'écran.

2. La profondeur de champ étant une notion de photographie, nous avons tenu à l'introduire pour les objets éclairés - ainsi la parenté entre l'image sur l'écran et "la photo" de l'objet devient moins abstraite.

3. Les écrans porte-objet et porte-lentille servent à garder l'écran diffusant "isolé" de la lumière venant directement de la source (par dessus ou à côté de l'objet diffusant ou de la lentille). Ainsi, seule la lumière diffusée par l'objet, et qui a traversé la lentille, arrive sur l'écran blanc et forme l'image qui, grâce à cette "isolation" devient mieux visible.

2.4.3. Episode 3 - Observations indirectes - rôle de l'écran

Au cours de cet épisode nous attirons l'attention de l'élève sur le confort de l'observation sur les différents écrans (blanc diffusant, translucide, etc) et sur les caractéristiques de l'image par rapport à l'objet.

Matériel:

Comme pour l'épisode 2, plus un écran translucide en papier-calque.

Déroulement:

1. Choisir un objet plan possédant des détails caractéristiques, par exemple le cadran translucide. Placer-le sur la "base", la face "lisible" vers la lentille. Faire la mise au point sur l'écran diffusant opaque - on voit l'image inversée et "illisible".

2. Remplacer l'écran opaque par l'écran translucide - on peut voir l'image sur la face arrière de l'écran : elle est inversée mais "lisible" - on voit l'image orientée de la même façon que quand on l'observe sans écran.

3. Remplacer l'écran par n'importe quel objet diffusant (par exemple une trousse à crayons ou même par la main...) - l'image perd de sa qualité mais on peut la voir quand même.

4. Observer la latitude de mise au point : approcher l'écran (de bonne qualité - blanc ou translucide) vers la lentille et marquer sur la "base" la position-limite où l'image commence à perdre sa netteté; ensuite éloigner l'écran de la lentille et marquer l'autre position-limite - la zone entre ces limites indique toutes les positions de l'écran pour lesquelles l'image est raisonnablement nette. C'est la latitude de mise au point.

Remarques:

1. L'observation de l'image sur l'écran présente un avantage important par rapport à l'observation directe - de nombreuses personnes à la fois reçoivent la lumière diffusée par l'écran et peuvent ainsi voir l'image simultanément.

2. L'observation de l'image sur l'écran présente d'autre part quelques inconvénients :

* Pour bien voir une image formée sur l'écran, il faut prendre des objets lumineux ou fortement éclairés (beaucoup d'observateurs à la fois = beaucoup de lumière pour en renvoyer assez à chacun d'eux).

* Si l'objet se trouve en dehors de la profondeur de champ (Cf. Episode précédent), alors l'image sur l'écran est floue. Notons, que pour cette même position de l'objet, on verra une image nette sans écran - l'oeil accommodera sur un nouveau plan de l'image.

* Si l'écran se trouve en dehors de la latitude de mise au

point, alors l'image sur cet écran est floue (évidemment sans écran, la notion-même de latitude de mise au point n'a pas de sens).

2.4.4. Episode 4 - Observations indirectes - rôle de la lentille

Les manipulations proposées au cours de cet épisode mettent en vedette la lentille. On observera ce qui se passe sur l'écran quand on change de lentille et, pour une lentille donnée, on examinera le rôle de sa surface (limitée par des diaphragmes).

Matériel:

Comme pour l'épisode précédent plus une collection de lentilles convergentes et une collection de diaphragmes et de caches en papier opaque (Cf. figure 32).

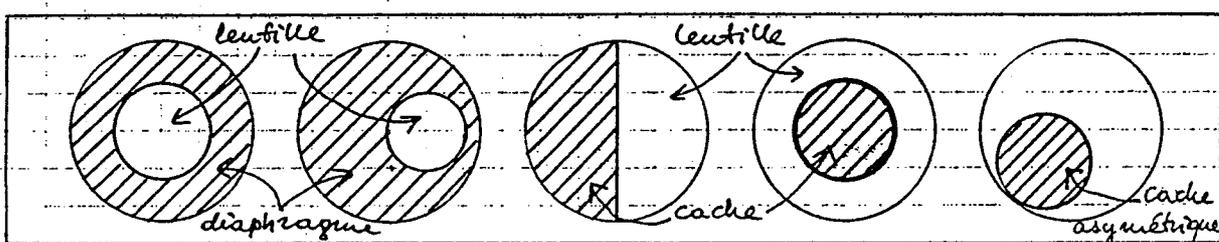


Figure 32 - Quelques exemples de diaphragmes et de caches employés au cours de l'épisode 4.

Déroulement:

1. Prendre un objet plan (par exemple le cadran translucide) placé dans son porte-objet et éclairé fortement par derrière ou un objet lumineux, une lentille et un bon écran diffusant. Faire la mise au point de façon à obtenir sur l'écran une image plus petite que l'objet. Prévoir ce qu'on verra sur l'écran si l'on enlève la lentille²⁵, dessiner éventuellement l'aspect attendu de l'écran et fixer le dessin sur ce dernier avant de vérifier la prévision.

2. Sans toucher à l'objet ni à l'écran, enlever la lentille et vérifier la prévision.

²⁵ Cette prévision a fait l'objet de plusieurs enquêtes exploratoires auprès des publics très divers - les résultats sont cités dans [47] (Cf. aussi [34], [19], [46]).

3. Choisir un premier diaphragme. Avant de remettre la lentille diaphragmée à sa place sur la "base", prévoir ce qu'on verra sur l'écran (par rapport au montage "de référence" avec la lentille découverte)²⁶.

4. Vérifier la prévision.

5. Enlever l'écran et vérifier que l'on peut voir directement la même image que sur l'écran - il faut pour cela déplacer un peu l'oeil et "chercher" les éléments manquants de l'image (en réduisant la surface "active" de la lentille; le diaphragme empêche de voir directement l'image entière en "un seul morceau").

6. Recommencer avec tous les autres diaphragmes et caches.

7. Revenir au montage "de référence" et prévoir ce qu'on verra sur l'écran si l'on remplace la lentille par une autre, de même taille mais avec une convergence différente.

8. Vérifier la prévision et faire une nouvelle mise au point pour, ensuite, recommencer avec d'autres lentilles.

Remarques:

1. En enlevant la lentille on supprime le seul système modifiant la propagation rectiligne et isotrope de la lumière entre n'importe quel point de l'objet et l'écran. Ce dernier sera, par conséquent, éclairé directement par la lumière diffusée par l'objet. L'image disparaîtra sans laisser de traces.

2. Une lentille diaphragmée (ou munie d'un cache) est équivalente à une lentille de surface réduite. Par conséquent, elle forme l'image à partir d'une quantité de lumière réduite - cette image est donc moins lumineuse. L'emploi des caches asymétriques (une moitié de la lentille, un diaphragme excentrique) est censé prouver que chaque partie de la surface de la lentille participe à la formation de la totalité de l'image.

3. Pour une distance entre l'objet et la lentille donnée, la position de l'image dépend de la convergence de la lentille - en changeant cette dernière on "détruit" la mise au point précédente.

²⁶ Cette prévision était également demandée au cours des enquêtes déjà citées - [34], [19], [46].

2.4.5. Episode 5 - Interprétation de la formation d'image réelle par une lentille convergente. Première partie : Couple point-objet et point-image conjugués

Au cours des trois épisodes prochains nous proposons d'interpréter toutes les observations précédentes à l'aide du schéma expérimental tracé sur la feuille de "base" du montage-même. Nous commençons ici par l'interprétation de la formation de l'image réelle d'un point-objet par une lentille.

Les épisodes 5 et 6 peuvent se dérouler en lumière ambiante. En revanche, la réalisation de l'épisode 7 demande une salle obscure.

Matériel:

Un objet translucide placé dans le porte-objet et bien éclairé par derrière, une lentille, la feuille transparente avec des traits verticaux, une feuille de "base" (Cf. le matériel des épisodes précédents). Des épingles pour viser.

Déroulement:

1. Disposer tous les éléments du montage sur la "base". Vérifier si l'axe tracé sur cette dernière, coïncide avec la projection de l'axe optique du montage sur son plan. Pour cela, mettre à la verticale de l'axe tracé un détail caractéristique de l'objet (par exemple une frontière entre deux aires des couleurs différentes) - si l'image de ce détail se trouve aussi à la verticale de l'axe (vérifier avec un des traits de la feuille transparente) alors la lentille est bien placée (son centre optique est également à la verticale de l'axe tracé). Si ce n'est pas le cas alors corriger la position de la lentille.

2. Placer l'oeil derrière la feuille transparente (comme sur la figure 33) et, à l'aide des deux épingles et du trait ("collé" au détail choisi) viser un point donné de l'image. Tracer la direction de laquelle vient la lumière arrivant dans l'oeil (la lumière se propage en ligne droite entre la lentille et l'oeil). Extrapoler le tracé du trajet de la lumière entre l'objet et la lentille - on sait que ce trajet est rectiligne (la lumière ne traverse que l'air), on connaît le départ (le détail choisi de l'objet) et l'arrivée (le point de la lentille d'où part la lumière arrivant ensuite dans l'oeil. On obtient un parmi les différents trajets de la

lumière entre un point donné de l'objet et l'oeil qui voit l'image de ce point formée par la lentille.

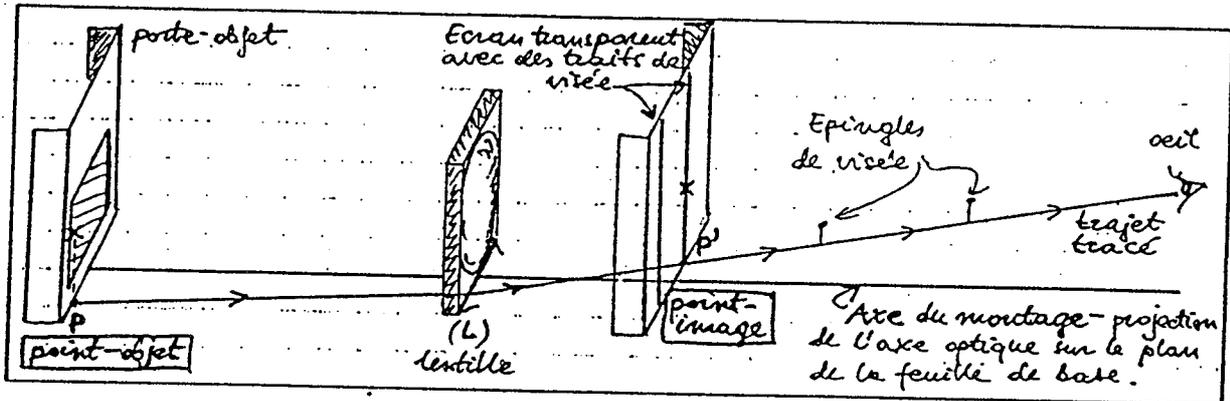


Figure 33 - Schéma du montage servant à tracer des trajets de la lumière sur le schéma expérimental.

3. Déplacer l'oeil sans perdre de vue l'image de ce même point. Pour une nouvelle position de l'oeil, tracer un nouveau trajet de la lumière entre le point-objet et l'oeil.

4. Recommencer avec d'autres positions de l'oeil. Chercher les trajets "extrêmes" passant par les bords de la lentille. On voit que tous les trajets dessinés se croisent en un point - la position de l'image. Par conséquent, pour l'oeil qui reçoit la lumière, ce point-image se comporte comme un "point lumineux" (il lui envoie la lumière). On appelle un tel point : l'image réelle de l'objet.

5. Déplacer l'oeil de façon à voir le point-objet directement - à côté de la lentille. Tracer le trajet "direct" de la lumière : un segment entre le point-objet et l'oeil. Recommencer avec d'autres positions de l'oeil en visant également de l'autre côté de la lentille. On obtient un schéma comme celui de la figure 34.

6. Renouveler le tracé pour un autre couple point-objet et point-image correspondant - choisir les points hors axe. Effectuer un échantillonnage : au lieu de dessiner beaucoup de trajets différents, en choisir deux quelconques. En déduire le trajet de ceux passant par les bords de la lentille - ils délimitent le faisceau (que l'on pourra hachurer sur le schéma) issu du point-objet, traversant toute la surface de la lentille, convergeant sur le point-image et divergeant ensuite.

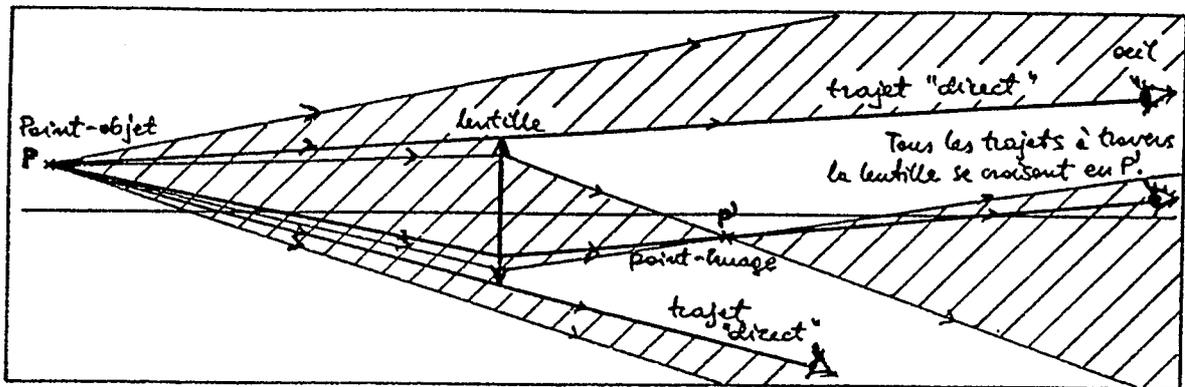


Figure 34 - Schéma expérimental interprétant la formation de l'image réelle d'un point-objet par une lentille convergente.

Remarques:

1. Après toutes les manipulations de la séquence n°2 (Propagation rectiligne de la lumière), on peut légitimement proposer aux élèves de viser avec des épingles alignées (ou sinon, avec d'autres viseurs).

2. Le schéma expérimental permet d'expliquer la formation d'image par ce qui se passe avec la lumière, issue d'un point-objet et traversant la lentille. Il constitue un outil d'interprétation "grandeur nature" : par exemple, en remettant tous les éléments du montage sur le schéma, déjà tracé par quelqu'un d'autre, l'élève peut faire des observations "conscientes".

3. L'idée d'échantillonnage des rayons permet, d'une part de simplifier le schéma et, d'autre part de ne pas attacher trop d'importance à l'un ou l'autre rayon particulier (rayons de construction sur le schéma traditionnel) - l'image est formée par toute la lumière qui a traversé la lentille, mais on n'a pas besoin pour autant de tout dessiner.

2.4.6. Episode 6 - Interprétation : deuxième partie - Objet et image étendus.

Au cours de cet épisode nous proposons de tracer un schéma interprétant la formation de l'image d'un objet étendu.

Matériel:

Comme pour l'épisode 5.

Déroulement:

1. Effectuer un deuxième échantillonnage : représenter l'objet par un segment liant les projections de deux détails caractéristiques de cet objet sur la "base". Chacune de ces projections sera considérée comme un point-objet sur le schéma. De même, représenter l'image par un segment liant les projections des deux détails choisis de l'objet.

2. Tracer les deux faisceaux (un pour chaque point-objet) qui forment les deux points-images (Cf. figure 35).

Sur cette figure nous avons hachuré chaque faisceau pour mieux distinguer les trois zones : A, B et C. Si l'œil de l'observateur se trouve dans la zone A, alors il ne pourra pas voir l'image entière - il ne reçoit que la lumière issue du point 1 (et des points voisins) de l'objet. En revanche, si l'œil de l'observateur se trouve dans la zone C, alors il reçoit, à la fois, la lumière issue des deux extrémités de l'objet (et de tous les points entre celles-ci) - l'observateur pourra voir l'image entière.

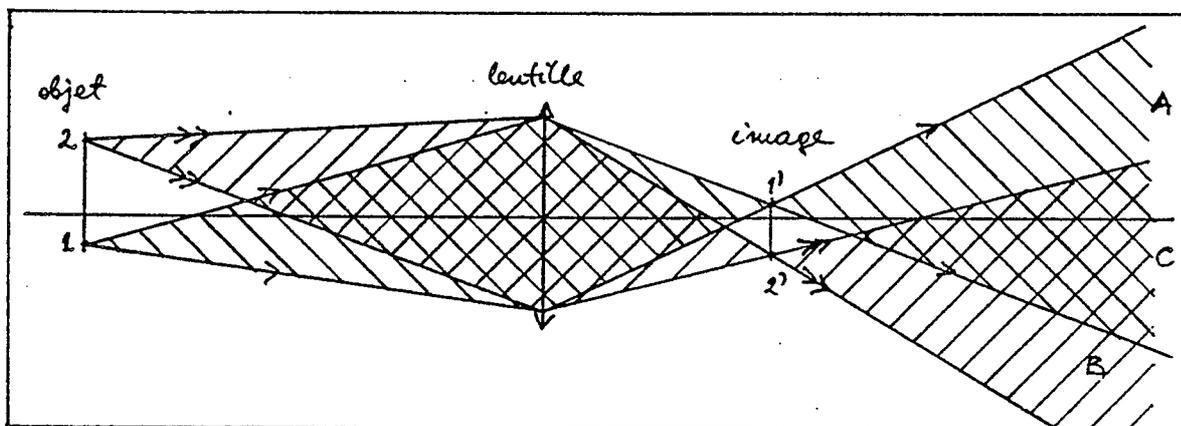


Figure 35 - Schéma interprétant la formation d'image d'un objet étendu.
En plaçant l'œil dans la zone C, l'observateur pourra voir l'image entière.

3. Demander aux élèves de trouver, à l'aide d'un nouveau schéma, la zone où il faut placer l'œil pour voir, par exemple, la moitié gauche de l'image.

4. Placer l'objet et la lentille sur le schéma et vérifier cette prévision.

5. Tracer quelques "rayons de construction" (Cf. figure 36 ci-dessous) :

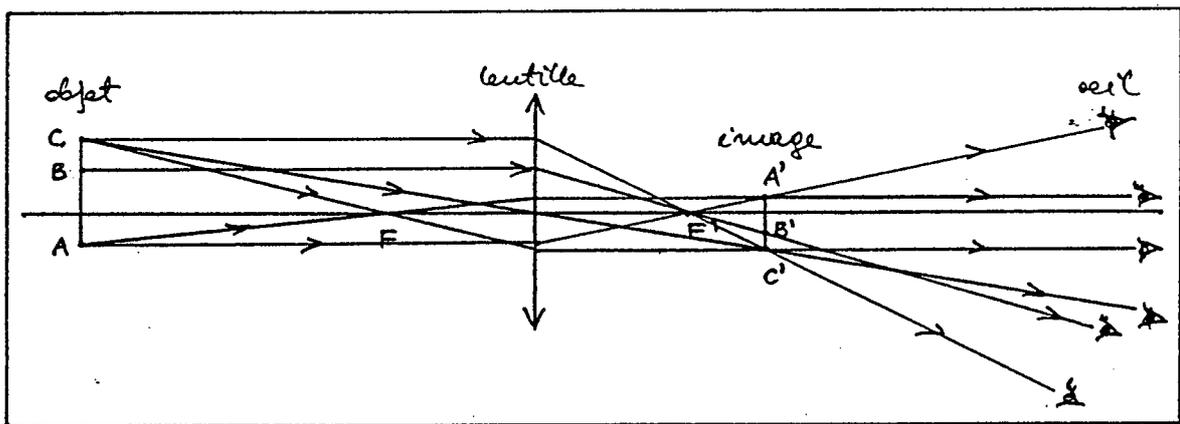


Figure 36 - Schéma avec quelques rayons de construction tracés expérimentalement

* Viser le centre de la lentille - on voit l'image d'un point de l'objet aligné avec le centre de la lentille.

* Viser dans la direction parallèle à l'axe du montage (pour plusieurs distances de cet axe) - on voit que tous les trajets entre l'objet et la lentille coupent l'axe en même point F.

* Marquer sur l'axe, de l'autre côté de la lentille un point F' symétrique de F. Viser dans la direction passant par ce point - on voit l'image d'un point de l'objet tel, que le trajet entre le point-objet et la lentille est parallèle à l'axe.

Remarques:

1. Si l'on a marqué, sur la "base", les projections des points-objets, des points-images conjugués et des bords de la lentille, alors on peut tracer le schéma "global" (où les faisceaux s'appuient sur toute la surface de la lentille) sans viser. Dans ce cas, il faut remettre ensuite l'objet et la lentille sur le schéma, et vérifier, en plaçant l'œil dans

les endroits "critiques", si ce schéma correspond à la réalité du montage.

2. Important - En traçant le schéma pour un objet étendu, on remarque que les faisceaux de lumière issue des différents points-objets se superposent sur la surface de la lentille :

* D'une part, toute la surface de la lentille participe à la formation d'image d'un point-objet.

* D'autre part, la lumière issue des points-objets différents et traversant la lentille, converge sur des points-images différents.

3. Le deuxième échantillonnage, c'est à dire la représentation d'un objet étendu par quelques points seulement (le plus souvent les deux extrémités), constitue un moyen d'analyse très important. Dans cette analyse l'image de l'objet ne se forme pas "globalement"²⁷, au contraire, chaque point d'un objet diffusant (ou lumineux) envoie la lumière qui, après avoir traversé la lentille, converge vers le point-image conjugué. Par conséquent, l'image d'un objet étendu est formée "point par point".

4. Les rayons de construction sont importants parce qu'ils peuvent être facilement tracés, même si l'on ne sait pas la position de l'image (à condition de savoir quelle est la distance focale de la lentille). Mais, si la position de l'image est connue, tous les rayons se tracent aussi facilement car tout rayon issu d'un point-objet passe par le point-image.

2.4.7. Episode 7 -Interprétation : troisième partie - Rôle des diaphragmes et des caches placés sur la surface de la lentille

Des manipulations et des schémas proposés au cours de cet épisode sont censés expliquer le rôle des différents diaphragmes et caches dans le fonctionnement du montage étudié.

Matériel:

Comme pour l'épisode 5 plus l'écran diffusant et la collection de diaphragmes et de caches de l'épisode 4.

²⁷ Contrairement à ce qu'en pensent de nombreux élèves - on pourrait citer ici presque toutes les enquêtes portant sur la formation d'image par une lentille convergente.

Déroulement:

1. Choisir un premier diaphragme et tracer sur la "base" un schéma où les deux faisceaux, issus des deux extrémités de l'objet, s'appuient sur les bords de la surface "active" (découverte) de la lentille, comme sur la figure 37. Vérifier, en plaçant l'écran diffusant dans le plan d'image, si l'on y voit l'image entière (pour bien observer cette image sur l'écran, on a besoin d'une salle obscure).

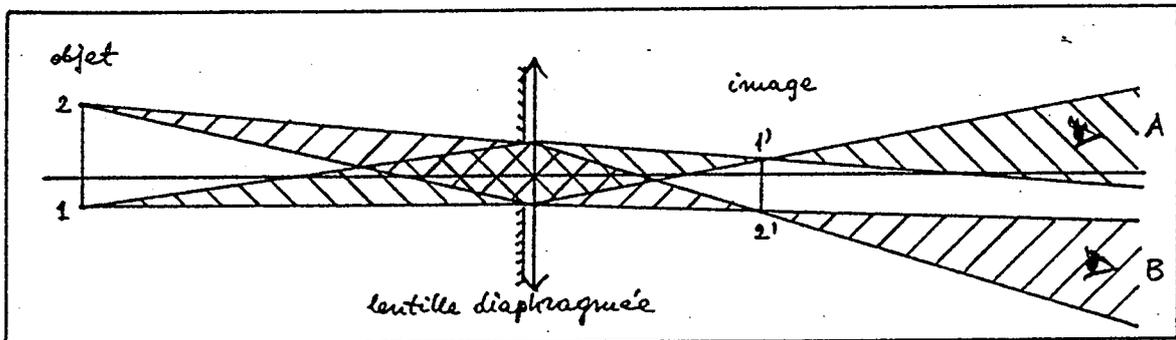


Figure 37 - Schéma interprétant le rôle d'un diaphragme central - la partie découverte de la lentille forme l'image entière mais, pour l'observer directement (sans écran), il faut déplacer l'oeil entre la zone A (où il voit l'extrémité 1' de l'image) et la zone B (où il voit l'extrémité 2' de l'image).

2. Tout en observant l'écran, enlever le diaphragme. Noter la modification de la luminosité de l'image. Les autres caractéristiques de l'image (netteté, grandissement...), restent-elles les mêmes?

3. Recommencer avec d'autres diaphragmes et caches et, à chaque fois, vérifier d'une part si l'observateur, en plaçant l'oeil dans la zone indiquée, peut voir ce que le schéma a prévu, et d'autre part, si sur l'écran diffusant on voit l'image entière.

Remarques:

1. Un diaphragme est couramment employé dans un double but:

* Réduire la quantité de lumière traversant la lentille, c'est à dire diminuer la luminosité de l'image (la luminosité étant proportionnelle à la "surface active" de la lentille),

* Améliorer la netteté de l'image.

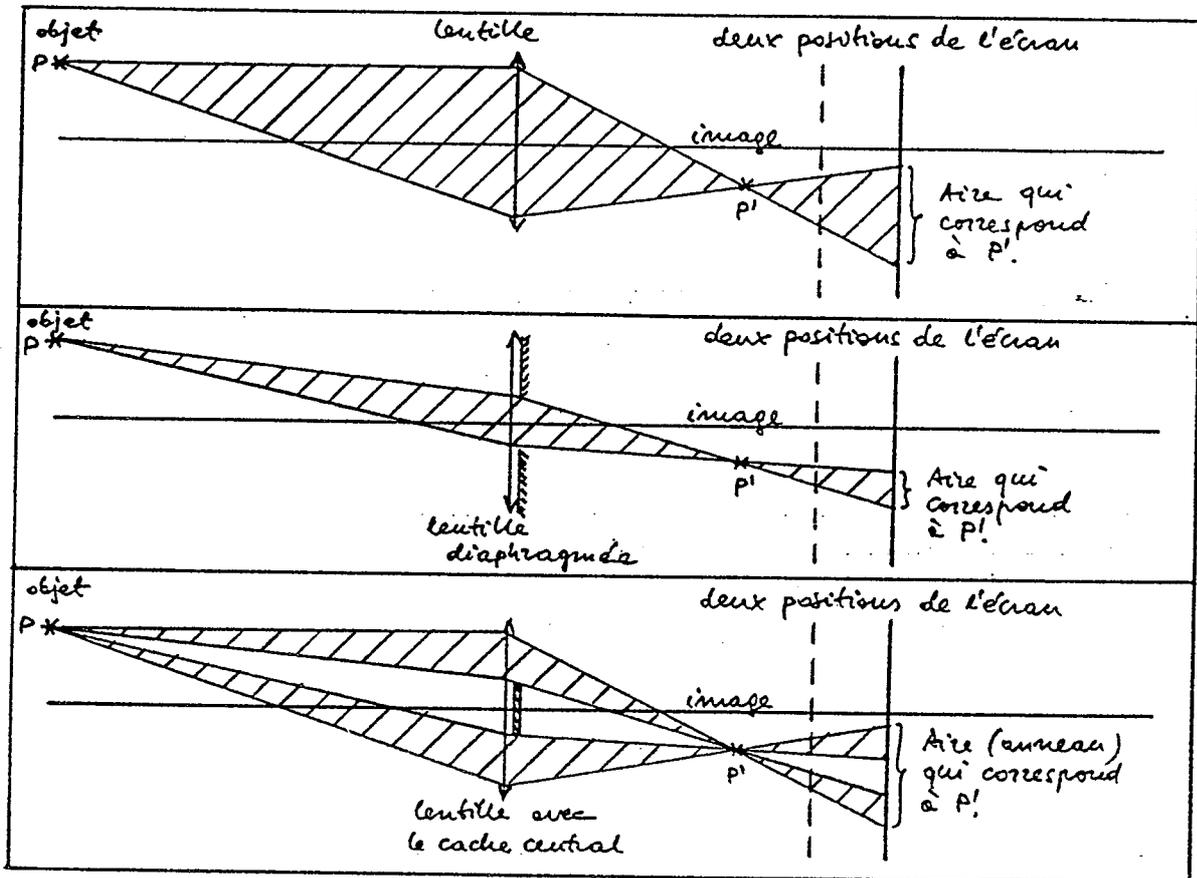


Figure 38 - Si l'écran diffusant n'est pas placé rigoureusement dans le plan d'image, alors sur le schéma en haut (lentille "de référence") on voit une perte de netteté importante (chaque point-image devient une aire qui grandit vite quand l'écran s'éloigne du plan d'image). Quand la lentille est diaphragmée (au milieu), alors les pinceaux de lumière "minces" rendent l'image sur l'écran plus nette. Enfin, si le centre de la lentille est caché (en bas), alors la perte de netteté résulte de la structure "annulaire" de chaque aire sur l'écran.

En comparant les trois schémas de la figure 38 ci-dessus, le premier - pour une lentille "de référence" (sans diaphragme), le deuxième - pour la même lentille diaphragmée et le troisième - où cette lentille porte un cache central, on voit la relation entre la "surface active" de la lentille (sa taille et sa forme) et la

netteté de l'image.

2. Notons que le plan d'image unique pour toute la surface de l'objet n'existe que dans le cas d'un objet parfaitement plan et d'une lentille "idéale". Des lentilles réelles ont une qualité qui diminue du centre vers les bords. C'est une autre raison de la diminution de la netteté de l'image dans le cas d'un cache central.

2.4.8. Episode 8 - Exercice de schématisation

L'exercice que nous proposons maintenant permet une mise en exécution de différents savoir faire présentés au cours de cette séquence.

Matériel:

Pour la vérification expérimentale : une feuille - "base" du montage, un objet plan, une lentille convergente ($f = 10$ cm) et un écran diffusant. L'observation de l'image sur l'écran diffusant sera plus facile dans une salle obscure.



Figure 39 - Schéma de l'exercice de l'épisode 8.
Echelle : 1 cm représente 4 cm sur le montage réel.

Déroulement:

1. Enoncé de l'exercice²⁸ :

Sur le schéma ci-dessous (Cf. figure 39) le segment AB représente un objet et le segment A'B' - l'image de cet objet formée par une lentille convergente.

Trouver la position de la lentille et tracer l'axe optique de ce montage.

²⁸ Cet exercice a été proposé, en version papier-crayon, au cours de l'enquête exploratoire décrite dans [46].

2. Disposer sur la "base" : l'objet, l'écran diffusant et la lentille, et vérifier la solution de l'exercice.

Remarques:

Pour résoudre cet exercice, il suffit d'appliquer deux règles suivantes:

* Tout rayon issu du point A (ou B) passe, après avoir traversé la lentille, par le point-image A' (ou B').

Ici, le rayon le plus "évident" à tracer est le support du segment AB qui, après être "dévié" par la lentille, deviendra le support du segment A'B' (Cf. figure 40).

* Le segment AA' (le "rayon central") ainsi que le segment BB', passent par le centre de la lentille.

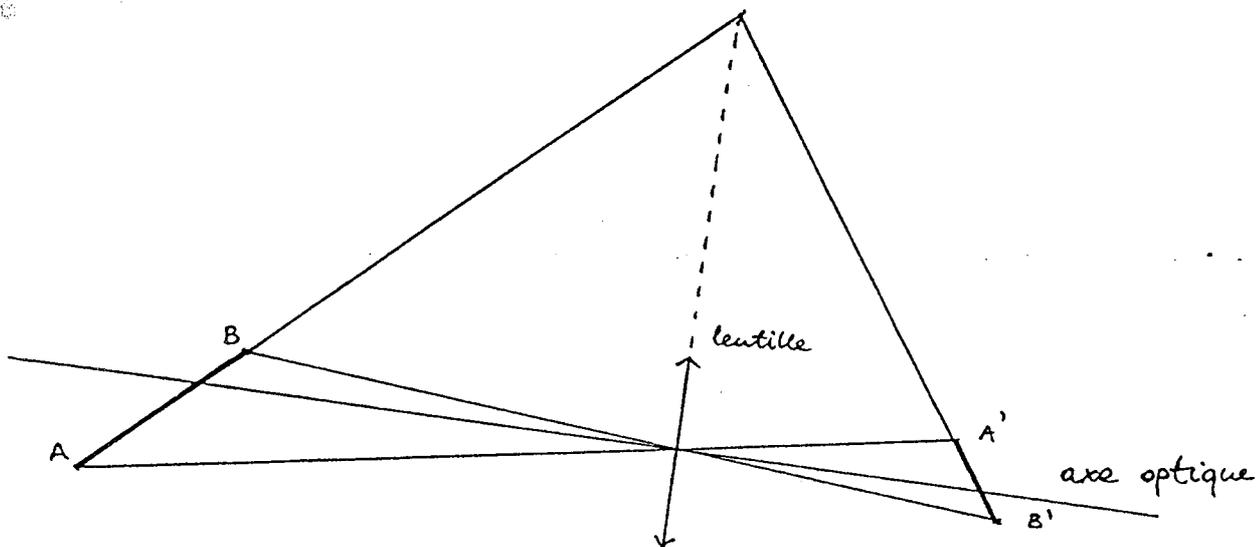


Figure 40 - Schéma illustrant la réponse à l'exercice de l'épisode 8.

2.5. SEQUENCE n°4 - LUMIERE INVISIBLE ET LUMIERE VISUALISEE

On peut s'étonner de ne trouver qu'en quatrième position cette séquence sur la lumière visualisée, alors que ce thème sert dans les manuels à l'introduction même de l'idée de lumière et de propagation rectiligne. Ceci tient d'une part aux observations relevées au chapitre précédent (Cf. également l'article [47] en Annexe A) concernant toutes les idées erronées renforcées par ce genre d'illustrations, d'autre part à la relative complexité d'une analyse correcte de ce que l'on voit lors de telles expériences.

Là encore, on mesurera l'intérêt d'une analyse rigoureuse de situations réputées simples à l'aide de quelques règles. On parvient même au passage, à découvrir et comprendre des effets très surprenants (par exemple, un "rayon" qui arrive sur un miroir sans pour autant s'y réfléchir).

Enfin on notera, là comme lors de la séquence précédente, l'intervention d'une première notion de luminosité, qui s'introduit très naturellement dans une logique de compréhension intégrée de l'optique élémentaire et de la vision.

Les manipulations et les observations décrites dans les trois épisodes de cette séquence peuvent être réalisées en lumière ambiante. Leur durée est prévue pour 4 heures environ (2 heures sans les épisodes 2 et 3, proposés aux enseignants).

2.5.1. Episode 1 - Relation entre l'aspect de la trace lumineuse et la position de l'ampoule

Une trace lumineuse sur une feuille blanche peut fournir des renseignements sur la position de la source de lumière - nous proposons ici de les déchiffrer.

Matériel:

Une petite ampoule alimentée par une pile 4,5 V, des supports pour la placer à des hauteurs différentes (par exemple, 3 et 6 cm), un écran opaque avec une fente (4 cm de hauteur et 1 à 2 mm de largeur environ), une feuille blanche - "base" du montage, un écran blanc.

Déroulement:

1. Commencer avec l'ampoule à la hauteur de 6 cm, et la disposition du matériel comme sur la figure 22.

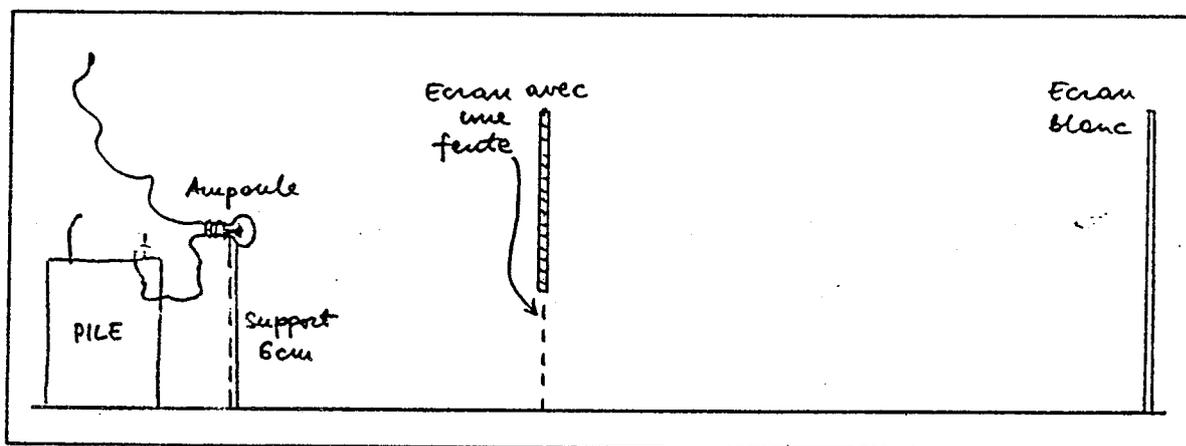


Figure 41 - Schéma du montage servant à étudier la trace lumineuse (distance entre l'écran blanc et l'écran avec la fente est de 20 cm, celle entre l'ampoule et la fente - 10 cm).

Avant de brancher la pile prévoir ce qu'on verra sur la "base" et sur l'écran blanc si l'on allume l'ampoule.

2. Brancher la pile et vérifier la prévision.
3. Faire une série de prévisions en fonction de la distance entre l'écran blanc et la fente (diminuer cette distance en approchant l'écran blanc et prévoir l'aspect du trait lumineux sur ce dernier).
4. Recommencer avec l'ampoule à la hauteur de 3 cm.
5. Coucher l'ampoule sur la base du montage : comparer l'aspect (luminosité) de la trace quand l'incidence est presque rasante (sur la base) et quand l'incidence est presque normale (sur l'écran).
6. Déplacer le montage au bord de la table de façon à pouvoir baisser le filament de l'ampoule au-dessous du niveau du montage - on voit que la trace lumineuse sur l'écran n'atteint pas la base (Cf. figure 42).

Monter progressivement l'ampoule en observant l'écran. Arrêter quand la trace lumineuse sur l'écran atteint la base - la lumière, en se propageant entre l'ampoule et l'écran, glisse

sur la base. Laisse-t-elle des traces sur son chemin ?

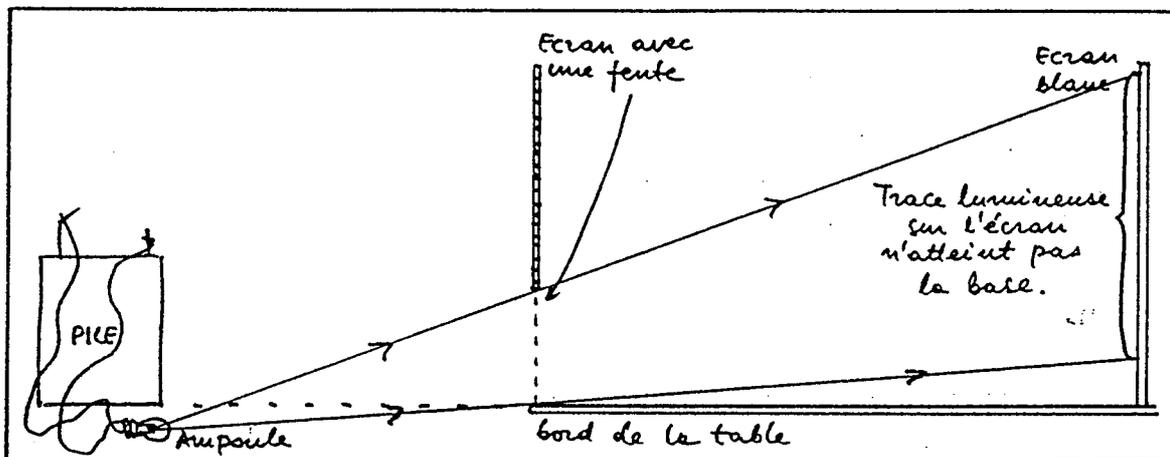


Figure 42 - Quand le filament de l'ampoule est placé au-dessous du niveau du montage, la trace lumineuse sur l'écran n'atteint pas la base.

Remarques:

1. En prévoyant ce qu'on verra sur la base ou sur l'écran blanc si l'on allume l'ampoule, il est important de raisonner "point par point" :

- * Un point sur la feuille sera lumineux (recevra et diffusera la lumière issue de la lampe) si le segment qui le lie au filament de l'ampoule (trajet rectiligne de la lumière dans l'air) passe à travers la fente.
- * La luminosité d'un point sur la feuille dépend de l'angle d'incidence - si la lumière arrive perpendiculairement à la surface (l'incidence normale) alors la luminosité est maximale pour une distance donnée entre ce point et la source (ce point diffuse le plus de lumière). Par exemple, quand l'ampoule est à la hauteur de 3 cm, des points en bas de l'écran sont plus lumineux (petite incidence) que ceux sur la base tout près de l'écran (grande incidence).
- * Pour un angle d'incidence donné, la luminosité diminue quand la distance entre le point considéré et la source de lumière augmente.

2. Pour mieux illustrer la relation entre l'incidence de la lumière et l'éclairage de la surface recevant la lumière, on peut proposer l'observation suivante (dans une salle obscure, si possible) :

Enlever l'écran blanc et l'écran avec la fente du montage précédent. Poser sur la base une page écrite (ou un livre

ouvert). Observer le texte en faisant varier la hauteur de l'ampoule entre 0 (incidence rasante - le texte est très mal éclairé) et 20 cm environ (petite incidence - la page observée reçoit et diffuse beaucoup de lumière).

3. Il est important d'associer l'observation de la lumière "visualisée" à l'action des objets diffusants (ici, la base du montage) - sans un objet diffusant la lumière vers les yeux de l'observateur, ce dernier ne pourrait voir que la source-même (et seulement à condition d'être placé en face d'elle).

4. Un principe analogue explique la visualisation des faisceaux lumineux dans le brouillard (la fumée, la poussière, etc) - on voit une multitude de mini-écrans diffusants (gouttes d'eau, grains de poussière, etc) dont chacun reçoit la lumière issue de la source sous une "bonne" incidence et la renvoie dans toutes les directions (en particulier vers les yeux de l'observateur).²⁹

2.5.2. Episode 2 - Ce que l'on voit dans le miroir

Cet épisode est proposé au public convaincu d'avoir maîtrisé la formation d'image par un miroir plan (enseignants et étudiants après enseignement³⁰). Le miroir joue ici le rôle de révélateur de la confusion entretenue par l'usage de la "lumière visualisée" (confusion entre le trajet de la lumière et le trait lumineux que l'on voit sur un support diffusant).

Matériel:

Comme pour l'épisode précédent, plus un petit miroir en métal³¹ sans cadre (pour permettre l'observation au ras de la base), un support pour placer le miroir verticalement sur la base et un cache en carton opaque (à placer sur la surface du miroir avant la prévision).

²⁹ On peut encourager l'observation d'un faisceau visualisé à l'aide de la poussière de craie, en distribuant des loupes aux élèves.

³⁰ Nous ne penserions pas le proposer aux élèves.

³¹ On peut le fabriquer facilement avec un morceau de revêtement miroir autocollant fixé avec soin sur une lame de verre porte-objet de microscope. Un miroir ordinaire ne convient pas aussi bien à cause de la couche de verre qui doit être traversée par la lumière avant et après la réflexion sur le tain.

Déroulement:

1. Disposer le matériel comme sur la figure 43 (ampoule à la hauteur de 3 cm). Avant de brancher l'ampoule placer le cache sur la surface du miroir.

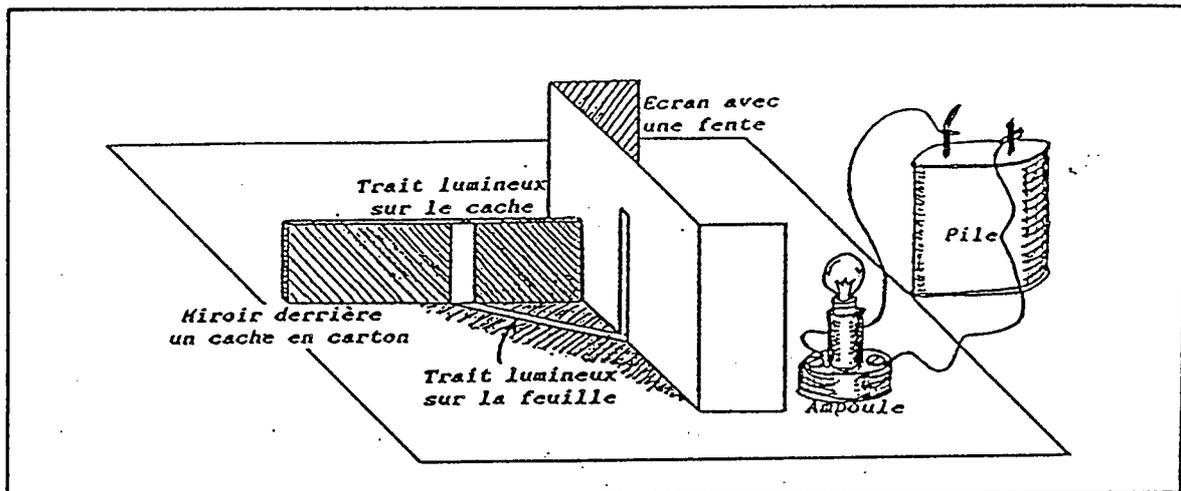


Figure 43 - Montage, ampoule allumée, servant à donner la prévision demandée au cours de l'épisode 2.

Prévoir ce que l'on verra sur la base et dans le miroir si le cache en carton est retiré de la surface du miroir.³²

2. Vérifier la prévision.

Remarques:

1. Avant de retirer le cache, il faut avoir bien interprété (Cf. raisonnement "point par point" énoncé dans l'épisode 1) les deux informations "codées" par les traits lumineux : l'un sur la base et l'autre sur le cache (le cache joue maintenant le rôle de l'écran blanc de l'épisode précédent).

2. Après avoir retiré le cache, le trait sur la base restera à sa place et continuera de diffuser la lumière dans toutes les directions - en particulier vers le miroir qui formera de ce trait une image de l'autre côté de sa surface.

³² Cette prévision a été demandée aux étudiants en Licence (Université Paris 7) et aux enseignants du collège - les résultats et l'analyse détaillée des difficultés associées à cette tâche sont publiés dans l'article [47] reproduit en Annexe A.

3. Le trait sur le cache indiquait que la lumière, issue de l'ampoule, arriverait (à travers la fente) directement sur la surface du miroir. Après la réflexion, cette lumière formera un trait sur la base - un trait qui, selon une opinion courante, "visualise" le rayon "réfléchi".

Ce dernier, tout comme le trait "incident", aura son image de l'autre côté du miroir (Cf. figure 44).

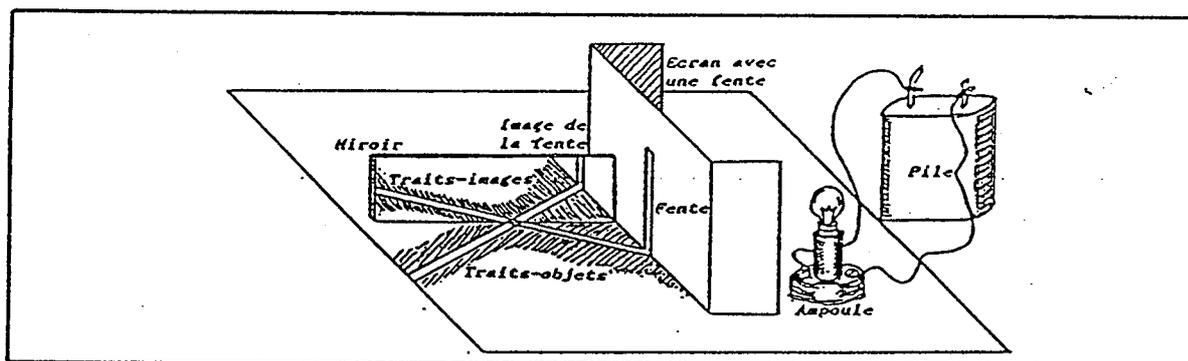


Figure 44 - Illustration de la prévision correcte.

4. Il est important de souligner que l'on n'a pas besoin de placer l'oeil dans une position particulière ni pour observer les images des traits lumineux ni pour voir celle de la fente. En revanche, il faut regarder dans la "bonne" direction pour observer l'image de l'ampoule derrière la fente (si l'ampoule est placée trop haut par rapport aux dimensions du miroir, cette observation peut être impossible).

2.5.3. Episode 3 - "Miroir en panne" (qui ne réfléchit pas le rayon incident).

Au cours de cet épisode (proposé, comme le précédent au public "initié"), on montre un exercice expérimental permettant de se rendre compte si l'on est "guéri" de la visualisation et des difficultés qu'elle peut provoquer.

Matériel:

Comme pour l'épisode précédent.

Déroulement:

1. Placer l'ampoule à la hauteur de 6 cm et relativement près de l'écran avec la fente (5 cm environ) - on obtient un trait lumineux sur la base, d'une longueur de 10 cm environ.

Mettre le miroir, muni de son cache en carton, au bout de ce trait (le trait doit juste toucher la surface du miroir, sans "monter" sur le cache), comme sur la figure 45.

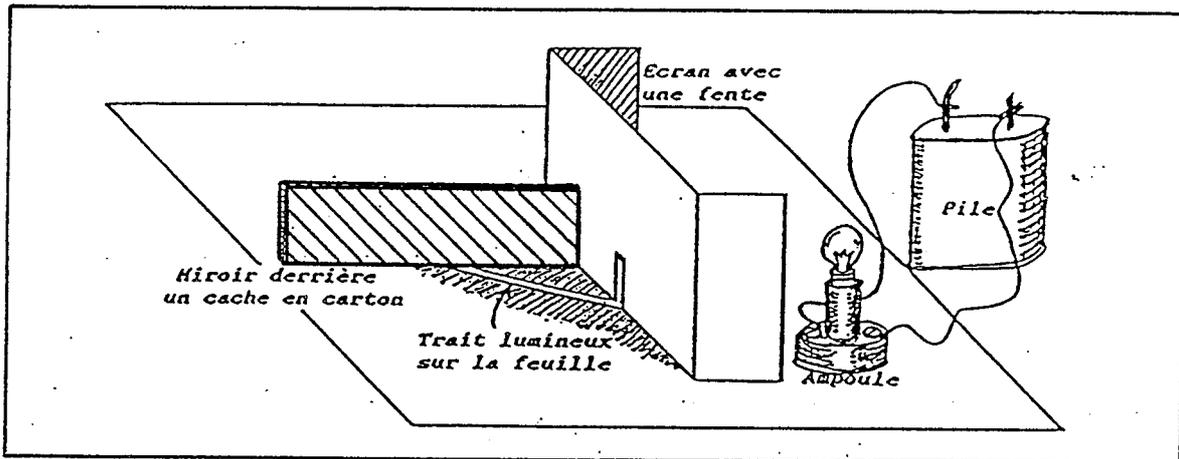


Figure 45 - Montage, ampoule allumée, servant à donner la prévision demandée au cours de l'épisode 3.

Prévoir ce que l'on verra sur la base et dans le miroir si l'on retire le cache de sa surface.

2. Vérifier la prévision.

Remarques:

1. Cette fois il n'y a pas de trait "réfléchi" sur la base. L'ampoule n'éclaire plus le miroir, elle n'envoie la lumière, à travers la fente, que sur la base là, où on voit le trait "incident". La lumière diffusée par ce trait permet la formation, de l'autre côté du miroir, de l'image de ce trait. De même, la lumière ambiante, diffusée par l'écran qui porte la fente, est responsable de la formation de son image.

En revanche, on ne pourra pas voir l'image de l'ampoule derrière l'image de la fente (la lumière issue de l'ampoule n'arrive pas jusqu'au miroir).

2. Pour revenir à la situation de l'épisode précédent il suffit d'approcher le miroir vers la fente (en "coupant" le trait "incident" avec le miroir) - on voit de nouveau "la croix" (Cf. figure 44).

2.6. SEQUENCE n°5 - CHAMBRE NOIRE

Nous l'avons annoncé (au Chapitre 1), nous prenons le thème de la chambre noire non pas comme dispositif introductif mais comme thème de synthèse, qui fait appel aux acquis des séquences précédentes.

On s'attache en particulier, à faire systématiquement jouer les différences entre lentille et chambre noire, en analysant leur impact sur chaque caractéristique de l'image.

La durée de cette séquence est prévue pour 8 heures environ.

2.6.1. Episode d'introduction - Réglage de la chambre noire et l'image de référence I_R

Avant d'aborder le premier épisode de cette séquence, nous proposons, comme point de départ, la mise au point, sur l'écran de la chambre noire, de l'image formée par une lentille convergente.

Matériel:

1. Une chambre noire de profondeur variable (deux boîtes coulissantes l'une dans l'autre, avec un écran translucide fixé sur la face avant de la boîte intérieure, et avec un système permettant de changer le trou (la taille et la forme) par lequel la lumière pénètre dans la chambre, sur la face avant de la boîte extérieure. Une petite lentille convergente (de focale 10 cm environ) doit pouvoir être placée devant le trou (Cf. figure 46).

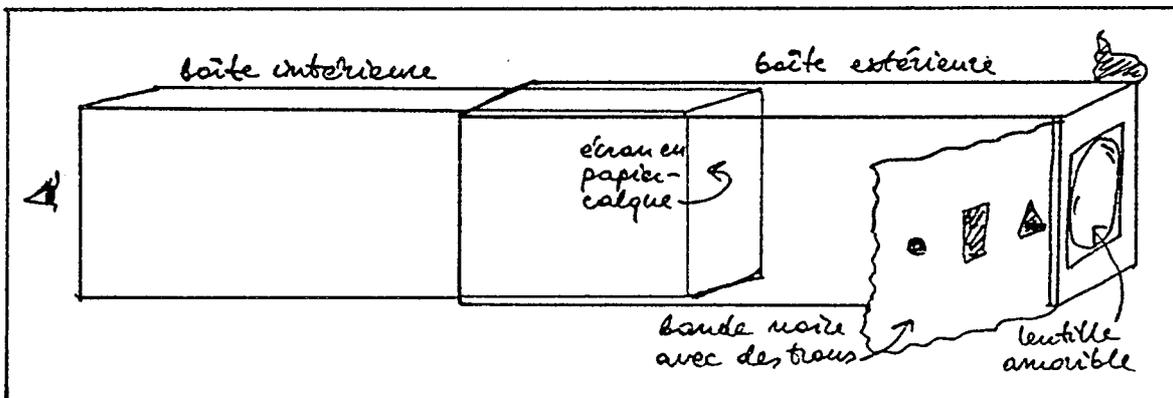


Figure 46 - Schéma de la chambre noire utilisée au cours de cette séquence.

2. Le système permettant de changer le trou de la chambre noire peut être construit de plusieurs façons. Nous avons proposé de munir la boîte extérieure d'une double face avant avec un grand trou (de dimensions à peine inférieures à celles de la lentille), et d'y faire glisser une bande avec une collection de trous comme celle de la figure 47.

3. Des sources de lumière : une ponctuelle (le filament d'une petite ampoule), une étendue (la flamme d'une bougie),

un objet diffusant (un petit jouet ou un autre petit objet "ordinaire").

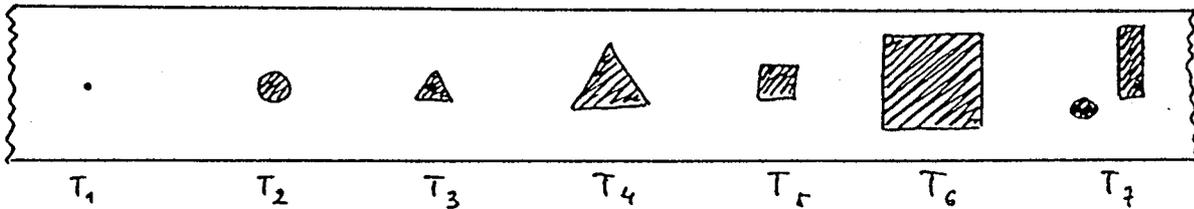


Figure 47 - Une collection de trous pouvant servir dans les manipulations de la séquence "Chambre noire".

4. Une longue feuille (1 m environ) - base du montage, où l'on a marqué les positions des objets et de la face avant de la chambre noire, et où l'on a tracé l'axe du montage.

Manipulation:

Disposer la petite ampoule et la bougie des deux côtés de l'objet diffusant. Mettre la chambre noire en face, à 30 cm environ de ces sources de lumière. Placer la lentille sur le plus grand trou et faire la mise au point en déplaçant la boîte avec l'écran par rapport à l'autre, celle avec le trou et la lentille.

Examiner tous les détails de l'image sur l'écran (taille, inversion, etc). Cette image I_R servira de référence pour les autres observations.

Remarques:

L'image formée par une lentille a été déjà étudiée au cours de la séquence n°3. Maintenant, nous allons comparer la figuration de l'objet, obtenue sur l'écran de la chambre noire, avec l'image de ce même objet donnée par la lentille.

2.6.2. Episode 1 - Trou d'épingle

Au cours de cet épisode, il s'agit d'observer la figuration F_1 de l'objet formée sur l'écran de la chambre noire et de la comparer avec son image de référence I_R .

Matériel:

Comme pour l'épisode d'introduction, en gardant la même disposition de la chambre noire par rapport à l'objet (composé de l'ampoule, du petit jouet et de la bougie). Enlever la lentille de la face avant et y placer le plus petit trou, mais garder la même distance entre l'écran et le trou que celle correspondant à la mise au point "de référence".

Déroulement:

Observer l'écran de la chambre noire - on y voit deux aires lumineuses correspondant respectivement à la flamme de la bougie (plus grande) et au filament de l'ampoule (toute petite); il n'y a pas de figuration du petit jouet éclairé.

Répondre aux questions suivantes (en revenant au besoin à la manipulation précédente - remettre la lentille sur le plus grand trou) :

* La figuration F_1 de l'objet sur l'écran de la chambre noire, est-elle inversée (comme I_R) ou droite ?

* Quels sont, par rapport à l'image I_R :

- le grandissement de F_1 ,
- sa luminosité,
- sa netteté ?

Remarques:

1. La figuration F_1 est inversée comme I_R et son grandissement est égal à celui de I_R (la distance entre deux aires lumineuses sur l'écran de la chambre noire est la même que la distance entre l'image de la flamme de la bougie et l'image du filament de l'ampoule).

2. La luminosité de F_1 est très faible par rapport à celle de I_R - très peu de lumière pénètre par le trou d'épingle dans la chambre noire.

3. La netteté de F_1 est "discutable" - on voit très peu de détails sur l'écran, mais même si l'on se limite à l'observation de la flamme de la bougie, la netteté de sa figuration est inférieure à la netteté de son image formée par la lentille (sinon, corriger la mise au point ou prendre une meilleure lentille).

2.6.3. Episode 2 - Ce qui change sur l'écran de la chambre noire quand on change la taille et/ou la forme du trou.

Les observations proposées maintenant ont pour but de cerner le rôle du trou (de sa taille par rapport aux dimensions de l'objet, et de sa forme) dans la formation de la figuration de l'objet lumineux sur l'écran de la chambre noire.

Matériel:

Comme pour l'épisode précédent.

Déroulement:

1. Remplacer le plus petit trou (celui de l'épisode précédent) par l'autre trou circulaire. Observer les modifications des caractéristiques (inversion, grandissement, luminosité, netteté) de la figuration de l'objet (composé des deux sources de lumière et du petit jouet éclairé).

2. Choisir une autre paire de trous de même forme (par exemple deux triangles) - prévoir ce que l'on verra sur l'écran de la chambre noire avec chacun de ces trous.

3. Vérifier la prévision en observant la figuration de chaque partie de l'objet (de l'ampoule, de la bougie et du jouet).

4. Choisir une paire de trous de taille semblable mais de forme différente (par exemple un triangle et un carré) - prévoir quelles caractéristiques de la figuration de l'objet changent quand on remplace l'un des trous par l'autre.

5. Vérifier la prévision.

Remarques:

1. Une chambre noire avec un petit trou circulaire présente une faiblesse souvent négligée : l'élève n'a pratiquement pas l'occasion d'observer l'influence de la forme du trou sur l'aspect de la figuration de l'objet (surtout de l'objet ponctuel) sur l'écran. L'emploi des trous triangulaires ou carrés lève cet obstacle.

2. Quand on choisit un trou plus grand, la forme de la flamme de la bougie est à peine reconnaissable sur l'écran. Pour comprendre cela, il faut faire appel au raisonnement "ponctuel" suivant :

* Chaque point de la flamme émet de la lumière dans toutes

les directions - un peu de cette lumière pénètre dans le trou de la chambre noire.

* Par conséquent, à chaque point de la flamme correspond une aire lumineuse sur l'écran. La forme de cette aire reproduit la forme du trou. Par exemple, dans le montage présenté ici, pour un trou triangulaire, à chaque point lumineux correspond un triangle dont le côté est 1,5 fois plus grand que le côté du trou.

* On obtient donc, sur l'écran de la chambre noire, une multitude de triangles lumineux se chevauchant les uns les autres. Les points de l'écran les mieux éclairés se trouvent au milieu de la figuration de la flamme, là où le plus de "triangles" se recouvrent. En revanche, le contour de la flamme "disparaît" parce qu'il n'envoie pas assez de lumière vers l'écran.

En conclusion, la netteté de la figuration de l'objet est très médiocre.

3. La luminosité de la figuration de l'objet sur l'écran augmente quand on change le trou pour un autre, plus grand - la quantité de lumière qui pénètre à l'intérieur de la chambre noire est proportionnelle à la surface du trou.

Quand les deux trous sont de taille équivalente, la luminosité de la figuration de l'objet sur l'écran est équivalente aussi.

4. L'objet "composé" permet l'évaluation de l'inversion et du grandissement de sa figuration sur l'écran. Les deux figurations "partielles" sont assez faciles à distinguer : au filament de l'ampoule correspond une aire blanche, à la flamme - une aire plus grande et jaune. Ces deux aires sont inversées (par rapport à l'objet) comme sur I_R et F_1 (Cf. épisode 1) et leur distance n'a pas changé (le grandissement de l'objet "composé" est le même que celui de I_R et F_1).

2.6.4. Episode 3 - Comparaison entre la figuration de l'objet et son image sur l'écran de la chambre noire.

Au cours des observations proposées maintenant, nous imposerons (contrairement à la situation classique - l'épisode 1), la même quantité de lumière qui formera soit la figuration de l'objet sur l'écran, soit son image donnée par la lentille.

Matériel:

Comme pour l'épisode d'introduction, en gardant la même disposition de la chambre noire par rapport à l'objet "composé". Vérifier que la lentille pourra être placée devant le trou (comme sur la figure 46 plus haut) sans faire bouger

les autres éléments du montage.

Déroulement:

1. Choisir un trou de forme caractéristique, plutôt grand. Observer la figuration de l'objet sur l'écran et, sans toucher à rien d'autre, placer la lentille devant le trou de la chambre noire. Qu'est-ce qui change sur l'écran ?

2. Enlever la lentille.

Avant de continuer les manipulations, prévoir ce qu'on verra sur l'écran si l'on déplace (légèrement) le trou (par exemple, vers la gauche) - la figuration de l'objet, changera-t-elle sa position sur l'écran? Si oui, dans quel sens?

3. Vérifier la prévision.

4. Remettre le trou au centre de la face avant et y réinstaller la lentille.

Prévoir ce qu'on verra sur l'écran si l'on déplace le trou (comme ci-dessus) sans faire bouger la lentille - l'image de l'objet, changera-t-elle sa position sur l'écran? Si oui, dans quel sens?

5. Vérifier la prévision.

6. Enlever la lentille et remettre le trou au centre.

Avant de continuer les manipulations, prévoir ce qu'on verra si l'on déplace l'écran de la chambre noire (de 3 cm environ; par exemple, vers l'avant) - la figuration de l'objet, changera-t-elle? Si oui, comment?

7. Vérifier la prévision.

8. Prévoir ce qu'on verra sur l'écran si, sans modifier la nouvelle position de l'écran, on réinstalle la lentille devant le trou de la chambre noire - l'image de l'objet, changera-t-elle par rapport à celle, correspondante à la position initiale de l'écran? Si oui, comment?

9. Vérifier la prévision.

Remarques:

1. La différence principale entre la figuration et l'image de l'objet, en termes de caractéristiques habituelles, est celle de la netteté de ce que l'on voit sur l'écran : le grandissement et l'inversion sont les mêmes (Cf. épisode précédent), et la quantité de la lumière en jeu est déterminée par la surface du trou (toujours le même). En revanche, on

interprète la différence de netteté en constatant qu'à chaque point de l'objet lumineux correspond sur l'écran,

- * soit une aire de la forme du trou - pour sa figuration,
- * soit un point où converge toute la lumière ayant traversé le trou, issue du point-objet conjugué - pour son image donnée par la lentille.

Le résultat vu donne une signification claire à la notion de netteté : en "ordonnant", point par point l'arrivée de la lumière sur l'écran, la lentille forme une image précise où l'on reconnaît facilement tous les détails de l'objet (on y voit même le jouet éclairé, les fils de connection de l'ampoule, etc).

2. Le déplacement du trou vers la gauche (en absence de la lentille) est équivalent au déplacement de l'axe du montage (cet axe passe par le centre de l'objet et le centre du trou). La figuration de l'objet se déplacera dans le même sens (son centre se trouve également sur l'axe du montage).

3. La présence de la lentille détermine l'axe du montage indépendamment de la position du trou - l'image ne bougera pas quand on déplace le trou (différentes parties de la lentille participent à la formation d'une même image).

4. Le déplacement de l'écran vers l'avant (en absence de la lentille) rend la figuration de l'objet plus petite (Cf. figure 48).

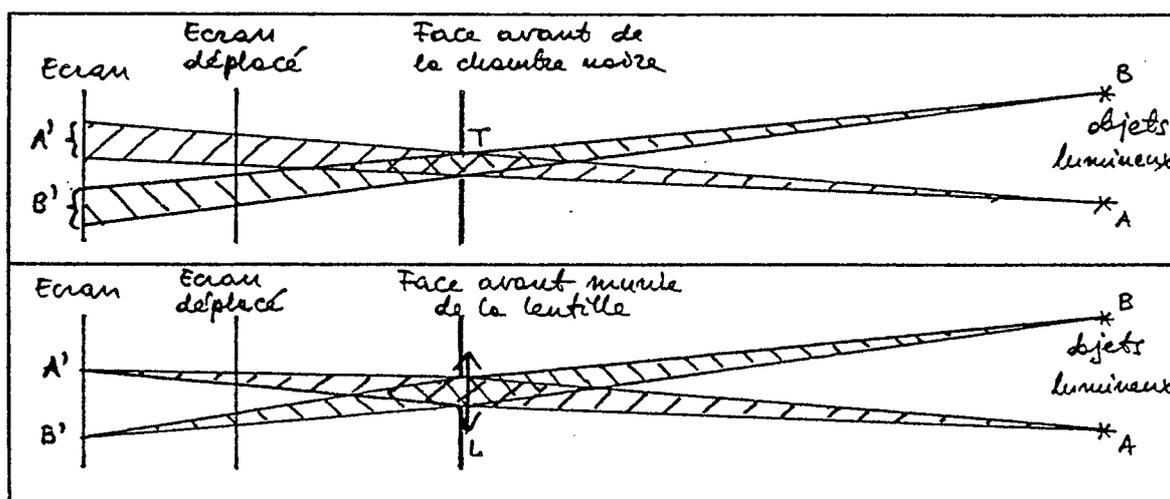


Figure 48 - Schémas interprétant l'effet du déplacement de l'écran vers l'avant :

- * sans lentille (en haut),
- * quand la lentille est placée sur le trou (en bas).

Si le trou est suffisamment grand (ou si l'on approche l'écran davantage), les deux figurations "partielles" (celle du filament de l'ampoule et celle de la flamme), peuvent se confondre en formant une seule aire lumineuse sur l'écran de la chambre noire.

5. Quand la lentille est placée sur le trou, le déplacement de l'écran vers l'avant rend impossible l'observation de l'image - l'image donnée par la lentille ne se forme plus sur l'écran. On y voit une espèce de figuration, composée des aires lumineuses correspondant aux éléments les plus lumineux de l'objet. Chaque aire-figuration d'un point-objet est maintenant moins grande qu'en l'absence de lentille (Cf. figure 48) - le faisceau de lumière converge (vers le point-image qui ne pourra pas être atteint) après le trou.

2.6.5. Episode 4 - Rôle de l'écran de la chambre noire

Nous avons déjà proposé (Cf. séquence n°3) l'étude du rôle de l'écran diffusant dans l'observation d'image réelle, donnée par une lentille convergente. Au cours de cet épisode, nous tenons à montrer que la formation d'une figuration de l'objet par le dispositif de la chambre noire classique ne peut se faire sans écran, contrairement au cas de la lentille.

Matériel:

Comme pour l'épisode précédent.

Déroulement:

1. Choisir un trou (plutôt grand) et installer la lentille devant. Faire la mise au point, en déplaçant l'écran de la chambre noire, comme pour le réglage "de référence".

2. Enlever l'écran : sortir la boîte porte-écran de la boîte avec le trou sur sa face avant (sans faire bouger cette dernière). Prévoir ce qu'on verra en regardant à l'intérieur de la chambre noire, dans la direction de la lentille.

3. Vérifier la prévision - si l'on ne voit pas bien, il faut reculer et "chercher" avec l'oeil (Cf. observation de l'image donnée par une lentille diaphragmée au cours de la séquence n°3). Si l'on n'y arrive toujours pas, il faut choisir un trou plus grand.

4. Prévoir ce qu'on verra en regardant à l'intérieur de la

chambre noire si, sans toucher à rien d'autre, on enlève la lentille.

5. Vérifier la prévision. Comparer avec l'observation précédente.

Remarques:

1. Sans écran, l'image de l'objet, formée par la lentille, existe (et peut être vue) "dans l'espace", même s'il n'est pas facile de l'observer quand la lentille est diaphragmée (Cf. séquence n°3). Cette image est inversée et, dans le montage décrit ici, diminuée par rapport à l'objet (on voit, par exemple, une petite bougie avec la flamme vers le bas).

2. Quand la lentille est enlevée, la lumière qui arrive dans l'oeil de l'observateur, vient directement de l'objet. Par conséquent, en regardant à l'intérieur de la chambre noire, on ne voit que l'objet de l'autre côté du trou (comme par un trou de serrure) - la bougie aura la flamme vers le haut.

3. L'écran de la chambre noire (sans lentille) est donc strictement indispensable pour obtenir une figuration de l'objet placé devant le trou.

2.6.6. Episode 5 - Exercice de révision : "Une chambre noire à double trou"

La tâche proposée dans cet exercice, consiste à faire des prévisions devant un montage expérimental. Les difficultés à surmonter ont été vues au cours des séquences n°2 (Propagation rectiligne de la lumière), n°3 (Formation des images par une lentille mince convergente) et n°5 (Chambre noire).

Matériel:

Comme pour l'épisode précédent.

Déroulement:

1. Faire le réglage "de référence" (Cf. Episode d'introduction) et ensuite, enlever la lentille.

2. Prévoir ce qu'on verra sur l'écran si (sans toucher à rien d'autre) l'on installe un "double trou" (comme T7 sur la figure 47) sur la face avant de la chambre noire.

3. Vérifier la prévision.

4. Prévoir ce qu'on verra sur l'écran si l'on remet la lentille devant la face avant (portant toujours le double trou) de la chambre noire.

5. Vérifier la prévision. Comparer avec l'observation précédente.

6. Prévoir ce qu'on verra "directement" (en regardant à l'intérieur de la chambre noire) si l'on retire l'écran (mais sans enlever la lentille).

7. Vérifier la prévision.

8. Prévoir ce qu'on verra si (sans remettre l'écran) on enlève la lentille de la face avant de la chambre noire.

9. Vérifier la prévision. Conclure.

Remarques:

1. Un "double trou" sur la face avant de la chambre noire est équivalent à deux chambres "visant" le même objet. La lumière issue d'un point-objet arrive, à travers les deux trous, sur deux endroits de l'écran diffusant : à un point-objet correspondent deux aires lumineuses sur l'écran. Par conséquent, on verra une figuration doublée.

2. Le fait de remettre la lentille devant la face portant le double trou, annule le dédoublement précédent : chaque partie de la lentille participe à la formation d'une seule image - la lumière issue d'un point-objet converge vers un seul point-image conjugué. Par conséquent, on ne verra qu'une image de l'objet sur l'écran.

3. Après avoir retiré l'écran de la chambre noire, on verra (mais ce ne sera pas facile compte tenu de la faible taille de chacun de deux trous) la même image "en morceaux" : en bougeant la tête et en "cherchant" avec l'oeil, on pourra vérifier que toute image (inversée et diminuée) est formée "dans l'espace".

4. En l'absence de lentille, la lumière qui arrive dans l'oeil de l'observateur (à travers l'un ou l'autre trou), vient directement de l'objet. Au lieu des deux figurations, vues sur l'écran de la chambre noire, on ne verra, sans écran, que l'objet de l'autre côté du trou (il ne sera pas facile de vérifier que la flamme de la bougie pointe vers le haut, mais avec de la patience on y parvient - sinon, il faut percer des trous plus grands).

2.7. Conclusion du chapitre 2

Nous l'avons annoncé en introduction de ce chapitre : les activités en optique élémentaire que nous présentons ici, sont décrites telles qu'elles ont été effectuées au cours d'un stage de formation des maîtres, celui-là même qui a été évalué. Cette évaluation fait l'objet du chapitre III de ce travail.

Par conséquent, le déroulement de ces cinq séquences a été "standardisé" : par exemple, nous avons proposé à tous les participants les mêmes détails géométriques des montages expérimentaux. De même, nous n'en avons donné ici que la description de ce qui a été réalisé par tout le monde.

Notre présentation ne devrait pas pour autant être prise pour une collection de "recettes". Bien au contraire, dans notre esprit le matériel présenté ici est avant tout au service d'une mise en jeu contrôlée des concepts, qui peut se faire avec des modulations et des extensions par rapport à ce qui est décrit dans ce chapitre.

Le chapitre suivant fera d'ailleurs apparaître les réactions des participants de ce point de vue.

CHAPITRE 3

EVALUATION

3.1. Introduction

Les cinq séquences d'activités en optique élémentaire, décrites au chapitre précédent, ont été expérimentées au cours d'une série de sept stages pour les enseignants des collèges³³. Pendant le dernier de ces stages, nous avons proposé aux 12 professeurs-stagiaires de participer à une évaluation d'un type particulier. Nous n'avons pas demandé à ces stagiaires de répondre aux questionnaires "avant/après" pour chercher à découvrir l'évolution de leurs idées en optique élémentaire à la suite de la formation³⁴. En revanche, cette évaluation a porté sur les activités de formation elles-mêmes, à savoir nos cinq séquences expérimentales, pour lesquelles nous avons sollicité le jugement des stagiaires.

Ces séquences, mises au point pour traiter les notions de l'optique élémentaire, sont différentes de celles utilisées dans l'enseignement classique. On a cherché à savoir d'une part, si elles étaient acceptées en tant que formation des enseignants, d'autre part, si les professeurs envisageaient de les reprendre (en partie, modifiées ou telles qu'elles étaient présentées en stage) pour leur travail avec les élèves.

A la fin de chaque séquence, les stagiaires ont été invités à répondre à une série de questions. Nous avons rédigé celles-ci de manière identique pour toutes les séquences. Ce choix a été dicté par deux raisons principales : d'une part, en imposant ainsi les mêmes éléments de jugement pour chacune des séquences, nous nous attendions à obtenir des données homogènes pour une analyse globale ultérieure ; d'autre part, en justifiant leurs réponses, les enseignants interrogés

³³ Dans le cadre de la Formation des Maîtres à l'Université Paris 7.

³⁴ Quelques éléments de ce type d'évaluation de nos stages se trouvent dans l'article [47] reproduit en Annexe A - nous y rassemblons les réponses des enseignants à la fin du stage et les réponses des étudiants en Licence (considérés comme un groupe témoin).

auront pu nous fournir des indications sur leurs propres critères d'évaluation. Par exemple, en demandant à détailler les épisodes les plus surprenants et les plus difficiles, nous avons cherché à étudier l'adhérence éventuelle de ces deux aspects pour notre public.

A la fin du stage nous avons présenté aux professeurs-stagiaires une autre série de questions pour les inviter à une évaluation plus globale, permettant d'une part de placer les différentes séquences dans la perspective de la totalité de la formation proposée, et d'autre part de donner leur avis personnel au sujet des notions d'optique élémentaire autour desquelles ce stage a été construit.

Nous analyserons donc les jugements des stagiaires autant à l'égard de l'intérêt de nos séquences pour eux-mêmes, que de la valeur qu'elles peuvent avoir pour leurs élèves.

Au passage, nous émettrons quelques hypothèses sur les éléments susceptibles d'intervenir dans les jugements des maîtres, que nous aurons recueillis, sur les deux points essentiels de cette enquête :

- efficacité de la séquence pour eux-mêmes,
- efficacité de la séquence pour leurs élèves.

3.2. Présentation des questions de l'enquête

Après avoir terminé chacune des séquences expérimentales, nous avons distribué aux stagiaires les feuilles d'évaluation suivantes :

3.2.1. Feuille d'évaluation - séquence n° ...

1. Dans la séquence présentée, quel était pour vous l'épisode (ou l'aspect) :

- a) le plus surprenant?
- b) le plus difficile?
- c) le plus décevant?
- d) le plus réussi?

2. Avez-vous envie d'incorporer cette séquence dans votre travail avec les élèves?

a) Si vous la repreniez ce serait :

* la séquence entière, telle qu'elle était présentée ici?

* modifiée, comment? Dans quel but: contrôle? apprentissage?

* une partie, laquelle?

Pour quelles raisons?

b) Si vous ne la repreniez pas, serait-ce :

* par manque de moyens?

* vous la jugez trop difficile pour vos élèves?

* sans intérêt?

* vous n'avez pas assez de temps d'enseignement à consacrer à ces activités?

* vous n'avez pas assez de temps personnel pour les préparer?

* pour d'autres raisons, lesquelles?

Les enseignants participant à l'enquête étaient amenés à remplir la feuille d'évaluation "à chaud", devant le matériel qui venait de servir au cours de la séquence tout juste terminée. Le temps de réponse n'était pas limité, mais au bout de 20-30 minutes (selon la séquence), les enseignants rendaient les feuilles d'eux-mêmes.

Après l'évaluation de la dernière séquence nous avons proposé aux stagiaires de répondre en plus aux questions de la feuille suivante :

3.2.2. BILAN GENERAL DU STAGE

1. Quelles séquences vous ont apporté le plus d'informations par rapport à l'intitulé du stage : "Optique au collège - notions fondamentales"?

2. Quelles notions d'optique élémentaire pourriez-vous

citer comme fondamentales?

Pour quelles raisons?

3. Ce stage a-t-il changé votre avis à ce sujet?

4. Si vous étiez libre d'organiser le programme de votre enseignement d'optique, quelles séquences y mettriez-vous et dans quel ordre?

Pourquoi?

Le temps de remplir la feuille du *Bilan général* n'était pas limité - les enseignants ont répondu à ces questions en 30-40 minutes environ.

3.3. Réponses à la question 1 de la Feuille d'évaluation
(quel était l'épisode ou l'aspect le plus surprenant, difficile, décevant, réussi?)

En réponse à cette question, les professeurs-stagiaires se sont contentés, pour la plupart, de donner le (ou les) numéro(s) d'épisode, sans plus. Peu d'entre eux ont indiqué l'épisode qui les a déçus. En revanche, il n'était pas rare qu'un seul et même épisode soit cité par la même personne en tant que le plus surprenant et le plus réussi (ou difficile) à la fois.

Les réponses à la question 1 sont rassemblées dans le tableau 8. Pour chaque séquence, nous y avons rapporté les choix les plus fréquents - par exemple, l'épisode 3 de la séquence 1 qui a été jugé le plus surprenant par 35% des stagiaires - les autres épisodes de cette séquence ont été trouvés relativement moins surprenants (les épisodes 4 et 5 - 25% des professeurs chacun).

Episode le plus	surprenant	difficile	décevant	réussi	cité (indépendamment de la catégorie)
Séquence 1.	Ep.3 - Mélange des couleurs et spectres associés 35%	Ep.4 - Addition des couleurs 85%	Ep.5 - Impression visuelle des couleurs(contraste) 25%	Ep.6 - Diffusion de la lumière 50%	Ep.4 - Addition des couleurs 100%
Séquence 2	Ep.5 - Ombres avec deux sources colorées 90%	Ep.4 - Ombre-source étendue (pénombre) 65%		Ep.2 - Oeil-détecteur de la lumière 60%	Ep.5 - Ombres avec deux sources colorées 100%
Séquence 3.	Ep.4 - Observations indirectes - rôle de la lentille (lentille enlevée et diaphragmée) 65%	Ep.6 - Interprétation - objet et image étendus (schématisation et échantillonnage) 50%	Ep.6 - Interprétation - objet et image étendus (schématisation et échantillonnage) 10%	Ep. 3 et 4 - Observations indirectes - rôle de l'écran et de la lentille (diaphragmes) 25% et 25%	Ep.4 - Observations indirectes - rôle de la lentille (lentille enlevée et diaphragmée) 75%
Séquence 4.	Ep.3 - "Miroir en panne" (qui ne réfléchit pas le rayon incident) 75%	Ep.2 - Ce que l'on voit dans le miroir ("la croix") 60%		Ep.3 - "Miroir en panne" (qui ne réfléchit pas le rayon incident) 35%	Ep.3 - "Miroir en panne" (qui ne réfléchit pas le rayon incident) 85%
Séquence 5.	Ep.2 -Ce qui change sur l'écran de la chambre noire quand on change la taille et/ou la forme du trou (trous des formes différentes) 90%	Ep.3 -Comparaison entre la figuration de l'objet et son image sur l'écran de la chambre noire (sans et avec lentille) 50%		Ep.3 -Comparaison entre la figuration de l'objet et son image sur l'écran de la chambre noire (sans et avec lentille) et "TOUT" 25% et 40%	Ep.2 - Ce qui change sur l'écran de la chambre noire quand on change la taille et/ou la forme du trou (trous des formes différentes) 90%

Tableau 8 : Réponses à la question 1 de la Feuille d'évaluation d'une séquence ("Quel était pour vous l'épisode le plus surprenant, le plus difficile, le plus décevant, le plus réussi?"). Les pourcentages sont arrondis à 5% près, N=12.

La dernière colonne de ce tableau - l'épisode le plus cité - montre les fréquences de choix de l'épisode apparaissant le plus souvent dans les réponses recueillies, indépendamment de la catégorie (surprenant, difficile ou réussi). Ces fréquences sont très élevées (jusqu'à 100% d'enseignants focalisant leur attention sur un épisode parmi six que compte, par exemple, la séquence 1). Une telle unanimité dans le choix mérite que l'on examine les aspects communs à tous ces épisodes "les plus cités". Or, dans chacun de ces épisodes nous proposons à nos professeurs-stagiaires de faire des prévisions devant un montage expérimental et de les vérifier ensuite à l'aide de manipulations simples. Bien que ce soit le cas pour une forte proportion de nos épisodes (60 % environ), on peut penser que ce résultat signale l'intérêt suscité chez notre public pour un tel type d'activité.³⁵

3.3.1. Justifications des réponses à la question 1 et critères de choix des enseignants

Une première constatation se dégage : il n'y a pas de commentaires exclusivement réservés à la réponse "surprenant". Les raisons invoquées dans cette rubrique sont reprises par les mêmes enseignants, ou d'autres, dans la rubrique "réussi", ou beaucoup plus rarement³⁶ dans la rubrique "difficile". Un des critères communs aux rubriques "surprenant" et "réussi" semble être la richesse conceptuelle associée à la simplicité du dispositif expérimental - un épisode peut donc être jugé surprenant et/ou réussi parce qu'il est *"très démonstratif avec peu de matériel sophistiqué"* (Ep.2 séq.2 - où le montage expérimental est composé d'une ampoule et des trois feuilles de bristol), ou bien *"pour les résultats obtenus"* (Ep.6 séq.1 - où, avec une lampe de poche et quelques feuilles de papieranson, on montre qu'une surface de couleur, éclairée par une lumière "blanche", diffuse de la lumière "colorée"). A propos de l'aspect le plus surprenant de la séquence 4 (où l'on analyse le procédé de "visualisation" de la lumière), on trouve, par exemple, une conclusion : *"La lumière glissant ne se voit pas"* et, pour indiquer l'aspect le plus réussi de

³⁵ Au cours de nos deux séquences les plus longues (la séquence 1 comportant six épisodes, et la séquence 3 - huit épisodes), nous avons proposé relativement peu de "prévisions" : deux épisodes pour la séquence 1, et trois - pour la séquence 3. La présence de ce type d'épisodes dans la colonne "le plus cité" du tableau 1, pour toutes les séquences, semble d'autant plus significative.

³⁶ Deux seulement : un pour la séquence 2, et un pour la séquence 4.

cette séquence : *"Quand la fente est projetée sur l'écran sans trace sur la table horizontale"*.

Dans certaines justifications, l'accent est mis davantage, sinon exclusivement, sur l'aspect technique et sur la multiplicité des expériences possibles avec le même matériel. On y mentionne, sans plus de précisions conceptuelles, l'*"utilisation du matériel"* (Séq.3 - consacrée à la lentille convergente), la *"conception de la boîte"* (Séq.5 - chambre noire) et *"l'aspect pratique"* en général. Ces derniers commentaires laissent planer un doute, confirmé parfois par l'observation directe, sur l'éventualité d'une contemplation quelque peu gratuite de petites manipulations. Cependant, dans de nombreuses réponses cette allusion à l'aspect technique suggère l'intérêt conceptuel des manipulations en cause. Ainsi les commentaires portant, à propos de la séquence 3, sur *"utilisation des diaphragmes"* ou l'*"utilisation du diaphragme excentré"*, ou le *"rôle des différents diaphragmes"* portent-ils sur une manipulation permettant d'analyser méthodiquement le rôle des différents éléments du montage, qualifiée au passage d'épisode "le plus réussi" de la séquence.

Quant à la réponse "difficile", elle est très rarement justifiée (15% pour les séquences 1 et 3 et 10% pour les autres). Lorsqu'elle l'est, c'est pratiquement toujours en référence aux élèves et au cadre scolaire, et non à propos des professeurs eux-mêmes. Ainsi, par exemple, dans les jugements : l'*"épisode 4 trop délicat et hors programme"* (séq.2 - l'épisode sur la pénombre) et, pour indiquer l'aspect le plus difficile, *"précision nécessaire dans les tracés (surtout pour faire avec des élèves)"* (séq.3 - les épisodes consacrés à la schématisation). Ces jugements se préciseront d'ailleurs dans les réponses à la question 2, où beaucoup d'enseignants proposent de supprimer (ou réduire) les épisodes "difficiles". A cette occasion, ils précisent que l'aspect ou l'épisode donné est *"trop difficile pour les élèves"* ou bien qu'il *"demande un temps trop long (compte tenu des horaires) pour la réalisation globale"*. Bien entendu nous sommes là sur un terrain où le jugement de l'enseignant ne peut pas ne pas être influencé, de manière confuse, par les difficultés qu'il ressent lui-même.

3.4. Réponses à la question 2a) de la Feuille d'évaluation (*Avez-vous envie d'incorporer cette séquence dans votre travail avec les élèves? entière, modifiée, une partie?*)

En proposant cette question, nous souhaitions recueillir les premières impressions des enseignants sur l'intérêt de la séquence évaluée pour leurs élèves. Les réponses à cette question sont rassemblées dans le tableau 9.

Reprise de la séquence	Telle quelle	Réduite	En supprimant ou en réduisant surtout :	Séquence rejetée	Sans réponse
Séquence 1	35%	65%	Ep.5 - Impression visuelle des couleurs (contraste) 65%	-	-
Séquence 2	35%	65%	Ep.4 - Ombre-source étendue (pénombre) 50%	-	-
Séquence 3	25%	60%	Ep.5-8 - Tous les épisodes consacrés à la schématisation 50%	-	15%
Séquence 4	25%	40%	Ep.2 et 3 - Les deux épisodes où l'on se sert du miroir 40%	25%	10%
Séquence 5	25%	75%	"En séparant les manipulations sans lentille (en 4ème) et avec lentille (3ème) 40%	-	-

Tableau 9 - Réponses à la question 2a) de la Feuille d'évaluation d'une séquence (*Avez-vous envie d'incorporer cette séquence dans votre travail avec les élèves?*). Les pourcentages sont arrondis à 5% près, N=12.

On trouve, dans ces réponses, une acceptation générale des activités du stage. Quatre séquences, parmi les cinq proposées, seraient reprises dans l'enseignement par une majorité écrasante des stagiaires. En outre, pour certains professeurs, ces séquences pourraient être présentées aux élèves telles qu'elles ont été vues par les stagiaires-mêmes.

Notons ici que la séquence "rejetée" (portant sur les dangers de la "visualisation" des faisceaux lumineux) était,

dans nos intentions, adressée surtout aux enseignants. En particulier dans les épisodes 2 et 3, nous nous servons du miroir plan comme d'un dispositif optique bien familier à notre public (pour les élèves de collège tel n'est pas le cas). Ce sont donc les stagiaires (40%) qui proposent de ne reprendre avec les élèves que l'épisode 1 (où l'on étudie la trace lumineuse sur un support diffusant) qui donnent, à la question 2a, la réponse que nous aurions donnée nous mêmes.

Les enseignants interrogés ont, dans une forte proportion (jusqu'à 75%), choisi de reprendre "la séquence modifiée". Nous avons placé leurs réponses dans la colonne "repris de la séquence réduite" car la seule modification proposée³⁷ consistait à réduire, ou supprimer un ou plusieurs épisodes de la séquence. Ces épisodes ont été désignés presque unanimement - ce sont les épisodes jugés "les plus difficiles" en réponse à la question 1.

3.4.1. Justifications des réponses à la question 2a)

Les enseignants n'ont que rarement commenté les raisons d'un choix positif de reprise partielle ou totale d'une séquence. Ainsi, ces justifications sont tellement peu nombreuses (deux - pour la séquence entière, quatre - pour la séquence réduite et deux - pour défendre la division de la séquence 5), que nous pouvons les rapporter toutes.

Selon les professeurs-stagiaires, les raisons de reprendre avec les élèves la séquence entière, telle qu'elle était présentée au cours du stage, seraient :

* pour la séquence 2 (Propagation rectiligne de la lumière) - *"Importance de la propagation rectiligne + aspect amusant 'de la chienne' (Ep.5 - Exercice de révision - Ombres avec deux sources colorées) pour conclusion + exercice."*

* pour la séquence 3 (Formation des images par une lentille mince convergente) - *"Semble indispensable pour tout comprendre."*

Les raisons de reprendre une (grande) partie de la séquence seraient :

³⁷ Excepté la séquence 5 (Chambre noire), où 40% des enseignants ont proposé de "scinder : observation sans lentille en 4e, observation avec lentille en 3e" pour "respecter les programmes actuels" (Cf. Annexe C).

* pour la séquence 1 (Analyse de la couleur) -
 "Démonstrations possibles avec peu de matériel coûteux"

* pour la séquence 3 - "Toute la lumière issue de l'objet participe à la formation de l'image en traversant un système optique. Exemple : L'interprétation de la formation d'image réelle par une lentille mince convergente demande
 - une rigueur dans l'expérimentation
 - une précision dans les tracés
 - un temps trop long (compte tenu des horaires) pour la réalisation globale
 malgré tout l'intérêt pédagogique."

* pour la séquence 4 (Lumière invisible et lumière visualisée), l'épisode 1 : "Uniquement la trace lumineuse en fonction de la position de la lampe pour rappeler la lumière invisible." et pour les épisodes 1 et 3 : "plus faciles pour interpréter".

Enfin, les raisons de diviser en deux la séquence 5 (Chambre noire) - les manipulations sans lentille en quatrième et les manipulations avec lentille en troisième, seraient les suivantes :

* "Séquence très riche et qui mérite un retour au bout de quelques mois."

ou bien, en exprimant un regret (que l'on retrouvera plus loin, à l'occasion du Bilan général) :

* "Cela /la division en deux de la séquence 5/ me paraît gênant par rapport à la progression et à la comparaison."

3.5. Réponses à la question 2b) de la Feuille d'évaluation (portant sur les raisons de la non-reprise de la séquence)

Selon notre intention, la partie b) de la question 2 était adressée aux professeurs qui n'avaient pas envie d'incorporer la séquence dans leur travail avec les élèves. Cependant, elle a été interprétée par les stagiaires, comme une possibilité de justifier leur choix de réduire ou d'abandonner une partie de la séquence évaluée. Ils ont, d'ailleurs, ajouté d'autres motifs de ce choix :

* les classes trop nombreuses:

"Il est très difficile de faire des manipulations avec 28 élèves" (Séq.1 - Analyse de la couleur),

* la non-conformité de l'activité proposée avec les programmes officiels, comme dans les commentaires suivants:

"Etant donné les programmes, on ne peut pas associer la lentille à la chambre noire pourtant il me semble maintenant essentiel de traiter cela ensemble pour bien voir l'intérêt, le fonctionnement de chacun." (Séq.5 - chambre noire), "Le miroir n'est plus au programme du collègue" (Séq.4 - sur la "visualisation" de la lumière).

En outre, deux (parmi les trois) enseignants, qui ont rejeté entièrement la séquence 4, ont donné (en plus du "manque de temps" pour l'un d'eux) une autre raison de leur choix - la difficulté conceptuelle pour le professeur-même :

"Séquence qui 'me gêne' sur la notion des rayons lumineux."

"Je pense ne pas maîtriser suffisamment cette partie et il me faudra encore beaucoup y réfléchir avant de l'incorporer dans mon enseignement."

Les fréquences des différentes réponses à la question 2b) sont présentées dans le tableau 10.

3.5.1. Justifications des réponses à la question 2b)

Ceux, parmi les enseignants interrogés, qui souhaitent justifier le refus d'incorporer une partie de la séquence (ou une séquence entière) dans leur travail avec les élèves, pouvaient choisir parmi nos propositions (Cf. la question 2b) de la Feuille d'évaluation) et/ou en donner d'autres raisons. Ils ont été nombreux à faire l'un ou l'autre (Cf. dernière ligne du tableau 10). En revanche, ils n'ont que très rarement commenté leurs choix, même dans le cas de la non reprise intégrale de la séquence - les seules explications recueillies précisent la réponse "trop difficile pour les élèves".

Ainsi, pour la séquence 3 (consacrée aux lentilles), 30% des enseignants écrivent : *"Les schémas sont difficiles à mettre en place avec les élèves"*. Certains parmi eux (15%) sont plus explicites en affirmant que cela *"demande beaucoup de soin"*.

Pour la séquence 5 (Chambre noire) la difficulté, commentée par deux enseignants seulement, est de nature plus générale : *"C'est trop riche pour les élèves, la multiplicité des facteurs variables paraît trop large. Les élèves risquent de se perdre rapidement et de ne plus trouver la motivation de*

la recherche." ou bien, pour un autre professeur : "Certaines parties sont beaucoup trop complètes. Ils risquent de se perdre et de ne pas retenir l'essentiel."

Raisons de la réduction (ou abandon) de la séquence	Séquence 1	Séquence 2	Séquence 3	Séquence 4	Séquence 5
Manque des moyens	10% (salle obscure)	-	10% (salle obscure)	-	-
Trop difficile pour les élèves	35%	25%	35%	40%	25%
Sans intérêt	-	-	-	10%	-
Manque de temps d'enseignement	40%	15%	50%	25%	40%
Manque de temps personnel	-	-	10%	-	10%
Classes trop nombreuses	25%	-	10%	-	10%
Hors programme	10%	15%	-	40%	60%
Difficile pour l'enseignant	-	-	-	15%	-
Au total (plusieurs rép. possibles)	65%	60%	75%	65%	75%

Tableau 10 - Réponses à la question 2b) de la Feuille d'évaluation d'une séquence (portant sur les raisons de la réduction ou de l'abandon de la séquence). Les pourcentages sont arrondis à 5% près, N=12.

Ces dernières remarques constituent la seule critique d'ordre conceptuel adressée à nos activités en optique élémentaire. On peut d'ailleurs penser que d'autres enseignants qui ont choisi la rubrique "trop difficile" du tableau 10 (sans préciser la nature de la difficulté) pour les autres

séquences, ont pu ainsi juger le contenu conceptuel des épisodes proposés.

Les fréquences de choix des autres rubriques du tableau 10 parlent d'elles mêmes - notons que la ligne "sans intérêt" est pratiquement vide. D'autre part, beaucoup³⁸ d'enseignants manifestent leur regret en se décidant à réduire une séquence ou à abandonner un épisode. Par exemple, en justifiant la suppression de l'épisode 4 (étude de la pénombre) de la séquence 2 (Propagation rectiligne de la lumière), un professeur écrit : *"La pénombre n'est pas vraiment au programme de 4^e et je rencontre des difficultés à l'expliquer clairement aux élèves mais je pense que je vais essayer de nouveau."* Un autre professeur, après avoir choisi les rubriques "manque de moyens" et "manque de temps d'enseignement", ajoute : *"Classes trop nombreuses, programmes trop chargés - mais je m'inspirerai de cette séquence (Séquence 3 - lentilles) pour atteindre les objectifs recherchés en 3^{ème}."*

Avant de continuer cette évaluation, rappelons que tous les jugements que nous venons d'exposer, ont été recueillis "à chaud", à l'issue de chacune de cinq séquences. A la fin du stage, les enseignants ont pu fournir d'autres opinions, formulées en réponse aux questions du *Bilan général*. Nous nous abstenons donc pour l'instant de procéder à une conclusion partielle en attendant celui-ci.

³⁸ 25% - pour les séquences 1 et 2, 33% - pour la séquence 5, et 40% - pour la séquence 3.

3.6. Réponses à la question 1 du Bilan général du stage

Dans cette question nous demandions quelles séquences ont apporté le plus d'informations par rapport à l'intitulé du stage : "Optique au collège - notions fondamentales". Les enseignants interrogés, dans leur majorité, ne se sont pas limités au choix d'une ou deux séquences³⁹ - 40% d'entre eux en ont énuméré quatre ou même toutes les cinq. Les fréquences des différentes réponses à la question 1 sont rassemblées dans le tableau 11.

Séquence	Réponses directes a apporté le plus d'informations	Commentaires spontanés (65% d'enseignants)		
		nouvelle pour l'enseignant	valeur didac- tique appréciée	facile à reprendre
I	90%	40%	10%	10%
II	60%	15%	15%	15%
III	60%	25%	10%	-
IV	15%	-	-	-
V	60%	10%	-	-

Tableau 11 - Réponses à la question 1 du Bilan général du stage (*Quelles séquences vous ont apporté le plus d'informations..?*). Les pourcentages sont arrondis à 5% près, N=12.

Dans la colonne des réponses directes, on constate la très forte préférence des enseignants pour la séquence 1 (Analyse de la couleur), citée par 90% d'entre eux, et le taux très faible (15%) de ceux qui ont choisi la séquence 4 (Lumière invisible et lumière visualisée). Cette dernière n'était mentionnée qu'avec toutes les autres séquences et ce choix n'a jamais été commenté.

Cependant, sans que nous le sollicitons explicitement, de

³⁹ Deux enseignants seulement ont cité une séquence - la séquence 1 (Analyse de la couleur).

nombreux professeurs (65%) ont accompagné leur réponse à propos d'autres séquences d'une justification ou d'un commentaire.

Parmi eux, le commentaire le plus fréquent souligne la nouveauté pour l'enseignant du contenu proposé, par exemple : "Je ne l'ai jamais fait durant mes études." (Séquence 1 - Analyse de la couleur) ou "C'est une partie de l'optique qui est peu traitée habituellement ou très vaguement." (Séq.1) ou encore, "j'ai appris beaucoup surtout sur les lentilles /.../" (Séquence 3).

Dans d'autres commentaires les stagiaires évoquent la valeur didactique des activités proposées : "La séquence sur la propagation de la lumière (séq.2) a bien mis en évidence les difficultés de raisonnement de l'élève mais aussi celles de l'enseignant. De plus un matériel simple permet de bien observer les phénomènes après les avoir prévus ou avant de les interpréter." ou, pour les séquences 1 et 2, : "Beaucoup de réalisations faciles à utiliser et facilitant beaucoup l'étude de ces notions."

Un troisième type de commentaire se rapporte plus exclusivement à la possibilité éventuelle de l'emploi de la séquence en classe, par exemple : "La séquence 2 va me permettre d'avoir des manipulations intéressantes avec les élèves" ou, pour la séquence 1 : "Exploitation possible très vaste".

Ces résultats manifestent, outre l'intérêt massif des stagiaires pour les séquences 1, 2, 3 et 5, la place relativement importante des commentaires portant sur les aspects conceptuels des séquences (colonnes 3 et 4 du tableau 11) et non sur la seule facilité d'exploitation (colonne 5 du tableau 11).

3.7. Réponses à la question 2 du Bilan général du stage

En proposant cette question (*Quelles notions d'optique élémentaire pourriez-vous citer comme fondamentales? Pour quelles raisons?*) nous souhaitions recueillir des jugements de notre public à propos du contenu conceptuel de la formation évaluée. En effet, les enseignants interrogés pouvaient soit ne citer que des notions autour desquelles ce stage a été construit, soit mentionner des concepts absents dans nos séquences (par exemple, la nature de la lumière) qui, à leur avis, auraient été plus importants. D'autre part, en demandant pour quelles raisons une notion était jugée fondamentale, nous cherchions à connaître les critères des professeurs.

Dans le tableau 12 nous avons rassemblé d'un côté les réponses directes des enseignants interrogés et, de l'autre, les fréquences des différents commentaires et justifications qui accompagnaient ces réponses. On y voit que les notions de *lumière invisible* et de *propagation rectiligne de la lumière* (notions-clés dans notre projet des Activités en Optique élémentaire) ont été plébiscitées par les stagiaires (90% chacune).

Notions fondamentales d'optique élémentaires	Réponses directes	Commentaires et justifications		
		...permettant de comprendre le reste du programme d'optique	peu évidentes insuffisamment enseignées	... pour les applications pratiques et la vie courante
La lumière est invisible	90%	35%	40%	50%
Propagation rectiligne de la lumière (dont : propagation isotrope)	90% (10%)	60% (10%)	15% (10%)	60% (-)
Composition de la lumière blanche et spectre des couleurs	35%	10%	15%	25%
Formation d'image par une lentille convergente	35%	15%	10%	25%
Au total (réponses et commentaires multiples)	100%	60%	40%	60%
		100%		

Tableau 12 - Réponses à la question 2 du Bilan général du stage (*Quelles notions d'optique élémentaire pourriez-vous citer comme fondamentales? Pour quelles raisons?*). Les pourcentages sont arrondis à 5% près, N=12.

Les deux autres notions citées (*composition de la lumière blanche et spectre des couleurs et formation d'image par une lentille convergente*) reflètent également l'impact du stage. La relation entre le spectre de la lumière et l'impression visuelle de la couleur, étudiée au cours de la séquence 1, a déjà été mentionnée par 90% des enseignants interrogés en réponse à la question 1 du Bilan général comme celle qui a apporté le plus d'informations.

La formation d'image par une lentille mince convergente (séquence 3) semble avoir acquis pour certains professeurs un statut de notion fondamentale, et ceci notamment grâce à la surprise créée par l'épisode où l'on demandait de prévoir ce qu'on verrait sur l'écran si l'on enlevait la lentille. Un enseignant a écrit dans sa réponse à la question 2 (après avoir énuméré les trois autres notions du tableau 12) : "*Un objet éclairé ne donne aucune image sur l'écran si on n'intercale pas de lentille entre cet objet et l'écran.*"

3.7.1. Justifications des réponses à la question 2 du Bilan général du stage

Dans la seconde partie de cette question, nous avons demandé aux stagiaires les raisons pour lesquelles une notion était considérée, selon eux, comme fondamentale. Cette question était ouverte, nous n'avons proposé aucun choix de réponses, même à titre d'exemple. Malgré cela tous les enseignants ont donné un, ou (pour 60% d'entre eux) plusieurs motifs de leur réponse. Les justifications recueillies peuvent être classées en trois catégories (Cf. tableau 12) non exclusives :

1. Dans la première, nous avons rassemblé des commentaires dans lesquels une notion est jugée fondamentale parce que sa maîtrise permet d'étudier et de comprendre le reste du programme. Par exemple, un professeur écrit à propos de *propagation rectiligne de la lumière* : "*On la retrouve pour toutes les séquences (ombre, images données par la lentille ou la chambre noire).*", ou un autre, à propos des notions de *lumière invisible et de propagation rectiligne* : "*L'étude des lentilles, de la chambre noire... ne peuvent pas se faire correctement si l'on ne les maîtrise pas.*", et encore un enseignant, à propos des mêmes notions : "*Ces notions permettent de comprendre et d'interpréter les autres notions.*"

2. Dans la deuxième catégorie, nous avons classé des commentaires où on affirme qu'une notion citée comme

fondamentale est peu évidente et insuffisamment (ou mal) enseignée. Par exemple, un professeur écrit à propos de *lumière invisible* : "Notion très importante car c'est le contraire qui semble évident et je pense qu'il faudra sans cesse y revenir.", un autre, à propos de la même notion : "Elle permet d'aller à l'encontre des 'rayons lumineux visualisés'", et encore un autre qui a cité toutes les notions du tableau 5 : "Les manuels n'insistent pas assez sur ces notions. Autant donner à des élèves novices en optique des notions simples même si elles ne sont pas évidentes, pour pouvoir approfondir sans malentendu."

3. Dans la troisième catégorie, on trouve des jugements qui soulignent le lien des notions considérées comme fondamentales avec les applications pratiques et avec les phénomènes observés dans la vie courante. Par exemple, un enseignant a écrit à propos de *lumière invisible* et de *propagation rectiligne* : "Elles permettent de comprendre les applications pratiques utilisées couramment (appareil photo...)", et un autre, qui a cité les quatre notions fondamentales du tableau 12, a donné comme une des raisons : "Permet d'expliquer les ombres, les couleurs dans la vie courante."

Les commentaires rassemblés dans le tableau 12 confirment l'intérêt des enseignants-stagiaires pour les aspects conceptuels des activités proposées. D'un côté, tous, sans exception, ont justifié leur réponse à la question 2 du *Bilan général du stage* en donnant souvent plusieurs raisons de leur choix de notion fondamentale. D'un autre côté, ces raisons sont centrées sur l'importance de ces notions dans la compréhension de l'optique, même dans les commentaires classés dans la colonne 5 du tableau 12, où cette compréhension concerne les applications pratiques.

3.8. Réponses à la question 3 du Bilan général du stage

Les réponses directes à la question 3 (*Ce stage a-t-il changé votre avis au sujet des notions fondamentales d'optique élémentaire?*) sont :

- "oui" (explicite) pour 70% des stagiaires et
- "oui" non-explicite pour le reste d'entre eux.

Voilà deux exemples de ce dernier type de réponses : "Pour moi il n'était pas 'évident' que la lumière était invisible." et "Avant, la construction des images me semblait plus importante."

En proposant cette question, nous n'avons pas expressément sollicité des réponses détaillées ni justifiées. Néanmoins, les enseignants interrogés ont presque tous (90%) accompagné leur réponse d'un commentaire.

Ainsi pour la moitié d'entre eux (50%), les activités présentées au cours du stage ont suscité une restructuration conceptuelle de l'optique élémentaire. Voilà quelques exemples de commentaires pouvant être classés dans cette catégorie :

** "Meilleure appréciation de ce qui est fondamental et de la façon de l'enseigner."*

** "Remise en question par certaines difficultés rencontrées par les élèves d'après sondage. Possibilité d'expérimentation dans toutes les séquences abordées."*

** "Ce stage m'a appris énormément, beaucoup de notions d'optique m'étaient étrangères ou ce qui est plus grave étaient fausses dans mon esprit."*

Les autres commentaires (35% des enseignants) témoignent que le stage a été l'occasion d'une extension (ou révision) de leurs connaissances en optique élémentaire. Les exemples des réponses classées dans cette catégorie sont les suivants :

** "Ce stage m'a donné envie de traiter cette partie du programme, alors qu'elle me paraissait difficile avec peu de matériel. Je pense avoir acquis des notions pratiques plus claires."*

** "Ce stage a permis de réactualiser des connaissances anciennes et d'avoir une impression plus sûre pour mon enseignement."*

** "Elles /les séquences 1, 2, 3 et 5/ ont permis de préciser un certain nombre de connaissances qui pour moi étaient un peu floues*

- problème des couleurs*
- lumière invisible*
- diffusion de la lumière."*

3.9. Réponses à la question 4 du Bilan général du stage

En proposant cette question (*Si vous étiez libre d'organiser le programme de votre enseignement d'optique, quelles séquences y mettriez-vous et dans quel ordre? Pourquoi?*) nous souhaitons d'abord recueillir des opinions des professeurs-stagiaires à propos de l'intérêt de nos séquences pour les

élèves. Cette partie de la question reprend, en le modifiant un peu, le contenu de la question 2 de la *Feuille d'évaluation* d'une séquence (*Avez-vous envie d'incorporer cette séquence dans votre travail avec les élèves?*). Les enseignants ont déjà répondu, après avoir terminé chacune des cinq séquences, à la question de la *Feuille d'évaluation*. Avec la question 4 du Bilan général, posée à la fin du stage, ils avaient l'occasion de rectifier, s'ils le souhaitaient, leurs réponses.

Les résultats, pour cet aspect de la question, montrent que l'acceptation des activités proposées au cours du stage, reste aussi massive à la fin que dans les évaluations "à chaud". Les séquences 1, 2, 3 et 5 sont citées par 100% des enseignants et la séquence 4 - par 60% d'entre eux, dans leurs intentions de les incorporer dans l'enseignement d'optique au collège.

Parmi les raisons de la reprise, toutes séquences confondues, les stagiaires soulignent :

* l'importance du contenu conceptuel (60%),

* l'aspect "amusant", "attrayant" et/ou "spectaculaire" de la séquence (50%),

* la possibilité de faire des démonstrations et de faire faire aux élèves des manipulations et des observations formatrices (40%).

L'autre partie de la question portait sur l'ordre dans lequel nous avons proposé nos cinq séquences. Nous attendions surtout le jugement des stagiaires à propos de la succession des séquences 2, 3 et 5 - décisive pour l'esprit de la formation proposée, les séquences 1 et 4 pouvant être déplacées sans dommage. Cette succession des séquences 2, 3 et 5 est incompatible avec les programmes officiels actuels, et bien que la question demande de ne pas en tenir compte (*Si vous étiez libre d'organiser le programme de votre enseignement d'optique...*), les professeurs interrogés ont souvent fait allusion à cette contrainte dans leurs commentaires (25% d'entre eux en parlent explicitement). Voilà l'essentiel de résultats pour cette partie de la question :

* Ordre de toutes les cinq séquences inchangé - 25% des enseignants.

Toutes les réponses classées dans cette catégorie sont accompagnées des commentaires généraux, par exemple :

"L'ordre des séquences me semble très intéressant pour les

élèves car il ne demande aucune connaissance d'optique et en particulier d'optique géométrique donc beaucoup d'intérêt pour les élèves, avec beaucoup de manipulations et d'observations très riches et ensuite relativement faciles d'exploitation."

* Ordre des séquences 3 et 5 remis en question - 40% des enseignants.

Ce type de réponses correspond aux deux cas particuliers :

1. On propose de placer la séquence 5 avant la séquence 3 pour des raisons liées au programme comme l'explique le commentaire suivant :

"Partant, avec les élèves, de manipulations simples et très concrètes, la progression pourrait arriver à des notions plus abstraites. L'étude des lentilles en 3^e permettrait un retour sur la chambre noire vue en 4^e."

On peut deviner qu'il s'agit ici de la chambre noire sans lentille. Au total 25% des enseignants proposent cet ordre sans pour autant préciser clairement quelle partie de la séquence 5 ils pensent reprendre dans leur travail avec les élèves.

2. On propose de placer la séquence 5 avant la séquence 3 en précisant qu'il s'agit de la chambre noire avec lentille comme dans l'exemple suivant :

*"1. Les couleurs. Parce que c'est 'spectaculaire', attrayant pour les élèves : Les élèves imaginent souvent qu'en classe tout est noir et blanc en optique.
2. Propagation rectiligne pour pouvoir utiliser cette notion fondamentale.
3. Chambre noire + lentille.
4. Lentille pour répondre aux questions posées par les observations précédentes du 3."*

* Ordre des séquences 3 et 5 explicitement défendu - 35% des enseignants (parmi ceux - 60% - qui proposent la séquence 3 avant la séquence 5 comme nous l'avons fait au cours du stage).

Voilà un extrait de ce type de réponse :

"Parce qu'il est plus facile de comprendre la chambre noire après avoir étudié la lentille."

* Place de la séquence 1 modifiée - 35% des enseignants.

Tous les enseignants qui ont proposé de déplacer la séquence 1 dans "leur programme d'optique" (le plus souvent vers la fin - 15%), ont laissé au début de la formation la séquence 2. Notons que les autres (ceux qui ont gardé la séquence 1 "en introduction") ont unanimement accepté la place de la séquence 2 tout de suite après. Voilà un exemple de commentaire justifiant la place de la séquence 1 à la fin de la formation :

"Séquence 2 pour commencer par des manipulations simples où tous les élèves ont les mêmes résultats ce qui permet de donner des résultats généraux et nécessaires pour la suite.

Séquence 3 - on se sert des résultats de la séquence 2 et c'est une séquence à la fois compliquée et attrayante.

Séquence 5 - Elle utilise les observations et informations des séquences précédentes.

Séquence 1 - Pour terminer avec une séquence demandant moins de manipulations pour les élèves mais permettant un travail collectif ou chacun peut s'exprimer."

* Place de la séquence 4 modifiée - 35% des enseignants, mais aucune justification. Une seule remarque commente la proposition de placer la séquence 4 à la fin de la formation :

"Votre répartition des séquences telle que vous l'avez conçue m'a convaincue en inversant seulement les deux dernières séquences."

* Séquence 4 abandonnée - 40% des enseignants.

La décision d'abandonner cette séquence n'a été commenté par aucun stagiaire. Notons qu'en réponse à la question de la *Feuille d'évaluation de la séquence 4* portant sur la reprise éventuelle de cette séquence avec les élèves, 65% des enseignants avaient manifesté leur envie de le faire, dont 40% en version réduite. Cette séquence avait été jugée "hors programme", "trop difficile pour les élèves et pour l'enseignant".

Cependant, malgré ce refus de la séquence 4, les stagiaires manifestent l'intérêt pour la notion de "lumière invisible". Ils choisissent d'attacher cette notion aux activités proposées dans la séquence 2 plutôt que d'analyser les conséquences de la "visualisation des faisceaux lumineux" présentées dans la séquence 4. Ainsi, un enseignant qui ne souhaitait pas reprendre la séquence 4, écrit :

"Ce stage a été très profitable : beaucoup des montages et expériences réalisées peuvent être reprises avec les

élèves. D'autre part, il a permis de mettre en évidence les notions essentielles : invisibilité de la lumière par exemple."

3.10. Conclusion du chapitre 3

Des résultats que l'on vient de citer se dégage une impression d'ensemble : les stagiaires manifestent un grand intérêt pour les activités qui leur ont été proposées, témoignent de l'apport considérable d'information qu'ils y ont trouvé et se portent volontaires pour en reprendre une grande partie à leur compte en tant qu'enseignants. Ceci se manifeste aussi bien par l'importance des taux de réponses positives à la question posée pour chaque séquence *Avez-vous envie d'incorporer cette séquence (entière ou une partie, laquelle?) dans votre travail avec les élèves?* que par les commentaires associés, et même par les justifications qui accompagnent une réponse à regret négative. De même, le *Bilan général* est l'occasion de nombreuses réponses multiples à la question : *Quelles séquences vous ont apporté le plus d'informations /.../?* ce qui confirme que les stagiaires ont, de ce point de vue, été satisfaits. Enfin, l'esprit qui préside à l'ordre proposé pour les séquences, inhabituel au regard des programmes actuels, a également reçu une approbation notable, comme on peut le voir dans les commentaires qui accompagnent les acceptations et certaines des propositions de modifications.

Sur ce fond d'approbation générale se dégagent des réserves : la séquence portant sur la visualisation de la lumière n'est proposée pour une utilisation en enseignement que par 60% des stagiaires (contre 100% pour toutes les autres), dans plusieurs séquences des épisodes sont jugés à ne pas reprendre (Cf. tableau 9) dont, notamment, les épisodes consacrés à la schématisation pour les lentilles. Enfin, l'ordre des séquences 3 et 5 est remis en question (40%), toujours pour une utilisation en enseignement.

Quels sont les critères qui ont amené nos stagiaires à ces jugements?

Manifestement, la raison principale de rejet ou d'élimination partielle réside dans la "difficulté" de la séquence ou de l'épisode concerné, avec l'évidente ambiguïté portant sur le point : difficile... pour qui?

L'aspect "surprenant" a, le plus souvent, été associé à l'idée d'épisode "réussi". Cette adhérence est parfois explicite au niveau individuel, quand un enseignant propose le même

épisode en réponse à ces deux questions. De même, au niveau global, on retrouve, pour certaines séquences (Cf. tableau 8), le même épisode classé à la fois avec un taux élevé dans la catégorie "le plus surprenant" et "le plus réussi". D'autre part, cette adhérence est manifeste dans les justifications, où les stagiaires invoquent les mêmes critères pour ces deux aspects, même s'ils les appliquent à des épisodes différents.

La tonalité générale des commentaires positifs est celle d'une satisfaction devant la densité conceptuelle des séquences, associée à une facilité de mise en oeuvre des manipulations pratiques. On aurait pu craindre une focalisation excessive sur le côté "petites manipulations pas chères" - tel n'est pas le cas. Un dernier point, probablement le plus significatif, souligne l'importance qu'a prise, pour les stagiaires, le contenu conceptuel proposé : les notions jugées, en fin de stage, comme les plus fondamentales, coïncident très largement avec celles qui ont fait la substance de notre stage. C'est en particulier le cas de "la lumière invisible", notion qui n'est pas actuellement explicitement au programme d'optique de quatrième (ni de première!). Remarquons que dans ces estimations de nos stagiaires, l'importance pratique de certaines notions, par exemple ce qui concerne les lentilles convergentes, n'a pas éclipsé, loin de là, le statut de concept fondamental attribué à des notions à priori banales concernant la lumière : propagation rectiligne, isotropie, "invisibilité".

Tout ceci suggère que ce type d'enseignement est susceptible d'associer manipulations et parcours conceptuel dans une imbrication suffisamment maîtrisée pour avoir été reconnue et approuvée. Les réserves déjà signalées, nous l'avons dit, portent pour l'essentiel, sur ce qui est jugé comme un excès de densité. Pour un enseignement sans mathématisation et centré sur des notions souvent considérées comme bien élémentaires, c'est un point à méditer.

CONCLUSION

Au terme de ce travail, nous pouvons ainsi en récapituler les étapes :

L'examen des nombreux résultats déjà publiés sur les idées communes des adolescents et des adultes en optique élémentaire, ainsi que le niveau actuel de l'introduction de cette matière en France, nous ont conduit à cibler notre recherche sur les notions qui sont tout à fait à la base de ce domaine conceptuel et sur un public d'élèves et d'enseignants de la classe de quatrième.

Plus précisément, nous nous sommes proposés de construire et de mettre partiellement à l'épreuve une maquette d'enseignement pour un contenu relativement important - environ 30 heures de travail en classe - constituant une progression organisée sur un "parcours conceptuel" couvrant les propriétés de la lumière, les principes de base de la vision - directe ou par diffusion - des objets, en particulier celle des écrans où l'on distingue formes (cas de la chambre noire) ou ombres, des images données par les lentilles simples convergentes, et enfin le principe de la formation de telles images. La formation d'images par les miroirs, sujet d'importantes difficultés mais hors des programmes actuels et non nécessaire pour assurer une cohérence dans l'introduction de notions mentionnées plus haut, ne figure pas dans cette liste d'objectifs conceptuels finalement retenus dans notre proposition.

Ce faisant nous cherchions à répondre au mieux à un ensemble important de contraintes.

Il s'agissait d'abord d'élaborer une liste d'étapes conceptuelles cohérentes à la fois du point de vue du fonctionnement d'un modèle, celui des rayons lumineux se propageant dans l'air de manière rectiligne et isotrope, et de la "logique des difficultés" propre aux personnes intervenant dans la relation d'enseignement-apprentissage : maîtres et élèves.

Nulle surprise, donc, que nous ayons été amenés à préciser aussi finement que possible la nature et la résistance à l'enseignement des écarts entre les idées de ces protagonistes et l'orthodoxie du modèle physique. Entreprise de façon plus ou moins formelle sur toutes les notions mentionnées ci-dessus, cette investigation n'est retraduite ici de manière

systematique, approfondie et quantitative que sur le thème de la chambre noire, dont nous avons détaillé les nombreuses difficultés, souvent largement sous-estimées dans la littérature d'enseignement comme de recherche. Nous avons pu constater combien celles-ci étaient partagées par les maîtres en formation et les élèves de quatrième. Sans rentrer ici dans les détails des apports cruciaux de cette phase, rappelons qu'il en est ressorti de manière extrêmement nette que la chambre noire serait à priori beaucoup mieux indiquée comme thème de synthèse que comme thème introductif à l'optique élémentaire.

Pour autant, les indications des difficultés à aborder ne suffisent pas à définir une séquence de contenus. La logique même du niveau de modélisation adopté n'est pas indifférente à la séquentialisation des concepts enseignés, laquelle ne doit d'ailleurs pas nécessairement non plus se calquer sur celle que l'on trouve dans les programmes actuels.

Ainsi, la diffusion de la lumière par un écran et son lien avec la vision de cet écran est-il à la fois communément l'objet d'incompréhension, un thème peu sinon pas enseigné, et une notion qui nous semble, dans la logique de la physique, à développer tout au début de l'enseignement. De même l'"invisibilité de profil" de la lumière, une difficulté commune, souvent renforcée par l'enseignement, nous suggère une action didactique spécifique qui s'inscrit logiquement dans notre "parcours conceptuel organisé" puisqu'on y utilise le fait que l'on ne "voit" l'information véhiculée par un pinceau lumineux que si celui-ci parvient effectivement dans l'oeil. En revanche, d'autres difficultés communes liées à la formation d'images dans un miroir, autre thème jugé souvent prioritaire, peuvent faire l'objet d'un enseignement plus tardif, venant même après celui des lentilles.

Autre contrainte à laquelle nous avons voulu soumettre notre proposition : mettre les élèves en situation active d'élaboration, certes extrêmement guidée, de leurs propres connaissances. L'activité suggérée est manipulatoire - d'où une spécification très précise de petits matériels à faible coût, mais surtout de prévision, explicitation de raisonnements, discussion des contradictions entre pairs, entre prévision et effets obtenus, exploitation pour une démarche de "schématisation expérimentale" des tracés de rayons, etc...

Enfin, nous avons voulu "boucler" un ensemble, pour vérifier que nos propositions didactiques étaient compatibles avec la réalité du temps et des moyens sur un menu suffisamment consistant pour être acceptable par la communauté enseignante actuelle.

Le lieu n'est pas, dans cette conclusion, de redétailler les choix auxquels nous ont conduit ces contraintes, leur description est faite en chapitre 2.

La validation de cette proposition s'est faite de façon partielle. En effet, c'est à travers l'expérience de plusieurs actions de formation des maîtres des collèges que nous sommes parvenus à la proposition présentée ici et c'est avec un tel public que nous l'avons expérimentée. Il ne faut donc pas chercher ici des informations qui restent complètement à découvrir : les résultats d'une expérimentation directe, sur des élèves de quatrième, d'un enseignement fondé sur tout ou partie de notre maquette.

Quels sont donc les éléments d'information recueillis ici? Essentiellement, ils concernent l'impact des activités de formation proposées sur les maîtres eux-mêmes. Leur intérêt réside dans deux aspects :

D'une part, la similitude que nous avons mise à jour entre difficultés des maîtres et des élèves laisse penser que les réactions d'intérêt, d'implication, de blocages éventuels, d'évolution conceptuelle, peuvent également présenter des ressemblances. Les réponses de nos stagiaires à certaines questions, comparées avantageusement à celles d'étudiants de licence (Annexe A), leurs commentaires dans l'enquête d'évaluation qui accompagne le dernier de nos stages, sont des indications nullement quelconques. Mais il faut rester extrêmement prudent pour généraliser l'optimisme qu'elles suscitent à ce qu'il adviendrait d'élèves de quatrième en situation scolaire. Nous n'avons en particulier pas d'indications sur la façon dont les élèves feraient leurs les questions qui se posent dans nos séquences, ni sur le caractère réellement "appropriatif" de leur mode d'apprentissage.

D'autre part, nous avons des indications sur l'adhésion de nos stagiaires aux propositions d'enseignement que nous leur avons faites après les avoir mis en oeuvre sur eux-mêmes. Les questions posées dans ce registre portaient sur l'éventualité d'une reprise de certains éléments de nos séquences s'adressant à des élèves de quatrième. On aurait tort de sous-estimer l'importance de cet aspect. Une opinion largement répandue, et probablement justifiée, est que l'introduction de la physique au collège en France s'est faite dans de bonnes conditions pour ce qui est de la réflexion à l'origine des programmes, mais dans de mauvaises, et largement déterminantes, conditions quant à la formation et à l'adhésion des maîtres. Il est donc utile de savoir ce qu'un échantillon de cette population, parmi les plus motivés (des volontaires pour la formation),

pense d'une proposition qui vise une population qu'ils connaissent bien : leurs élèves. Nous pensons avoir fourni ici des indications substantielles sur ce point. La sagesse est probablement de tenir le plus grand compte de ce que ces maîtres pensent à priori refuser parmi les suggestions qui leur sont faites (par exemple la prise de distance par rapport à la "lumière visualisée"). Sur le versant positif de leur opinion, le résultat que nous avons obtenu quant à la modification de leur échelle des valeurs en matière de caractère fondamental des notions nous semble, de ce point de vue, l'un des plus importants de ce travail. Que des idées trop souvent considérées comme évidentes, telles que la nécessité d'une lentille pour former une image, ou bien l'"invisibilité" de la lumière, deviennent sous la plume de certains des idées "fondamentales", que tant d'entre eux acceptent que la chambre noire devienne la conclusion d'un enseignement, autant d'indications à prendre sérieusement en compte dans une éventuelle redéfinition des programmes.

En terminant cette recherche, nous exprimons le souhait que sa suite logique se révèle possible : une expérimentation directe, auprès d'élèves de quatrième en situation de classe, par des maîtres relativement distants de l'origine de notre proposition (par exemple travaillant à partir de documents), pour être aussi à même que possible d'en faire apparaître les points positifs et les limites dans une mise en oeuvre réaliste.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] ALEKAN H., 1984, *Des lumières et des ombres*. Société parisienne d'Arts Graphiques, Le Sycomore, Paris.
- [2] ANDERSON B., KARRQVIST Ch., 1982, *Light and its properties*, EKNA Report N°8, Univ. of Göteborg MOLNDAL.
- [3] ANDERSON B., KARRQVIST Ch., 1983, How Swedish pupils, aged 12-15 years, understand light and its properties. *Eur. J. of Sc. Ed.* N°5(4), pp.387-402.
- [4] ASTOLFI J.P., DEVELAY M., 1989, *La didactique des sciences*, PUF (coll. Que sais-je?), Paris.
- [5] BACHELARD G., 1934, *Le nouvel esprit scientifique*, PUF, Paris.
- [6] BACHELARD G., 1938, *La formation de l'esprit scientifique*, Vrin, Paris, (1983).
- [7] BACHELARD G., 1949, *Le rationalisme appliqué*, PUF, Paris.
- [8] BELÉNDEZ A., PASCUAL I., ROSADO L., 1989, La enseñanza de los modelos sobre la naturaleza de la luz, *Enseñanza de las Ciencias*, N°7(3), pp.271-275.
- [9] BENSEGHIR A., 1989, *Transition électrostatique-électrocinétique: point de vue historique et analyse des difficultés des élèves*, Thèse Univ. Paris 7.
- [10] BIALKOWSKI G., 1980, *Stare i nowe drogi fizyki*, Wiedza Powszechna, Warszawa.
- [11] BLINOWSKA A., BLINOWSKI J., GORZKOWSKI W., 1977, *Fale, czastki, atomy: ksiazka pomocnicza dla uczniow i nauczycieli*, WSIP, Warszawa.
- [12] BOUWENS R.E.A., 1987, Misconceptions among pupils regarding geometrical optics. In J.Novak (ed), *Proc. of the Second International Conference on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Vol.III (Cornell Univ. Ithaca, New York), pp.23-28.
- [13] BROU P., SCIASCIA T., LINDEN L., LETTVIN J., 1986, La

- couleur des choses, *Pour la Science* N°109, pp.44-51.
- [14] CANAL J.L., 1990, Image, où es-tu? *BUP* N°720, pp.71-78.
- [15] CHAUVET F., 1990, *Lumière et vision vues par des étudiants d'Arts Appliqués*, Mémoire de Tutorat, DEA de Didactique, Univ. Paris 7.
- [16] CLOSSET J.L., 1983, *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*, Thèse de 3ème cycle, Univ. Paris 7.
- [17] DRIVER R., GUESNE E., TIBERGHIEU A.(ed) et al., 1985, *Children's Ideas in Science*. Open university Press.
- [18] FAWAZ A.A., 1985, *Image Optique et Vision, Etude exploratoire sur les difficultés des élèves de Première au Liban*, Thèse de 3ème cycle, Univ.Paris 7.
- [19] FAWAZ A.A., VIENNOT L., 1986, Image optique et vision, *BUP* N°686, pp.1125-1146.
- [20] FEHER E., RICE K., 1986, Shadow Shapes, *Science and Children*, N°24, pp.6-9.
- [21] FEHER E., RICE K., 1987, Pinholes and Images: Children's Conceptions of Light and Vision. I., *Science Education*, Vol.71, N°4, pp.629-640.
- [22] FEHER E., RICE K., 1987, A comparison of teacher and student conceptions in optics. In J.Novak (ed), *Proc. of the Second International Conference on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Vol.II (Cornell Univ. Ithaca, New York), pp.108-117.
- [23] FEHER E., RICE K., 1988, Shadows and anti-images: children's conceptions of light and vision. II., *Science Education*, Vol.72, pp.637-649.
- [24] FEHER E., 1990, Interactive museum exhibits as tools for learning: explorations with light, *Int. J. Sci. Educ.*, Vol.12, N°1, pp.35-49.
- [25] FEYNMAN R.P., LEIGHTON R.B., SANDS M., 1963, *The Feynman Lectures on Physics* (Feynmana wykłady z fizyki - trad. polonaise) PWN, Warszawa (1971).
- [26] FEYNMAN R., 1966, Qu'est-ce que la science?, (dans : *La nature de la physique*) Seuil (coll. Points Sciences), Paris, (1980).

- [27] FEYNMAN R., 1985, *Lumière et matière : une étrange histoire*, InterEditions, Paris, (1987)
- [28] GHIGLIONE R., MATALON B., 1978, *Enquêtes sociologiques, théorie et pratique*, Colin, Paris.
- [29] GIL PEREZ D., MARTINEZ TORREGROSA J., 1983, Problem Solving in Physics: a Critical Analysis, *Recherche en didactique de la physique : Les actes du premier atelier international, La Londe les Maures*, pp.289-296.
- [30] GILBERT, J.K., OSBORNE R.J., FENSHAM, P.J., 1982, Children's science acts consequences for teaching, *Science Education*, N°66(4), pp.623-633.
- [31] GIORDAN A., MARTINAND J.L. et al., 1983, *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*, Berne, Peter Lang.
- [32] GOLDBERG F.M., MCDERMOTT L.C., 1984, *Common sense knowledge versus formal physics knowledge in geometrical optics*, Univ. of Washington.
- [33] GOLDBERG F.M., MCDERMOTT L.C., 1986, Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror, *The Physics Teacher*, Vol.24 N°8, pp.472-480.
- [34] GOLDBERG F.M., MCDERMOTT L.C., 1987, An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror, *Am. J. Phys.*, Vol.55 N°2, pp.108-119.
- [35] GUESNE E., 1976, *Lumière et vision des objets, Un exemple de représentation des phénomènes physiques pré-existant à l'enseignement. Proc. of GIREP*, G.Delacôte (ed), Taylor and Francis, London.
- [36] GUESNE E., BARBOUX M., 1977, *Module photographie*, LIRESP, Univ. Paris 7.
- [37] GUESNE E., TIBERGHIE A., DELACOTE G., 1978, Méthodes et résultats concernant l'analyse des conceptions des élèves dans différents domaines de la physique. Deux exemples : les notions de chaleur et de lumière. *Revue Française de Pédagogie*, N°45, pp.25-32.
- [38] GUESNE E., 1981, Un modèle qualitatif : la formation des images par une lentille convergente, *BUP*, N°630, p.511.
- [39] GUESNE E., 1984, Children ideas about light, *New Trends in Physics Teaching*, Vol.IV, UNESCO, Paris, pp.179-192.

- [40] GUESNE E., 1985, *Contribution à la définition d'un enseignement sur la lumière et l'optique pour des enfants de 13-14 ans*, Univ. de Paris-Sud, Orsay.
- [41] INHELDER B., PIAGET J., 1955, *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent*, P.U.F., Paris (1970).
- [42] JAWORSKI B.M., PINSKI A.A., 1976, *Elementy fizyki* (trad. polonaise de l'orig. russe) PWN Warszawa.
- [43] JOUANISSON R., 1985, Une expérience pluridisciplinaire : polyèdres et synthèse additive des couleurs, *BUP*, N°676, pp.1351-1360.
- [44] JUNG W., 1981, Conceptual Frameworks in Elementary Optics. *Proc. of an international workshop Ludwigsburg - Goethe Univ. Frankfurt.*
- [45] JUNG W., 1987, Understanding Students' Understandings: The Case of Elementary Optics. In J.Novak (ed), *Proc. of the Second International Conference on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Vol.III (Cornell Univ. Ithaca, New York), pp.268-277.
- [46] KAMINSKI W., 1986, *Statut du schéma par rapport à la réalité physique, un exemple en optique*, Mémoire de Tutorat, DEA de Didactique, Univ. Paris 7.
- [47] KAMINSKI W., 1989, Conception des enfants (et des autres) sur la lumière, *BUP*, N°716, pp.973-996.
- [48] KAMINSKI W., VIENNOT L., 1989, Atelier d'optique élémentaire, *Enseñanza de las Ciencias*, N°Extra (III Congreso), Vol.2, pp.230-232.
- [49] LA ROSA C., MAYER M., PATRIZI P., VICENTINI-MISSONI M., 1984, Commonsense knowledge in optics : Preliminary results of an investigation into properties of light, *Eur. J. Sci. Educ.*, Vol.6, N°4, pp.387-397.
- [50] LEFEVRE R., 1988, *Contribution à l'étude des conceptions des étudiants de l'université sur le thème de l'optique*, Thèse Univ. Paris 7.
- [51] MAITTE B., 1981, *La lumière*, Seuil (Coll. Point Sciences).
- [52] MARTINAND J.L., 1985, Sur la caractérisation des objectifs de l'initiation aux sciences physiques, *ASTER*

- N°1, pp.141-154.
- [53] MARTINAND J.L., 1988, Quelques apports des recherches en didactique à l'enseignement des Sciences Physiques, *BUP*, N°706, pp.891-913.
- [54] MAURINES L., 1986, *Premières notions sur la propagation de signaux mécaniques: étude des difficultés des étudiants*, Thèse Univ. Paris 7.
- [55] MIGNE J., 1969, *Le concept de représentation et son rôle dans une pédagogie des connaissances scientifiques*, Institut National pour la Formation des Adultes (Equipe de Psycho-Pédagogie).
- [56] MIGNE J., 1969, Les obstacles épistémologiques et la formation des concepts, *Education permanente*, N°2, pp.41-65.
- [57] OLIVIERI G., TOROSANTUCCI G., VICENTINI M., 1988, Coloured shadows, *Int. J. Sci. Educ.*, Vol.10, N°5, pp.561-569.
- [58] PERALES PALACIOS F.J., NIEVAS CAZORLA F., CERVANTES A., 1989, Misconceptions on geometric optics and their association with relevant educational variables, *Int. J. Sci. Educ.*, Vol.11, N°3, pp.273-286.
- [59] PIAGET J., INHELDER B., 1941, *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*, Delachaux-Nestlé, Neufchatel.
- [60] POPHAM W.J., BAKER E.L., 1981, *Comment programmer une séquence pédagogique*, Bordas, Paris.
- [61] PROVOST J.P., PROVOST P. et al., 1980, *Optique à l'usage des étudiants des classes préparatoires et du 1er cycle des universités*, CEDIC/Fernand Nathan, Paris.
- [62] RONCHI V., 1966, *L'Optique science de la vision*, Masson et Cie, Paris.
- [63] ROZIER S., 1988, *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique élémentaire*, Thèse Univ. Paris 7.
- [64] SALTIEL E., 1978, *Concepts cinématiques et raisonnements naturels: étude de la compréhension des changements de référentiels galiléens par les étudiants en sciences*, Thèse Univ. Paris 7.

- [65] SALTIEL E., 1988, *Un exemple d'apport de la didactique de la physique à l'enseignement: les exercices qualitatifs et les raisonnements fonctionnels.* (sur demande au L.D.P.E.S. Univ. Paris 7).
- [66] SHAPIRO B. L., 1989, What Children Bring to Light : Giving High Status to Learners' Views and Actions in Science, *Science Education*, N°73(6), pp.711-733.
- [67] SINGH A., BUTLER P.H., 1990, Refraction: conceptions and knowledge structure, *Int. J. Sci. Educ.*, Vol.12, N°4, pp.429-442.
- [68] STEAD B.F., OSBORNE R.J., 1980, Exploring student's concepts of light, *Australian Science Teacher Journal*, N°26(3), pp.84-90.
- [69] TIBERGHIEEN A., 1975, *Les ombres*, CNDP, Centre Départemental de Documentation Pédagogique de La Rochelle.
- [70] TIBERGHIEEN A., DELACOTE G., GHIGLIONE R., MATALON B., 1980, Conception de la lumière chez l'enfant de 10-12 ans, *Revue Française de Pédagogie*, N°50, pp.24-41.
- [71] TIBERGHIEEN A., 1983, Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens de la notion de lumière chez les élèves de 10 à 16 ans, *Recherche en didactique de la physique : Les actes du premier atelier international*, La Londe les Maures, pp.125-136.
- [72] UTRILLA J.P., 1988, Que la lumière soit, et la couleur fut, *BUP*, N°703, pp.501-504.
- [73] VIENNOT L., 1977, *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*, Thèse Univ. Paris 7.
- [74] VIENNOT L., 1979, *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*, Hermann, Paris.
- [75] VIENNOT L., 1985, Analysing students' reasoning in science: a pragmatic view of theoretical problems, *Eur. J. Sci. Educ.* Vol.7, N°2, pp.151-162.
- [76] VIENNOT L., 1985, Analysing students' reasoning: tendencies in interpretation, *Am. J. Phys.*, Vol.53, N°5, pp.432-436.
- [77] VIENNOT L., 1989, L'enseignement des sciences physiques : objet de recherche, *BUP*, N°716, pp.899-910.

- [78] VIENNOT L., KAMINSKI W., 1990, Participation des maîtres aux difficultés des élèves, *Enseñanza de las Ciencias*, N°9(1), pp.3-9.
- [79] VIENNOT L., 1990, *Students' ideas and common experience: a direct link? Examples in geometrical optics*, (à paraître, sur demande au L.D.P.E.S. Univ. Paris 7)
- [80] VIENNOT L., 1991, Les raisonnements des étudiants en physique : pourquoi et comment les étudier ?, *Bulletin de la Société Française de Physique*, N°79, pp.13-15.
- [81] WALLON H., 1963, *Les origines de la pensée chez l'enfant*, PUF, Paris.
- [82] WATTS D.M., 1985, Student conceptions of light : a case study, *Physics Education*, Vol.20, N°4, pp.183-187.
- [83] ZEKI S., 1990, La construction des images par le cerveau, *La recherche* N°222, pp.712-721.
- [84] *CERVEAU (LE)*, Ouvrage collectif, 1982, Bibliothèque pour la Science, Pour la Science, Paris.
- [85] *PERCEPTION VISUELLE (LA)*, Ouvrage collectif, 1984, Bibliothèque pour la Science, Pour la Science, Paris.
- [86] SCIENCES PHYSIQUES classes des collèges : HORAIRES, OBJECTIFS, PROGRAMMES, INSTRUCTIONS, 1989, CNDP.

RESUME

Ce travail prend pour point de départ les études exploratoires sur les conceptions des élèves et des adultes en optique élémentaire. La première partie, centrée sur le thème de la chambre noire, présente une investigation des difficultés courantes, où il apparaît que les notions les plus fondamentales du domaine sont loin d'être évidentes, et suscitent des difficultés très semblables chez les élèves et les maîtres des classes de quatrième. A partir de ce résultat, l'auteur définit une liste d'objectifs conceptuels pour un enseignement qui forme un ensemble cohérent sur une durée d'une trentaine d'heures.

La spécification de cet enseignement est faite dans un second chapitre où sont précisés, sous la forme de cinq séquences, objectifs, interventions du maître, manipulations et questions posées, difficultés à prévoir et situations susceptibles d'enrichir la discussion avec les formés. L'activité de ceux-ci est constamment sollicitée, notamment par des exercices du type "prévision/confrontation avec l'expérience". La première séquence est consacrée à la composition de la lumière et la synthèse des couleurs, la deuxième - à la propagation rectiligne et isotrope de la lumière, la troisième - à la formation des images par lentilles minces convergentes, la quatrième - à l'analyse de ce qu'est une "lumière visualisée" et la dernière - à un thème présenté en tant que synthèse : la chambre noire.

La troisième partie fournit des éléments d'une double évaluation: d'une part celle des acquisitions conceptuelles des maîtres ayant eux-mêmes reçu l'enseignement décrit plus haut, d'autre part, celle du degré et des raisons de leur adhésion au projet d'en reprendre à leur compte des éléments vis à vis de leurs propres élèves. Les informations recueillies de ce double point de vue, notamment les importantes restructurations observées chez les stagiaires dans l'appréciation des difficultés du domaine, fournissent des éléments précis en vue d'une expérimentation directe sur les élèves.

MOTS CLES

DIDACTIQUE
ENSEIGNEMENT
PHYSIQUE
OPTIQUE
CONCEPTIONS
EVALUATION
ACTIVITES EXPERIMENTALES
COLLEGE

Wanda KAMINSKI

OPTIQUE ELEMENTAIRE EN CLASSE DE
QUATRIEME :
RAISONS ET IMPACT SUR LES MAITRES
D'UNE MAQUETTE D'ENSEIGNEMENT

ANNEXE A - [47] KAMINSKI W., 1989, Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière, *BUP*, N°716, pp.973-996

ANNEXE B - [15] CHAUVET F., 1990, *Lumière et vision vues par des étudiants d'Arts Appliqués*, Mémoire de Tutorat, DEA de Didactique, Univ. Paris 7.

ANNEXE C - Extrait de [85] : SCIENCES PHYSIQUES classes des collèges : HORAIRES, OBJECTIFS, PROGRAMMES, INSTRUCTIONS, 1989, CNDP.



CONCEPTIONS DES ENFANTS (et des autres) SUR LA LUMIERE

INTRODUCTION

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

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

Malgré l'apparente simplicité de ce modèle, des difficultés surgissent à son propos. Dans cet article, nous essaierons de montrer quand et pourquoi.

Nous parlerons tout d'abord des difficultés des élèves, et de celles des professeurs ensuite.

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

I. LES ELEVES D'ABORD

1. Difficulté en quoi?

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

Au collège, la lumière est produite par les sources telles que le soleil ou la flamme d'une bougie, et l'on étudie des phénomènes liés à sa propagation à travers différents dispositifs optiques : petit trou (chapitre de la chambre noire), réseau (spectre), lentille (appareil photo), etc.

En revanche, sur tout ce qui se passe entre la lampe et le petit trou, entre le petit trou et le fond de la chambre noire, entre l'objet ou l'image regardée et l'oeil, l'enseignement actuel n'apporte quasiment rien. Dans la plupart des expériences proposées, les élèves ne voient rien, même si dans le manuel ou au tableau ils trouvent des lignes qui traversent cet espace, et qui lient les différents éléments du montage. On leur dit que ces lignes représentent la lumière qui se propage en ligne droite, et qu'il faut mettre une flèche dans le bon sens, mais ce n'est qu'une affirmation purement verbale - manquent les activités de formation, et les preuves expérimentales quant à l'existence de la lumière là où l'on ne voit rien. De plus, la lumière "visible" des phares marins, ou des "rayons laser" n'arrange pas vraiment les choses, parce que, justement, elle est visible, et les systèmes qui permettent son observation n'ont rien à voir avec des montages où elle ne l'est pas, et que les élèves étudient en classe.

Depuis une dizaine d'années, les recherches sur les conceptions des enfants (entre 10 et 14 ans (1) et (2)) à propos de la lumière montrent que l'existence de la lumière dans l'espace entre la source et l'objet éclairé, la propagation rectiligne de la lumière, le rôle de la lumière dans l'interprétation de la vision, ne sont pas acquis à cet âge - au contraire, les enfants "expliquent" les différents phénomènes optiques liés à la vie courante sans mettre en jeu ces notions.

2. Quelques exemples

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

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

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

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

Environ un tiers des élèves fait correctement appel à la notion de trajet rectiligne de la lumière, pour prévoir la grandeur de l'ombre du bâton (figure 1) ou pour prévoir la position de la tache lumineuse sur un écran, placé derrière un carton percé d'un trou plus haut que l'ampoule (figure 2). Un certain nombre d'élèves a aussi l'idée de ligne droite,

mais en la restreignant à la direction horizontale: ils prévoient, alors, que l'écran de la figure 2 ne recevra pas de lumière, car le trou n'est pas "en face" de la lampe (c'est-à-dire sur une même ligne horizontale). Au total, l'idée de ligne droite est ainsi présente chez la moitié des enfants de 13 - 14 ans.

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

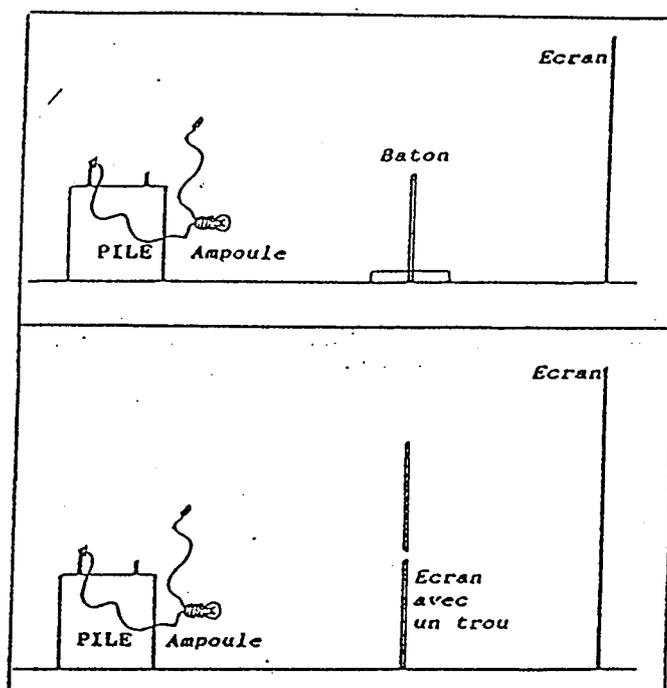
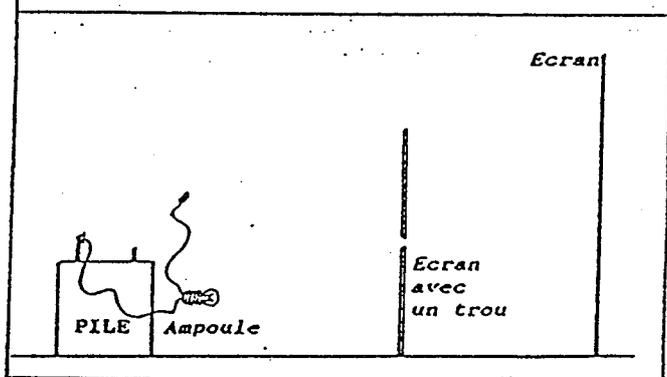


Figure 2 - L'écran, recevra-t-il de la lumière (l'ampoule est débranchée au moment de prévision)? Si oui - où? Dans les deux cas - pourquoi?



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

3. Et alors?

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

Une étude récente (1988 - 1989), effectuée par l'auteur à l'occasion des stages de formation des professeurs de collège ("Optique élémentaire - notions fondamentales" à la Formation des Maîtres à l'Université Paris 7), apporte certaines précisions au sujet de la persistance des difficultés attachées à l'interprétation de la vision et à la propagation rectiligne de la lumière.

II. LES PROFESSEURS

1. Enquête

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

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

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

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

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

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

2.1. Description

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

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

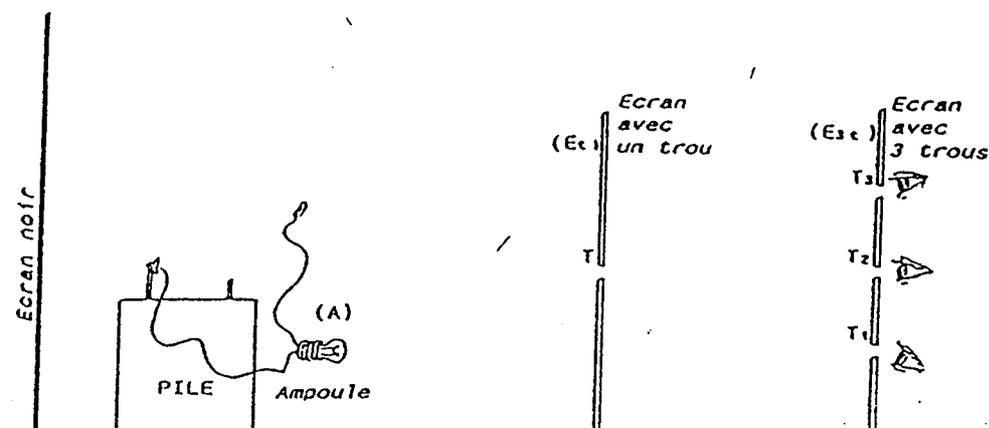


Figure 3 - Que voit-on par chacun des trous T_1 , T_2 et T_3 en regardant à travers le petit trou T ?

2.2. La réponse correcte et les réponses recueillies

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

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

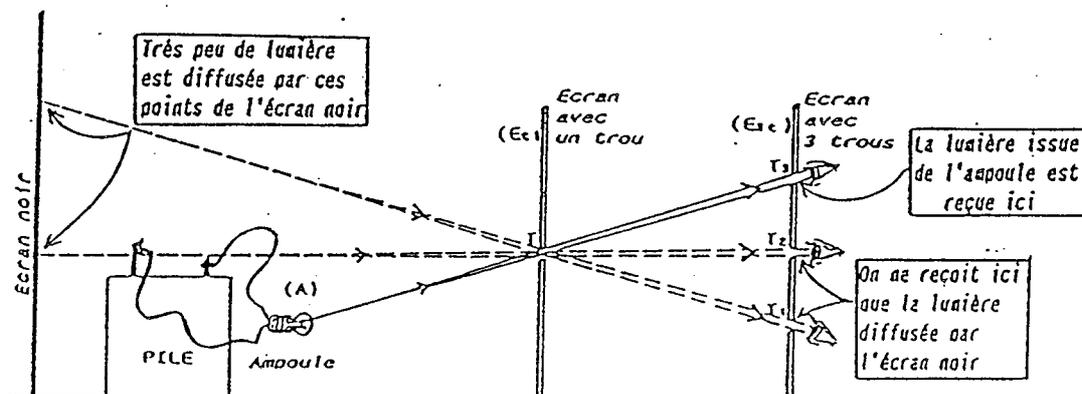


Figure 4 - Schéma pour expliquer la prévision correcte.

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

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

TYPE DE SCHEMA TRACE *	ON VOIT PAR T3	ON VOIT PAR T1 et/ou T2
Type A 	lampe ou source lumineuse - 15% <input type="checkbox"/>	trou noir - 10% <input type="checkbox"/>
	tache lumineuse ou lumière - 25% <input type="checkbox"/>	rien - 15% <input type="checkbox"/>
	sans commentaire 10% <input type="checkbox"/>	sans commentaire 25% <input type="checkbox"/>
Type B 	lampe ou source lumineuse - 10% <input type="checkbox"/>	trou lumineux 25% <input type="checkbox"/>
	sans commentaire 15% <input type="checkbox"/>	
Type C 	lumière ou tache lumineuse 25% <input type="checkbox"/>	trou lumineux ou lumière 25% <input type="checkbox"/>

*Aucun des enseignants n'a pensé à dessiner l'ampoule branchée...

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

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

2.3. Interprétation des réponses

Pendant la discussion qui a suivi la vérification - tout le monde avait allumé l'ampoule et regardé par les trous - certains professeurs ont dit qu'ayant cru connaître la réponse (trous T_1 et T_2 lumineux) ils n'avaient pas raisonné en

termes d'objets matériels renvoyant (ou non, si c'est un écran noir) la lumière vers l'observateur, ou plus précisément, qu'ils n'avaient "pas raisonné du tout".

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

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

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

"J'ai pensé que ce faisceau lumineux, en traversant le trou T, allait perturber quand même ce que j'avais vu avant par les trous T₁ et T₂." /Prof. Paris/.

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

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

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

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

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

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

3. Comment interpréter la lumière visualisée selon un modèle "du physicien"?

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

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

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

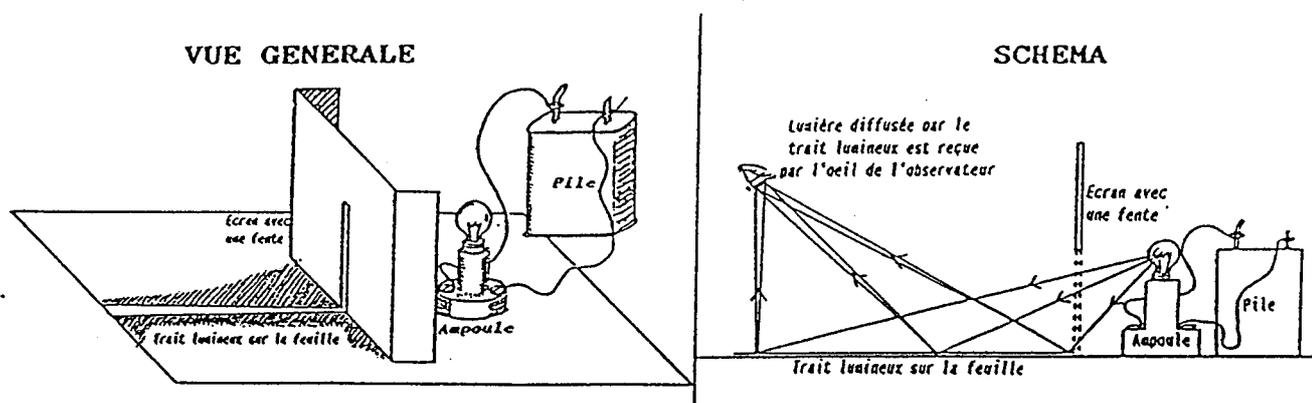


Figure 5 - Comment interpréter la lumière visualisée

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

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

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

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

4. Interprétation courante d'un trait lumineux

La question suivante permet maintenant de voir comment "la lumière visualisée" est interprétée par les étudiants en Licence (après un enseignement "classique" de l'optique) et par les professeurs de collège en fin de stage d'optique (qui servait de cadre à notre enquête initiale - voir § II. 1.)

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

Question 2 : Que voit-on dans le miroir ?

4.1. Description

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

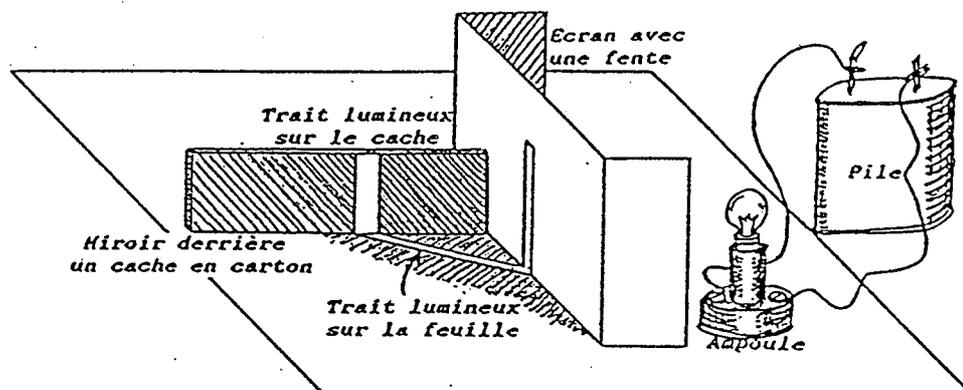


Figure 6 - Montage, ampoule allumée, servant à donner la prévision : que voit-on si le cache n'est plus sur le miroir ?

4.2. L'analyse "du physicien" et la prévision correcte

La prévision correcte suppose une bonne compréhension du statut des deux traits lumineux. En effet, il est impossible d'y parvenir tant que l'on identifie le trait sur la feuille à la trace laissée par le faisceau incident "glissant" le long de ce trait: la lumière qui fait briller un point donné sur la feuille, n'est pas celle qui continue la marche dans la direction indiquée par le trait. Elle est diffusée dans toutes les directions : vers les yeux de l'observateur comme vers le miroir. Chaque point éclairé de la feuille constitue un objet lumineux qui aura son image de l'autre côté du miroir.

De plus, le trait lumineux vertical sur le cache porte l'information que la lumière, issue de l'ampoule et après être passé par la fente, arrive directement sur le miroir (quand le cache n'est plus là). Si l'ampoule est placée suffisamment haut, cette lumière, après réflexion, "tombe" sur la feuille qui la diffuse dans toutes les directions (vers les yeux de l'observateur aussi) formant ainsi, point

par point, un trait lumineux "réfléchi". Le plan de la réflexion n'est donc pas, et pour aucun de ces points brillants, celui de la feuille.

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

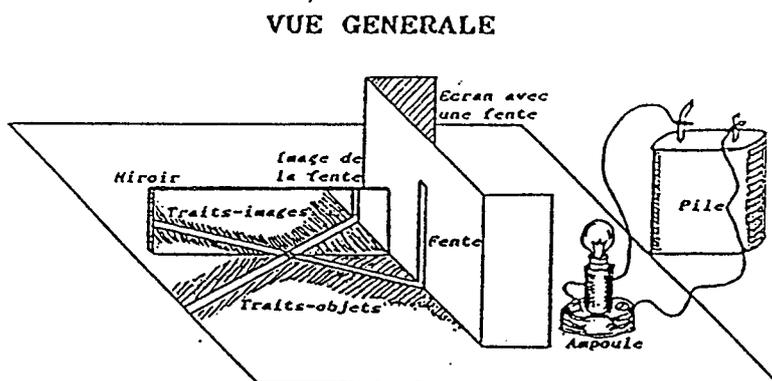


Figure 7 - Comment interpréter les traits lumineux sur la feuille et leurs images vues dans le miroir - illustration de la réponse correcte.

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

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

On pourra la voir noire pour les mêmes raisons que celles qui font voir le trou noir dans l'expérience de la question 1 (cf § 2.2.)

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

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

- le premier "matérialisait" le faisceau incident, comme si la lumière laissait une trace en passant par-là, et n'était donc pas envisagé en tant qu'objet lumineux;
- l'autre était considéré parfois comme "l'image" de la

fente (35% des étudiants en Licence à Paris 7, 15% des enseignants en fin du stage).

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

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

- interprétation du trait sur la feuille, comme un rayon et non l'objet diffusant la lumière;
- localisation de l'image de la fente sur la surface du miroir.

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

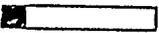
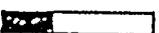
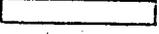
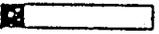
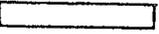
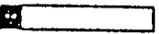
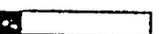
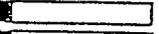
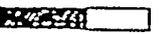
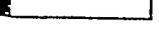
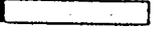
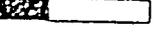
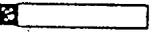
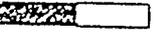
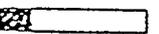
SANS LE CACHE ON VOIT :	Etudiants en Licence	Professeurs en fin du stage
Devant le miroir un trait "réfléchi"	 80%	 60%
De l'autre côté du miroir:		
-image du trait "incident"	 15%	 35%
-image du trait "réfléchi"	 0%	 15%
dont: "la croix" et l'image de la fente bien placée	 0%	 5%
Autre ou sans réponse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

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

* Le trait "réfléchi"

Un élément de la prévision, apparemment facile, porte sur le trait "réfléchi" devant le miroir. Cette prévision est souvent accompagnée de la citation de la loi de Descartes pour la réflexion. Les professeurs, interrogés oralement, ont

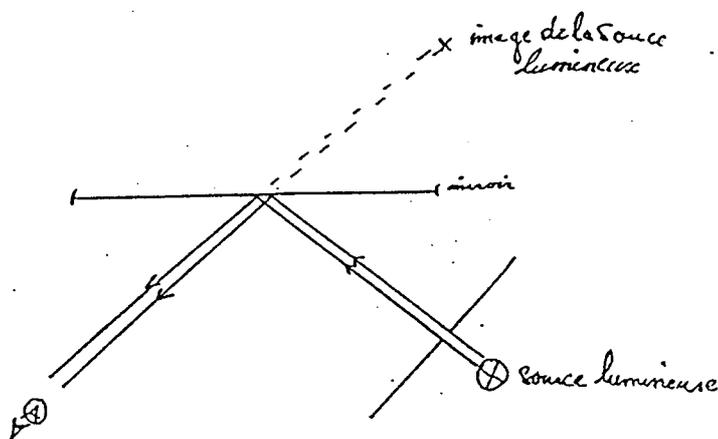
identifié la situation expérimentale présentée à la démonstration classique de cette loi : les deux rayons, incident et réfléchi, visualisés, on mesure l'angle incident et l'angle réfléchi - ils sont égaux et dans le même plan, mais quel plan?*

* L'image formée par le miroir

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

"Sur la feuille on obtient 2 pinceaux lumineux.

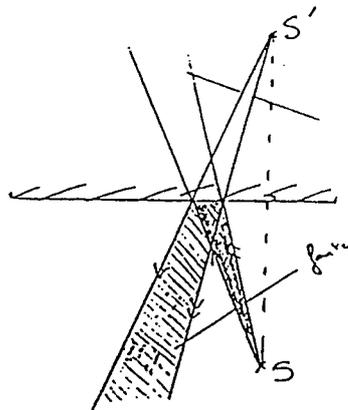
Sur le miroir. En se plaçant au point A on va voir l'image d'une source lumineuse en forme de fente.
/Prof. Créteil/



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

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

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



* Le plan de la réflexion n'est pas celui de la feuille (voir § 4.2.).

** C'est nous qui soulignons.

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

Les résultats ci-dessus montrent :

- qu'il ne suffit pas de connaître les notions de base de l'optique, ni même de les enseigner, pour pouvoir affronter ces questions ;

- qu'il ne suffit pas davantage de bien citer les lois de Descartes pour prévoir ce que l'on verra dans le miroir plan;

- que le statut de la lumière "invisible" par rapport à la lumière "visualisée", et celui des traits sur les schémas explicatifs, leur articulation et leur rôle dans l'interprétation de la vision, ainsi que le peu de place qu'ils occupent dans l'enseignement actuel, sont les principaux points sensibles à l'origine des difficultés des étudiants et des enseignants devant ce genre de problèmes.

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

5. Le rôle de la lentille

5.1. Présentation

Nous allons aborder maintenant quelque chose qui est "vraiment" enseigné : la formation de l'image réelle par une lentille mince convergente, et montrer qu'on se heurte à des difficultés de même nature.

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

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

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

objet-image formé par une lentille mince convergente (comme sur la figure 8).

AB : objet lumineux
 (L) : lentille convergente
 (L) donne de AB une image A'B' sur l'écran (E).
 On enlève (L). Que se passe-t-il sur l'écran ?
 Justifiez votre réponse.

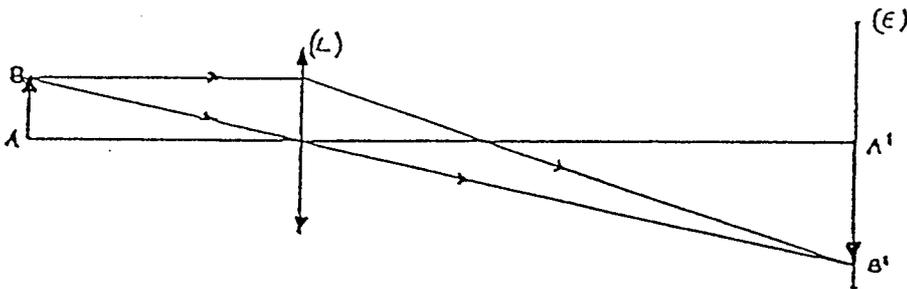


Figure 8 - Schéma, présenté en version papier-crayon, de la question à propos de la lentille enlevée.

5.2. Réponse correcte

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

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

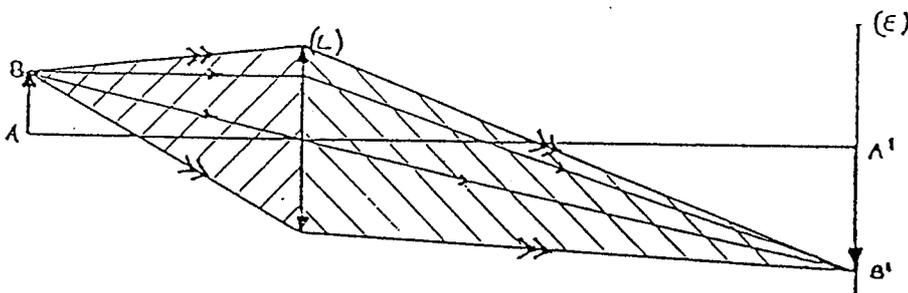


Figure 9 - Schéma interprétant la formation de l'image B' du point B (cf le texte)

* ici : rayons faciles à dessiner.

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

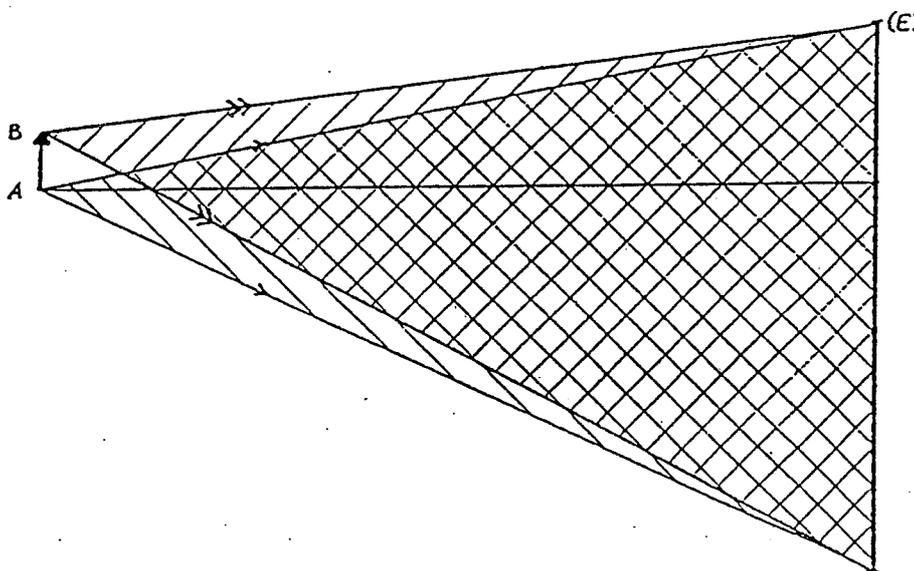


Figure 10 - Illustration de la réponse correcte - l'écran est éclairé faiblement et presque uniformément

5.3. Réponses recueillies

Devant un montage ou devant un schéma, les résultats sont pratiquement les mêmes : plus de 40% des personnes interrogées (mais "seulement" 20% des professeurs en fin du stage) pensent avoir une image sur l'écran sans la lentille. Elles sont entre 15% (en fin du stage) et 40% (Elèves de TC + TD) à utiliser le mot IMAGE, les autres parlent de la "projection" : "A'B' a la même grandeur que AB. On projette donc simplement AB sur l'écran." /Elève du Lycée Fresnel - B.T.S./, ou plus rarement d'une "tache lumineuse (forme de la flamme de la bougie) non renversée" /Prof. Paris - en fin du stage/.

Or, image, projection ou tache, on retrouve le même schéma (figure 11) que les personnes interrogées tracent pour jus-

tifier ces réponses (4, 6).

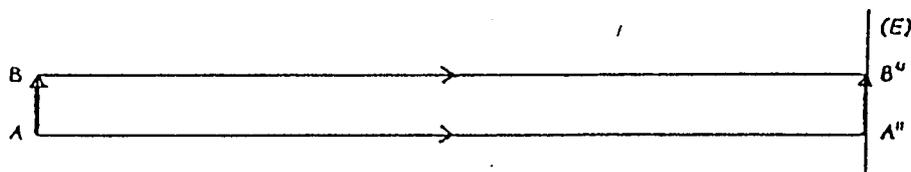


Figure 11 - Schéma justifiant la réponse : "on voit l'image (projection, tache) de même taille que l'objet, non renversée".

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

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

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

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

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

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

Et pourtant, les personnes interrogées, (les étudiants au Liban, en B.T.S. en France, et les enseignants), savent dans leur grande majorité résoudre des problèmes relativement complexes d'optique géométrique : enchaînement de lentilles,

correction des anomalies de l'oeil, etc. L'apprentissage des techniques de schématisation (avec l'importance exagérée de la construction aux dépens de l'interprétation) ou de calcul, censé entraîner avec lui la compréhension de notions fondamentales de l'optique, ne donne guère de résultats sur ce plan sans un travail explicitement consacré à ces notions.

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

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

D'autres recherches (4, 5 et 6) font apparaître notamment :

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

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

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

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

6. CONCLUSION

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

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

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

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

- Elles permettent une mise à l'épreuve des éléments de base du modèle, ici : la lumière est invisible "de profil", elle doit parvenir dans l'oeil pour y produire une impression, elle se propage en ligne droite entre les deux éléments successifs de la chaîne optique (éléments matériels + oeil).
- Elles suscitent une analyse qualitative et rigoureuse compte tenu des éléments de base du modèle introduit précédemment, pour des situations simples à réaliser matériellement, mais riches de contenu conceptuel (par exemple "la croix" - cf § 4.2.). Les montages prévus à cet effet sont élaborés avec un souci principal de "transparence conceptuelle". De ce fait, elles amènent à mettre en évidence des difficultés réelles et à les confronter à une authentique démarche de mise en cohérence des faits observés et d'énoncés bien spécifiés.

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

W. KAMINSKI

L.D.P.E.S.

Université Paris 7

REFERENCES

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

ANNEXE

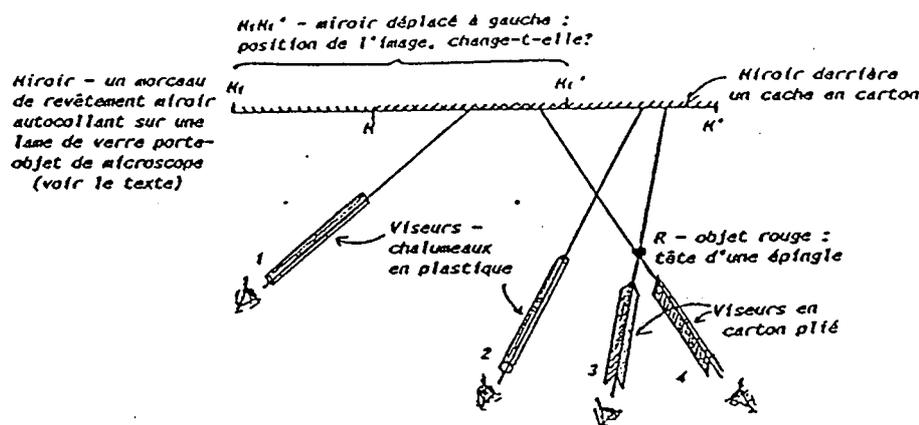
QUELQUES ACTIVITES DE FORMATION EN OPTIQUE ELEMENTAIRESérie I : Où se trouve l'image formée par un miroir plan?

Figure 1A - Quel viseur choisir pour voir l'image de l'objet R dans le miroir MM' ? (Et dans le miroir M₁M₁'?)

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

- * la position de l'image dépend de la position de l'observateur (plusieurs viseurs seraient possibles);
- * l'image se trouve sur la surface du miroir (en face de l'objet de préférence);

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

Déroulement proposé (après les prévisions) :

1. Enlever le cache de la surface du miroir* et regarder à travers tous les viseurs (ne pas oublier de déplacer le miroir à gauche - position M₁M₁', et d'y regarder encore).
2. Trouver et tracer d'autres "bonnes" directions de visée.

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

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

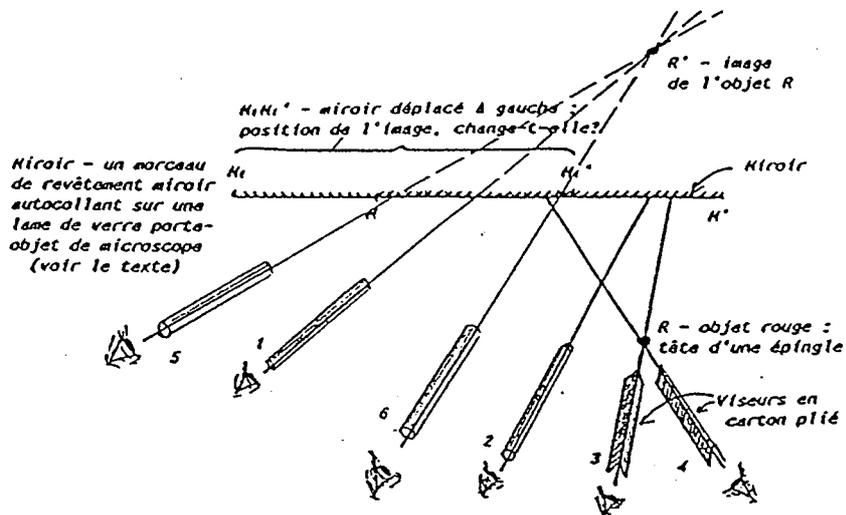


Figure 2A - On verra l'image R' de l'objet R par les viseurs : 1, 5, 6 et beaucoup d'autres (non dessinés ici).

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

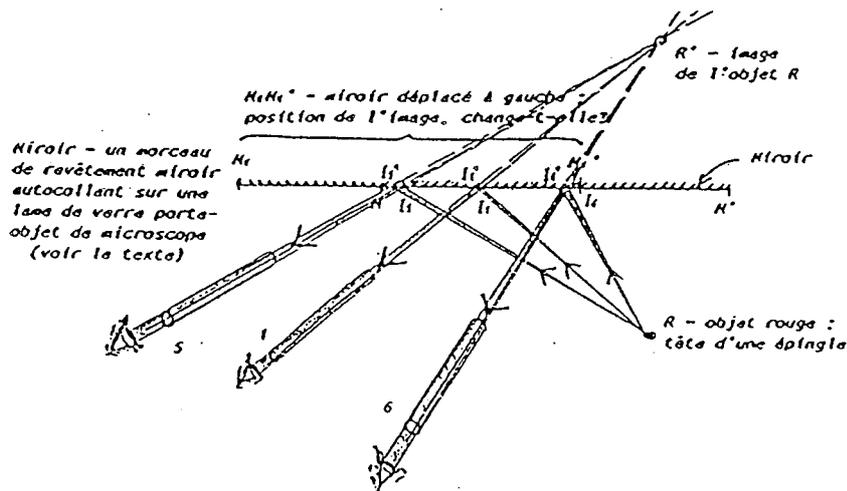


Figure 3A - Schéma d'interprétation : la lumière qui semble arriver de l'image R' , vient en réalité de l'objet R .

Elle ne peut donc venir que de l'objet, cependant l'obser-

vateur voit l'image de R comme si le pinceau reçu divergeait du point R'.

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

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

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

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

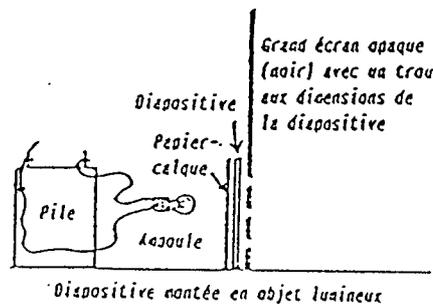
On propose également une manière de tracer un "schéma expérimental" qui apporte un contrepois au schéma de construction traditionnel (cf figures 5A, 6A et 7A ci-dessous).

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

Matériel :

* une feuille blanche - base du montage;

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



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

* une lentille convergente - une petite loupe ou une autre lentille de courte focale (avec un cadre permettant de la poser verticalement sur la feuille);

* un "écran de vérification" en feuille transparente sur laquelle on a tracé un ou deux traits verticaux et une feuille blanche (écran diffusant pour regarder l'image de l'objet lumineux);

* des épingles pour la visée, une règle et un crayon pour

tracer le schéma.

Le montage est présenté sur la figure 4A ci-dessous :

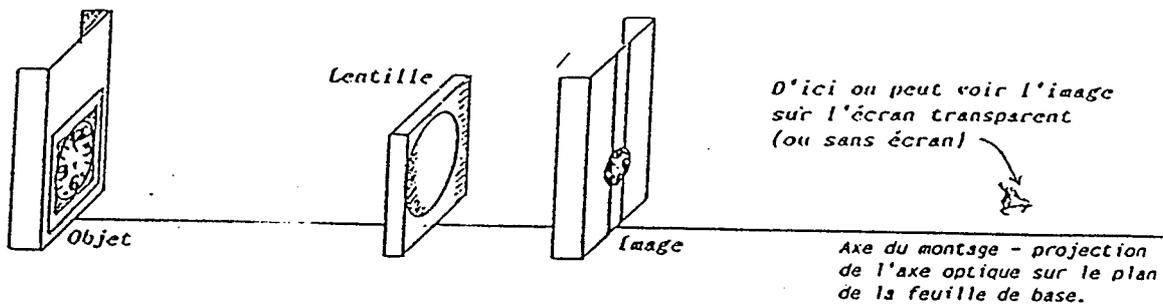


Figure 4A - On peut voir une image réelle sans écran

Déroulement proposé :

1. Commencer avec un objet lumineux : trouver son image sur l'écran (avec la feuille blanche). Enlever un à un les différents éléments du montage en examinant l'écran (ne pas oublier d'enlever aussi l'écran en regardant dans la direction de la lentille - voit-on l'image? Où?)
2. Dessiner sur la feuille de base l'axe du montage ainsi que les positions de l'objet, de la lentille et de l'image; projeter un point particulier P_{ob} de l'objet et son image P_{im} sur la base, repérer le diamètre de la lentille (si un autre point P_{axe} de l'objet se trouve au-dessus /à la verticale/ de l'axe, alors son image P'_{axe} doit s'y trouver également - sinon, le centre de la lentille n'est pas placé au-dessus de l'axe, ce qui est obligatoire).
3. Enlever tout de la base et faire un "schéma d'interprétation" (comme sur la figure 5A). Replacer tout (sauf écran) sur le schéma.

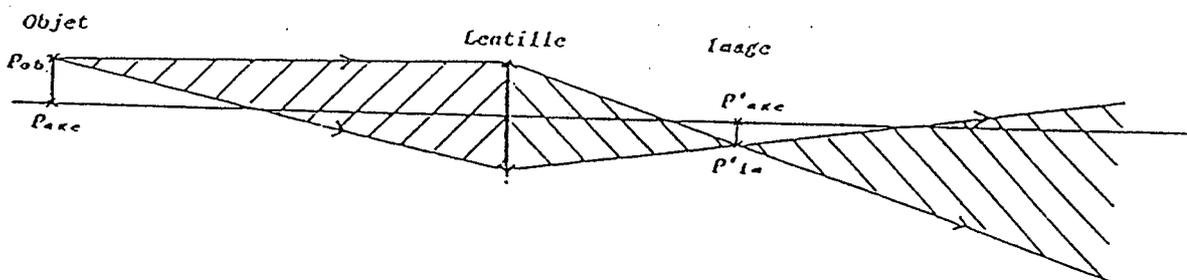


Figure 5A - Schéma "expérimental" du couple objet-image

4. Trouver (en alignant des épingles par exemple) les "directions de visée" pour voir l'image sans écran (à partir

d'une position de l'oeil choisie arbitrairement - tracer un schéma expérimental comme sur la figure 6A).

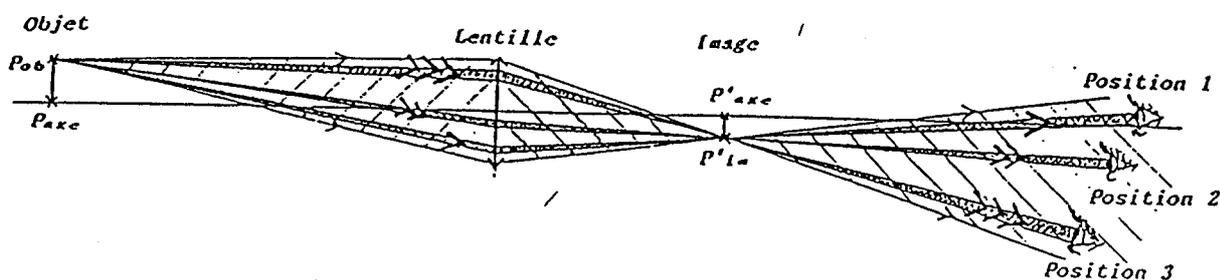


Figure 6A - Pour voir l'image $P'im$ l'observateur n'a besoin que d'une petite surface de la lentille.

5. Prendre un objet ordinaire et l'écran transparent, les placer sur le schéma. Pour vérifier si l'image se trouve sur l'écran, bouger un peu la tête : on verra l'image bouger avec les traits dessinés sur l'écran (si l'image n'était pas sur l'écran, alors, grâce à la parallaxe, on verrait les traits se déplacer par rapport à l'image).
6. Refaire le 4.
7. Fixer sur la surface de la lentille des caches suivants : un diaphragme, pour couvrir les bords de la lentille, un rectangle sur une moitié, une pastille sur le centre, etc. Observer l'image sans et avec l'écran blanc.
8. Trouver des positions de l'oeil permettant l'observation d'un point-image donné malgré les caches : pour le point $P'im$ la position 1 de la figure 6A convient si le cache est placé sur le centre ou sur la moitié supérieure de la lentille, mais si l'on diaphragme la lentille, il faut déplacer l'oeil à la position 2 pour voir cette image, etc.
9. Vérifier que l'on peut voir l'image entière malgré les caches : les deux pinceaux de la figure 7A, issus de P_{ob} et P_{axe} , peuvent traverser le même endroit de la lentille avant de former les deux images ($P'im$ et $P'axe$), et d'arriver dans l'oeil de l'observateur. Même si tout le reste de la lentille était caché, cet observateur, en déplaçant son oeil entre les deux positions indiquées, pourrait voir l'image de tous les points de l'objet compris entre P_{axe} et P_{ob} .

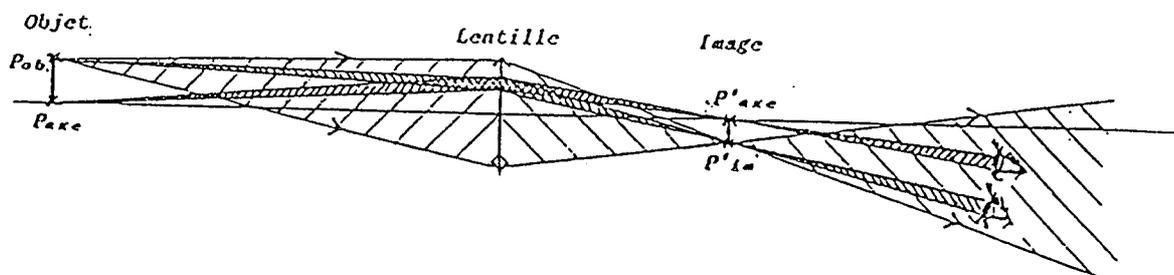


Figure 7A - Chaque portion de la lentille forme toute image

Annexe B

Françoise CHAUVET

D.E.A. de Didactique
des Disciplines
Option Sciences Physiques.

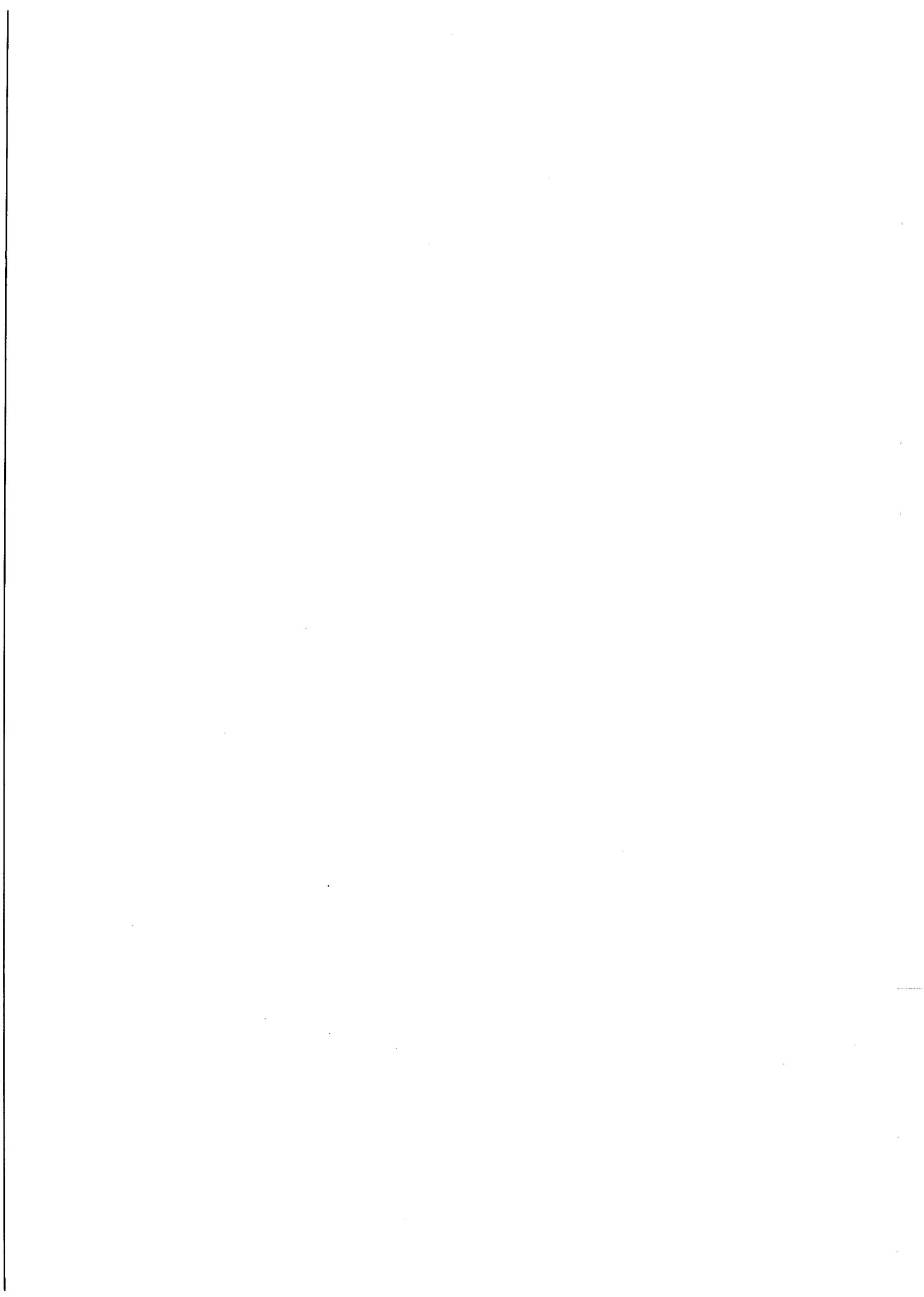
Université PARIS VII
U.E.R. de Didactique
Tour 55-56 - 1er étage
4 - 6 place Jussieu
75005 PARIS

1989 - 1990

Mémoire de TUTORAT
LUMIERE et VISION

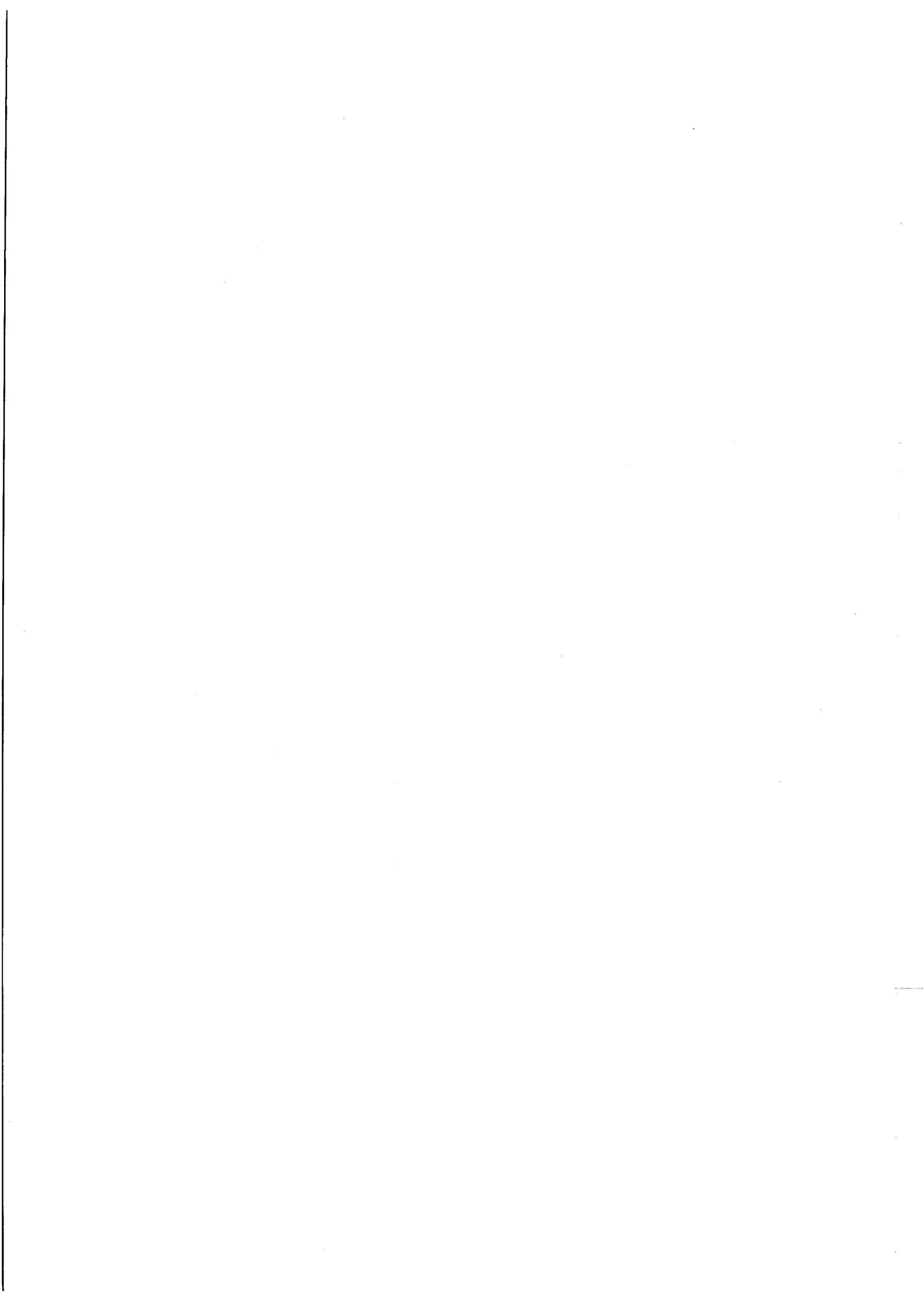
VUES
par des étudiants
d'ARTS APPLIQUÉS

Tuteur : Wanda KAMINSKI
LDPES



PLAN

INTRODUCTION	1
METHODOLOGIE	3
1 Situation de production	
2 Corpus	
3 Analyse	
4 Champ conceptuel de référence	
PROPAGATION RECTILIGNE ET VISION	6
1 La lumière se propage-t-elle en ligne droite ?	
a situation expérimentale	
b étude des schémas produits par les étudiants	
c que voit-on lorsqu'un écran reçoit de la lumière et la diffuse ?	
2 Conception sur la lumière et la vision	
a conceptions sur la lumière	
b quelles conceptions sur la vision ?	
c quelques pistes	
OU SE TROUVE L'IMAGE FORMEE PAR UN MIROIR PLAN ?	24
1 Situation de production	
2 Résultats	
3 Analyse des réponses	
a où se trouve l'image ?	
b qu'est ce que l'image ?	
4 Discussion	
CONCLUSION	33
Références bibliographiques	35



METHODOLOGIE

Pour faire émerger les représentations des étudiants, faire construire un modèle de la lumière, l'enrichir au fur et à mesure et le faire fonctionner, des situations ont été construites pour l'enseignement, soit reproduisant des situations concrètes proches du vécu professionnel des étudiants, soit plus éloignées, mais susceptibles d'induire des déséquilibres conceptuels favorables à toute nouvelle construction.

De plus, les expériences proposées ont motivé les étudiants, pourtant dégoûtés de la physique et contestant son utilité, et elles sont apparues suffisamment "exotiques" pour susciter l'intérêt, l'étonnement et le questionnement.

1 - Situation de production.

Les étudiants sont placés devant un montage expérimental dont ils peuvent observer les caractéristiques en lumière ambiante. Le matériel est essentiellement constitué d'objets peu coûteux (papier, lampe, pile).

Les activités proposées sont :

- prévoir,
- expliciter sa prévision par un schéma et une production verbale,
- réaliser la manipulation,
- observer et vérifier sa prévision,

- faire varier quelques paramètres inclus dans la consigne et observer les effets produits,
- discuter entre étudiants et avec l'enseignant pour faire construire un modèle physique simple et faire évoluer les conceptions fausses.

2 - Corpus.

Les productions écrites recueillies en classe constituent le corpus à analyser.

Deux situations font ici l'objet de l'analyse :

- la propagation de la lumière à travers des trous percés dans des écrans,
- la réflexion de la lumière diffusée par une épingle sur un miroir plan et la recherche de la position de l'image.

3 - Analyse.

Chaque réponse d'étudiant fait l'objet d'une mise à plat aussi bien pour les schémas que pour le vocabulaire utilisé dans les productions verbales.

L'analyse cherche à faire ressortir :

- les conceptions initiales des étudiants sur la lumière, son rôle dans la formation des images et dans la vision,
- les propriétés attribuées à la lumière et à son interaction avec les objets permettant une prévision et une interprétation de ce qu'on voit,
- le sens du symbolisme graphique et du symbolisme linguistique, et la cohérence entre eux.
- Peut-on faire l'hypothèse de modèles cohérents fonctionnant sur un ensemble de situations ou bien s'agit-il d'un savoir fragmenté ou contradictoire visant à s'adapter à chacune ?

4 - Champ conceptuel de référence.

Les concepts choisis ici le sont en référence avec la pratique du photographe, de l'éclairagiste, du créateur d'images de synthèse et du créateur en arts plastiques ou textiles.

Chaque séquence met en jeu :

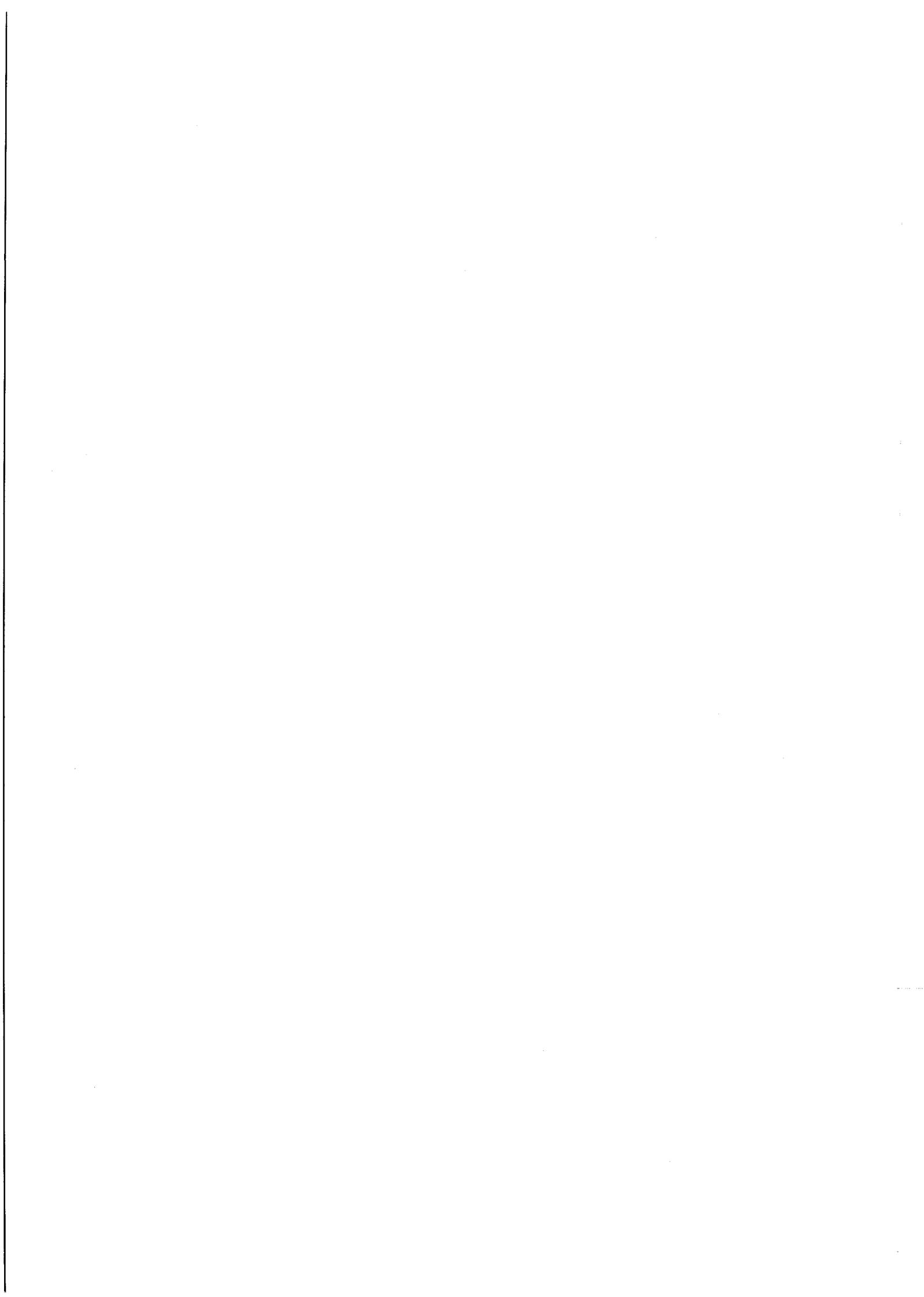
- une source produisant de la lumière, ici une petite ampoule à halogène,
- des objets diffusants,
- l'oeil de l'observateur comme élément du montage.

Le modèle que l'on cherche à faire construire et qui est suffisant pour rendre compte des situations étudiées ici présente les caractéristiques suivantes :

- la lumière se propage en ligne droite entre les éléments du montage c'est-à-dire tant qu'elle ne rencontre pas d'obstacle;
- la lumière interagit avec la matière : elle est soit diffusée, soit réfléchié, soit transmise;
- la lumière, pénétrant dans l'oeil de l'observateur, provoque une impression visuelle.

Le concept d'image sera introduit ici comme conséquence de ce modèle. L'image virtuelle donnée par un miroir plan est définie comme suit :

- à chaque point de l'objet correspond un point image d'où semble venir la lumière reçue par l'oeil.



PROPAGATION RECTILIGNE DE LA LUMIERE ET VISION

1 - La lumière se propage-t-elle en ligne droite ?

a) Situation expérimentale.

L'expérience est proposée aux étudiants qui connaissent tous l'énoncé verbal du concept de propagation rectiligne de la lumière.

Une petite ampoule est située devant un écran (E_t) comportant un (question Q1) ou trois trous (question Q3). Pour chaque situation, deux variantes sont proposées : pour la série A, la lampe est à 6 cm de hauteur et est alignée sur une horizontale avec le ou l'un des trous de l'écran (E_t). Pour la série B, la lampe est à 3 cm de hauteur et ne se trouve alignée sur une horizontale avec un trou que lorsque l'écran en comporte trois (voir schémas du montage).

La source de lumière est une lampe à halogène dont le filament est de très faible dimension et que l'on peut considérer comme ponctuel.

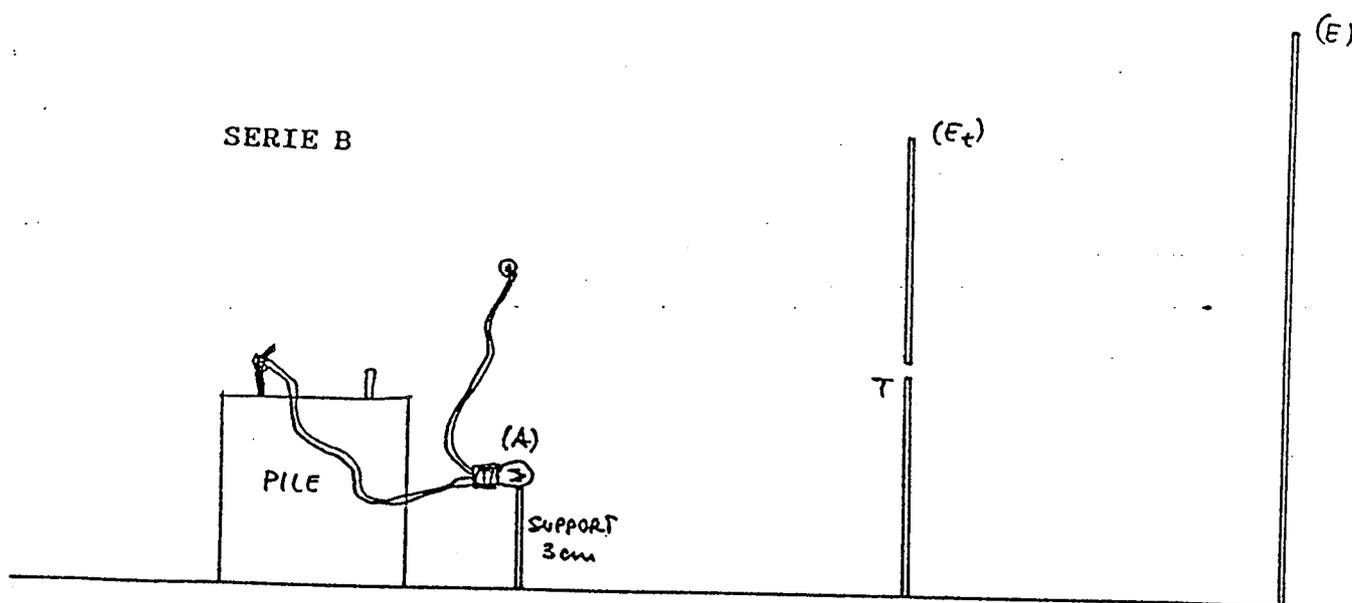
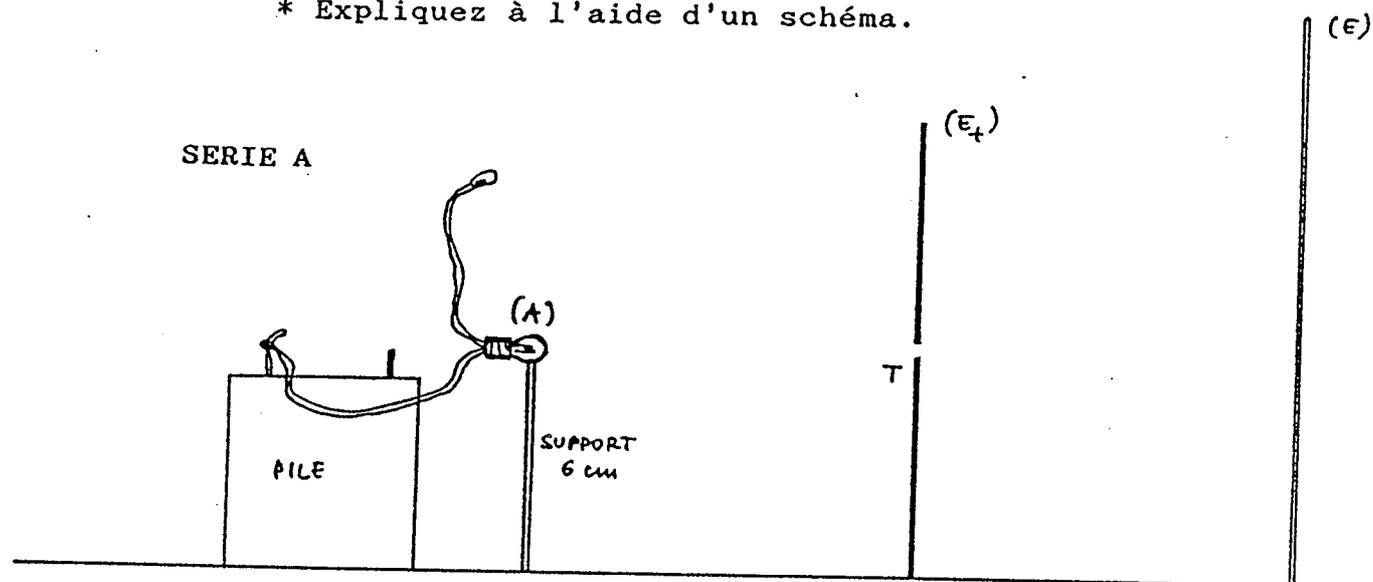
Les étudiants installent les éléments du montage sur un support horizontal où sont données des indications de distances entre ampoule, écran (E_t) et écran E. On demande aux étudiants de décrire ce qu'ils verront quand on allume la lampe.

Au total, quatre questions $Q_1(A)$ et $Q_3(A)$, $Q_1(B)$ et $Q_3(B)$ ont été posées, la série A complète aux mêmes 23 étudiants et la série B à 25 autres étudiants.

Question 1

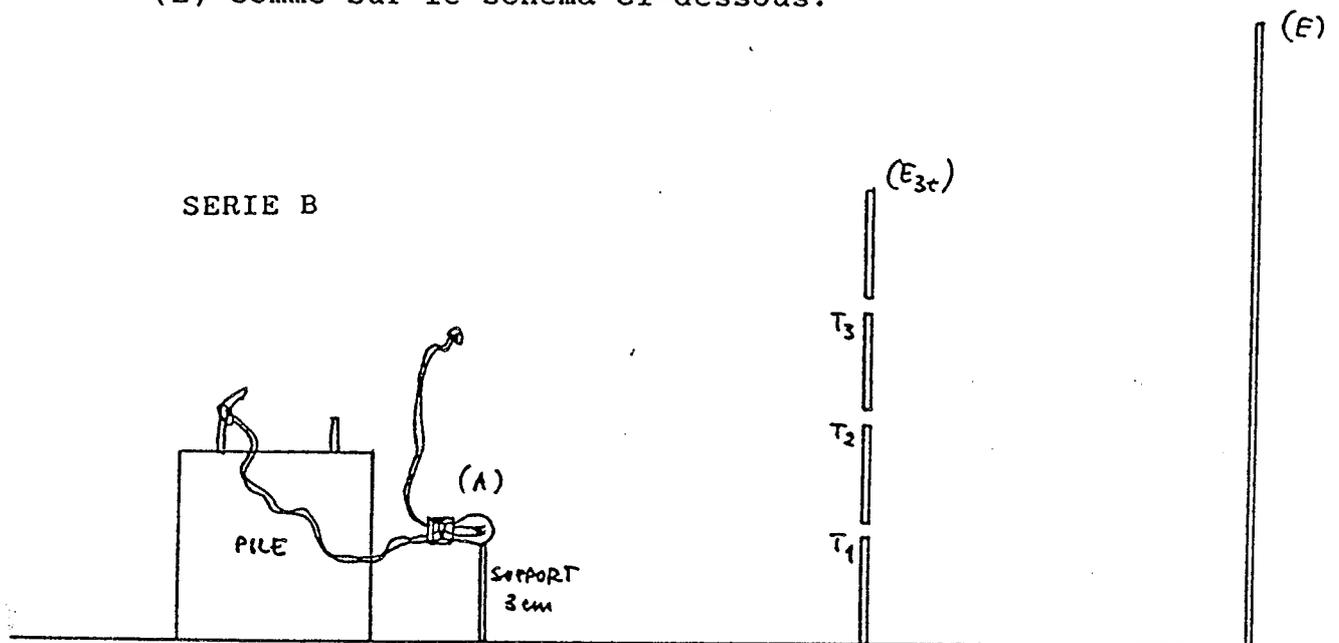
* Que verra-t-on sur l'écran (E) si l'on allume la lampe (A) ?

* Expliquez à l'aide d'un schéma.



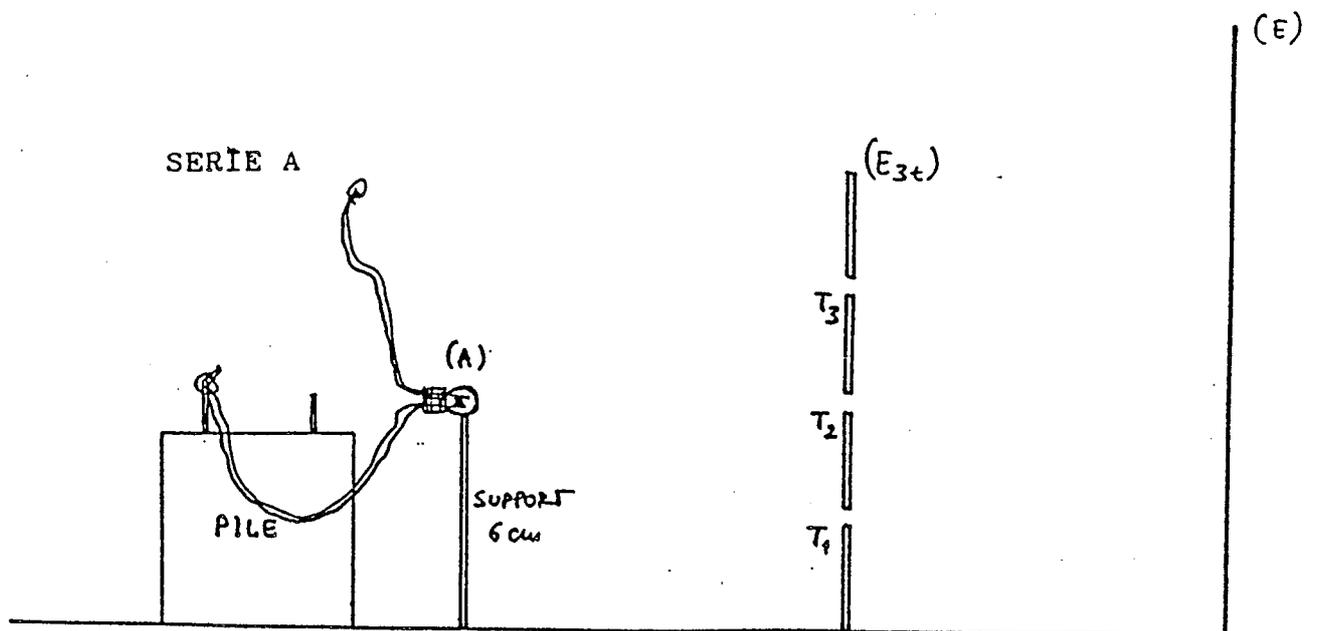
Question 3

Dans le montage précédent, on remplace l'écran (E_t) par l'écran (E_{3t}). A la place de l'écran (E_t) on remet l'écran (E) comme sur le schéma ci-dessous.



* Que verra-t-on sur l'écran (E) si l'on allume la lampe (A) ?

* Expliquez à l'aide de la figure (vue du dessus) ou bien faites un (ou des) schéma(s).



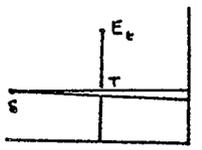
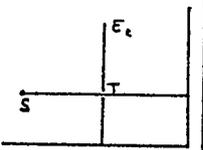
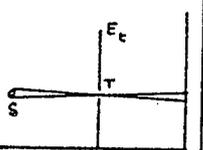
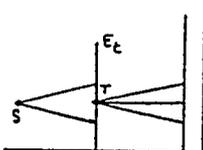
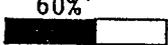
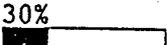
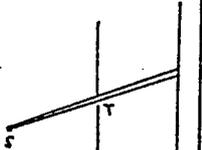
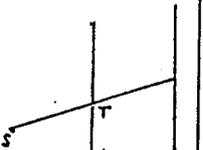
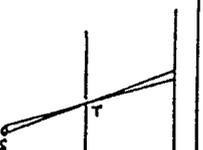
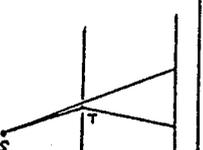
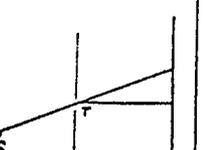
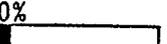
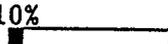
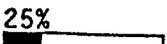
On étudiera d'abord les schémas, puis les réponses sur ce que l'on voit.

b) Etude des schémas produits par les étudiants.

On fait l'hypothèse que l'existence de la lumière dans l'espace se traduit sur les schémas par des traits qui lient la lampe ou son voisinage à l'écran. Ceci fait parti d'un code de représentation utilisé en physique. Habituellement, le sens de propagation de la lumière est figuré par des flèches. Mais ici peu d'étudiants utilisent ce symbolisme.

Le tableau 1 propose une classification des schémas fournis par les groupes A et B.

Tableau 1

Réponses correctes ou acceptables			Réponses fausses	
Faisceau conique	Trait	Chambre noire	Faisceau évasé	Propagation rectiligne + Propagation horizontale
				
60% 		10% 	30% 	
				
55% 		10% 	10% 	25% 

Pour deux tiers des étudiants, il reste d'un apprentissage préalable, soit la représentation du trajet de la lumière par un trait rectiligne, soit la délimitation du faisceau de lumière passant à travers le trou par des droites s'appuyant sur les bords du trou

et permettant une prévision correcte de la taille de la tache sur l'écran.

Pour un tiers des étudiants, le concept de propagation rectiligne ne fonctionne pas dans la situation présentée ; moins de 10% produisent une représentation type "chambre noire" avec des directions de propagation croisées, non pertinente ici compte tenu des dimensions de la source et du trou.

Deux grandes catégories de réponses à la question Q1(A) apparaissent : pour 70%, la propagation rectiligne est respectée, pour 30%, le faisceau de lumière est représenté évasé à la sortie du trou.

A la question Q₁(B), le pourcentage des réponses considérées comme correctes reste sensiblement le même (65%), 10% seulement évasent le faisceau à la sortie du trou. On trouve 25% de schémas superposant la direction de propagation rectiligne de la lumière à une direction privilégiée qui est la direction horizontale.

Au total, deux types d'erreurs, par rapport à la propagation rectiligne, sont mises en évidence avec cette situation :

- la direction de propagation horizontale a un statut particulier sans relation avec la situation réelle [4],
- le faisceau de lumière s'évase à la sortie du trou.

Cette propriété attribuée au faisceau de lumière se retrouve dans une étude faite en Italie auprès d'élèves de lycée âgés de 17/18 ans avant enseignement de l'optique et avec la même fréquence [8].

Il est intéressant de voir comment ces représentations sont utilisées dans la réponse à la question Q3 où un trou est sur une direction horizontale et les deux autres sur des directions obliques par rapport à la lampe.

Tableau 2 (groupe A).
(N = 23)

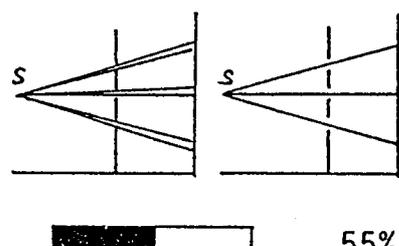
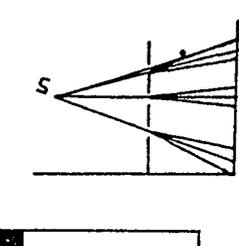
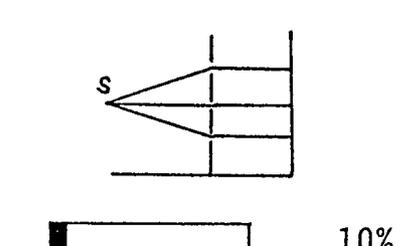
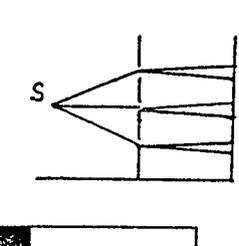
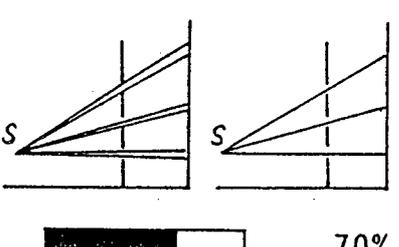
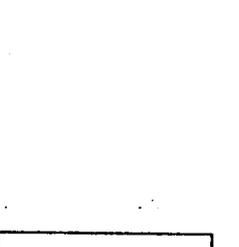
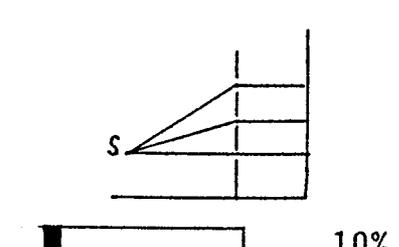
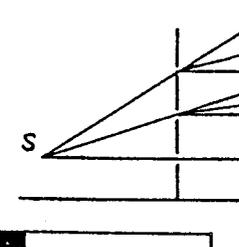
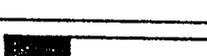
Question 3A	Faisceau conique ou trait	faisceau évasé à partir du trou
Direction respectée		
Direction horizontale		
Question 1A		

Tableau 3 (groupe B).
(N = 25)

Question 3B	Faisceau conique ou trait	faisceau évasé à partir du trou
Direction respectée		
Direction horizontale		
Question 1B		

Pour la série A, le nombre de réponses "correctes" varient d'une question à l'autre en passant de 70% à 55%. Pour la série B, ce nombre reste stationnaire (65% à 70%). En revanche, les deux types d'erreurs relevées pour la question 1B se retrouvent en 3B et 3A, alors que la première erreur est absente à la question 1A, puisque la direction de propagation horizontale est considérée comme une bonne réponse.

c) Que voit-on lorsqu'un écran reçoit de la lumière et la diffuse?

Les réponses de 75% des étudiants des groupes A et B pour décrire ce qu'ils pensent voir peut se résumer ainsi :

- "une tache de lumière, un cercle ou un rond lumineux", réponses que l'on considère comme correctes.

Le rôle de l'écran comme objet diffusant n'est jamais mentionné.

Aucune réponse n'utilise le terme d'image.

L'analyse des réponses montre que le rôle du trou est double : soit il laisse passer la lumière en ligne droite, soit il joue le rôle de source secondaire. Pourtant, dans le montage expérimental, les effets de diffraction sont négligeables, compte tenu des dimensions relatives.

Pour les autres, l'ambiguïté du langage permet de s'interroger sur les conceptions sous-jacentes sur la lumière et ses propriétés. Alors que la question porte sur ce qu'on voit sur l'écran, 15% des réponses sont :

- "un faisceau lumineux",
- "un faisceau de lumière passe par le trou et se projette sur E"(6A).

Les étudiants pensent-ils voir le faisceau lumineux se propager dans l'air en l'absence de fumée ou de poussière pour la diffuser ? Est-ce un refus de l'énoncé : "Que voit-on sur l'écran" ? Est-ce la réponse à la question ou la justification de ce qu'on dessine ? Que représente le faisceau lumineux dans la mesure où

ce terme est employé aussi bien pour décrire le trajet de la lumière dans l'espace que la tache observé sur l'écran ? Les questions 1 et 3 de cette séquence ne permettent pas de trancher sur ces points. La question 2 a été posée pour apporter des éléments de réponse.

2) - Conceptions sur la lumière et la vision.

La question 2 mentionne explicitement l'oeil de l'observateur. Maintenant, le premier écran ne comporte qu'un seul trou et le deuxième trois, derrière lesquels on place l'oeil.

Que verra-t-on à travers chacun des 3 trous percés dans l'écran E(3T) [1]?. Deux variantes A et B, selon la hauteur de la lampe, sont encore posées aux 23 Q₂(A) et aux 25 Q₂(B) mêmes étudiants. Voir figure :

Question 2

Dans le montage précédent, on remplace l'écran (E) par un écran (E_{3T}) avec trois trous:

- T₁ à 3 cm du sol environ,
- T₂ à 6 cm du sol environ,
- T₃ à 9 cm du sol environ.

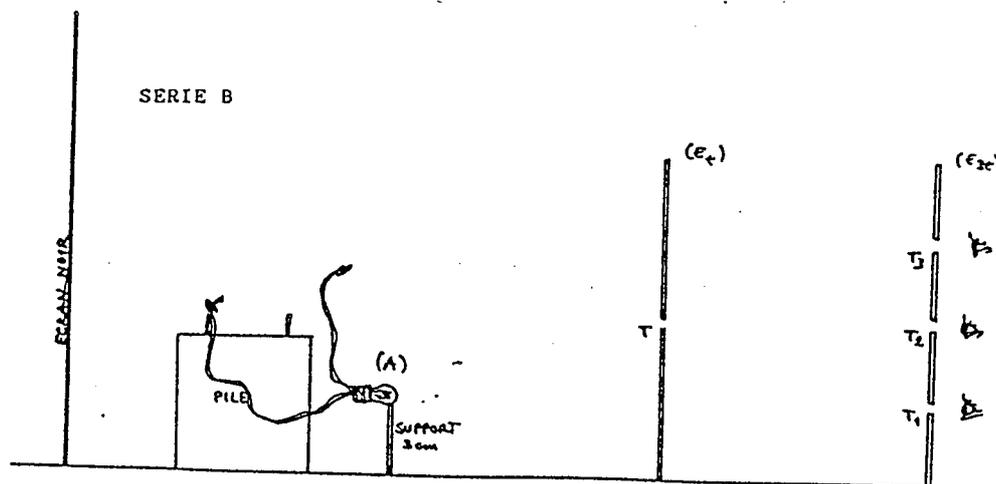
Un écran noir est placé derrière l'ampoule (A).

L'observateur, derrière l'écran (E_{3T}), regarde par chacun des trous T₁, T₂ et T₃ à travers le petit trou T.

* Que peut-il voir si l'ampoule est allumée :

- a) par le trou T₁ ?
- b) par le trou T₂ ?
- c) par le trou T₃ ?

* Expliquez à l'aide des schémas :



Lorsqu'on regarde par le trou en face de l'ampoule, on voit l'ampoule allumée et on reçoit la lumière venant de l'ampoule. Par les deux autres trous, on voit l'écran noir ou le support de la lampe.

Cette question permet de faire préciser aux étudiants leurs conceptions sur la lumière. Quelle distinction est faite entre la lumière assimilée à sa source et la lumière se propageant dans l'espace ? Quelles sont les propriétés attribuées à la lumière ? Sont-elles en accord ou en contradiction avec le modèle de la théorie physique ?

On peut distinguer dans les réponses verbales,

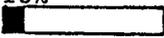
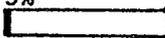
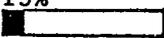
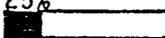
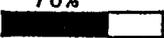
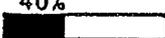
- un vocabulaire de type événementiel, décrivant ce qu'on voit en termes d'objets : l'ampoule (source de lumière) et les objets diffusant ou non (écran noir, support) ;
- un vocabulaire lié à la perception visuelle : d'une part "trou" ou "point" lumineux et, d'autre part, des termes appartenant a priori à un registre plus conceptuel tels "lumière", "un rayon lumineux", "un faisceau lumineux".

Par une mise en relation des schémas et du vocabulaire, on cherchera à dégager les conceptions sur la lumière et sur la vision.

a) Conceptions sur la lumière.

La fréquence des termes utilisés apparaît dans le tableau

TABLEAU 4

on voit	par le trou en face de l'ampoule	par les deux autres trous
Objet	15% 	5% 
Trou ou Point lumineux	15% 	25% 
Lumière Faisceau Rayon	70% 	40% 
Rien ou Visée	0% 	30% 

Objet (ligne 1)

On trouve moins de 15% de réponses en termes d'objets, lorsque l'oeil est aligné avec la source et le trou T et moins de 5% dans les autres cas. Cette catégorie de réponses est très minoritaire, les objets non lumineux par eux-mêmes sont nommés :

- "on voit la base", "on voit le plafond", "la pile",

alors que les mêmes étudiants ajoutent pour parler de la source lumineuse,

- "on reçoit la lumière directement par T3" (17A) ou bien "on voit la lumière de l'ampoule" (18A);

Pour les objets diffusants, aucune mention n'est faite de la lumière venant de l'objet, alors qu'en ce qui concerne la source, on parle explicitement de "la lumière de l'ampoule".

Rien ou Visée perpendiculaire (ligne 4).

Par le trou aligné avec la lampe et T, tous les étudiants répondent soit en termes d'objets (ampoule, lampe), soit en terme de lumière, alors que par les deux autres trous, 30% des étudiants répondent :

- "on ne voit rien", ou bien
- "vision de l'écran, pas de faisceau à partir de T2 et T1"(2B), mais certains précisent "si on regarde perpendiculairement par rapport aux trous" (11A).

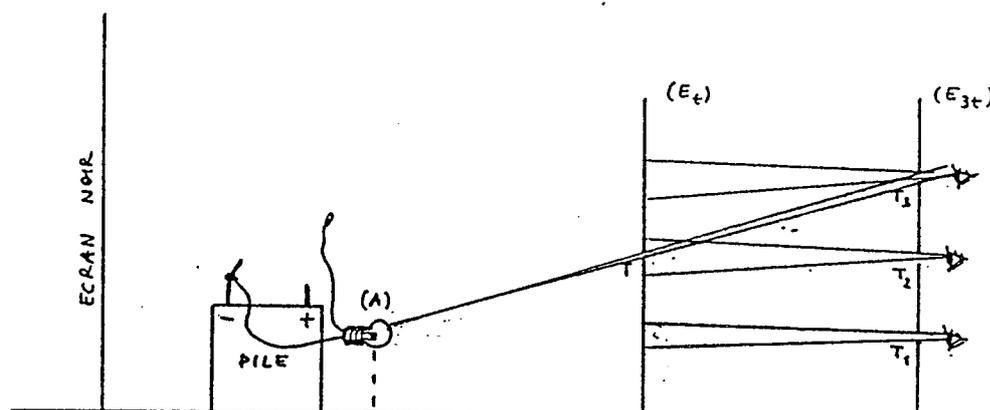
La première réponse souligne la difficulté d'envisager la diffusion de la lumière par les objets au voisinage de la lampe, alors que l'écran noir diffuse un peu de lumière vers l'observateur et le support de la lampe beaucoup.

D'autre part pour répondre à la question, il faut regarder dans une direction oblique. Cette possibilité n'est pas envisagée par les étudiants qui refusent la consigne et regardent horizontalement comme le montre le schéma (11B).

- $\bar{a} T_3 \rightarrow$ lumière de l'ampoule + l'écran Et.
 $\bar{a} T_2 \rightarrow$ le trou de Et un peu lumineux.
 $\bar{a} T_1 \rightarrow$ ~~le trou de Et~~ (sans écran) Et.

(11)

SERIE B



Trou lumineux et point lumineux. (15% et 25% des réponses, ligne 2)

Ce type de réponses confirme le double rôle du trou observé dans les questions 1 et 3.

Le trou T est une nouvelle source de lumière pour 25% des étudiants :

- "trou d'où jaillit la lumière" (20A)
- "on voit le trou lumineux T par T1 et T3" (5A).

S'il pouvait y avoir ambiguïté dans la réponse dans le cas de l'alignement des trous avec l'ampoule, il n'en est plus de même dans le cas contraire :

- "comme la lumière éclaire le trou T on verra à chaque fois un point lumineux" (16A).

Les étudiants utilisent la même expression pour décrire ce qu'ils pensent voir sur l'écran ou dans le trou. Matière (écran blanc) ou absence de matière (trou), l'impression visuelle prévue est la même !

D'autres réponses montrent la difficulté de concevoir la propagation d'une entité abstraite et la remplacent par un objet :

- "La lumière en passant par T va former un cercle lumineux que nous pourrions voir sur T3 et T2" (8B), un autre ajoute "un cercle lumineux va se propager sur E3t en T3 et T2" (7B) ;
- "l'oeil perçoit le halo venant de T".

"Lumière", "Faisceau lumineux", "rayon lumineux".

(ligne 3)

70% des étudiants pensent voir de la lumière, lorsque les trous sont alignés avec l'ampoule, ce qui est légitime :

- "On reçoit la lumière directement"(18A), "je suis ébloui par la lumière", "éblouissement",

la lumière émise par la source, se propage et est la cause de la perception visuelle.

Certains précisent :

- "Par T3 (en face), on aura le faisceau lumineux dans l'oeil" (10B), ou "comme le faisceau se propage de façon rectiligne, on le verra dans T3, mais pas dans les 2 autres trous (5B).

Mais pour les 40% qui pensent encore voir la lumière lorsque les trous ne sont plus alignés avec la lampe, la lumière est clairement conçue comme visible lorsqu'elle se propage, comme on voit une voiture se déplacer, sans qu'aucun médiateur n'intervienne entre le faisceau et l'oeil.

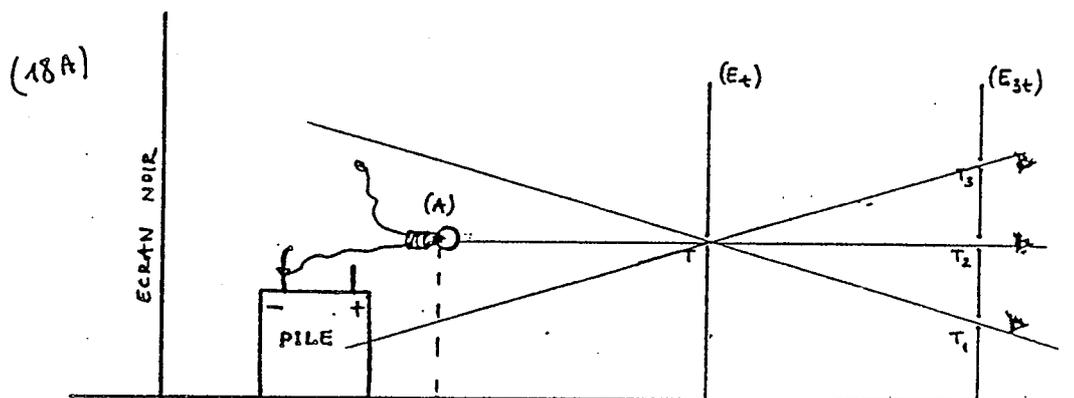
- "de T1 je vois la lumière qui va de T à T2, de T3 la même chose"(19A).

Cette conception fréquente (65% du groupe interrogé ici pensent voir, ou le trou lumineux, ou le faisceau de lumière) confirme les résultats de W. Kaminski dans son enquête auprès d'enseignants [1]. Son origine est à rechercher du côté de la vie courante, mais elle est aussi renforcée par l'iconographie des manuels scolaires où de nombreuses photographies "visualisant"

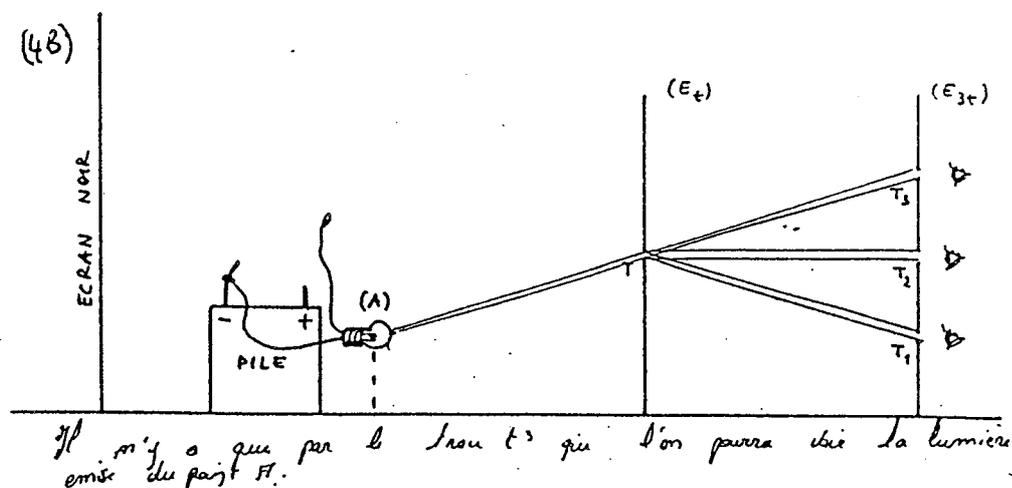
les faisceaux de lumière sur un support diffusant ou dans l'espace s'accompagnent d'un commentaire sur le trajet de la lumière sans mentionner la diffusion.

Et les schémas ?

Alors qu'on avait fait l'hypothèse pour les questions 1 et 3 que les traits représentaient le trajet de la lumière, on s'aperçoit, dans cette nouvelle situation, que les traits peuvent représenter aussi bien les trajets de la lumière que les directions de visée. (schéma 18A)

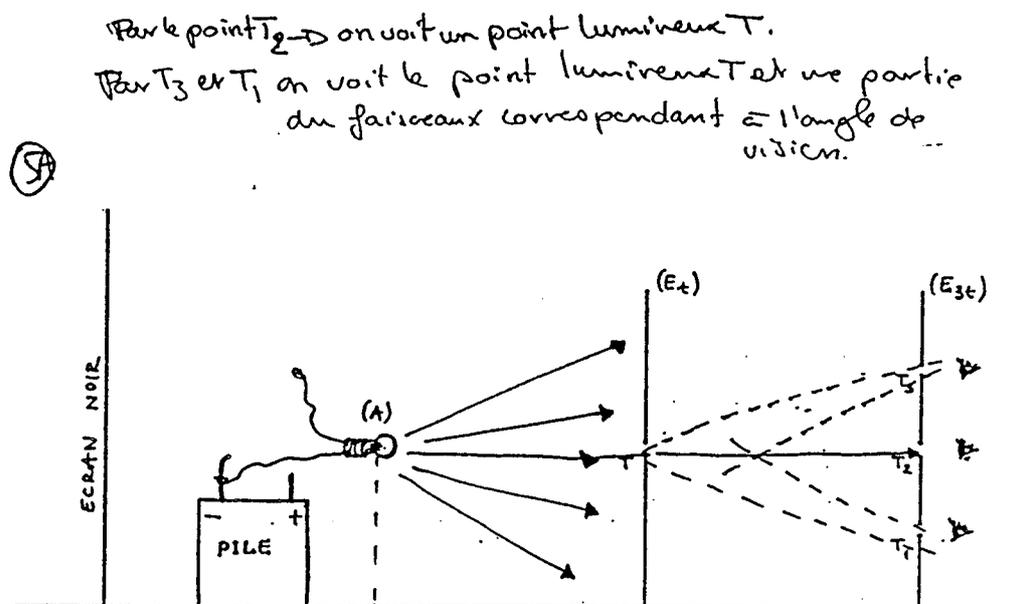


Le commentaire qui accompagne le schéma (4B) montre également ce double statut des traits.



Ceux qui pensent voir la lumière là où elle ne se voit pas, justifient leur conviction en juxtaposant la direction de propaga-

tion de la lumière en traits pleins et la direction de visée ou le champ de vision en traits pointillés (5A)



b) Quelles conceptions sur la vision ?

Plusieurs tendances se dégagent dans le mode de raisonnement des étudiants.

L'oeil est le récepteur de lumière.

Pour la majorité ses étudiants, l'oeil est bien conçu comme le récepteur de lumière, *s'il s'agit de la lumière venant d'une source émettrice*. Elle a alors un caractère dynamique, "elle se projette", "l'observateur la reçoit", elle est bien la cause de l'impression visuelle :

- "Par T_3 , on a le faisceau dans l'oeil" (10B), alors on voit, ou bien, inversement quelques-uns précisent, "si l'oeil ne reçoit pas de rayon lumineux direct" (1A), on ne voit rien.

Aucun médiateur entre l'objet et l'oeil.

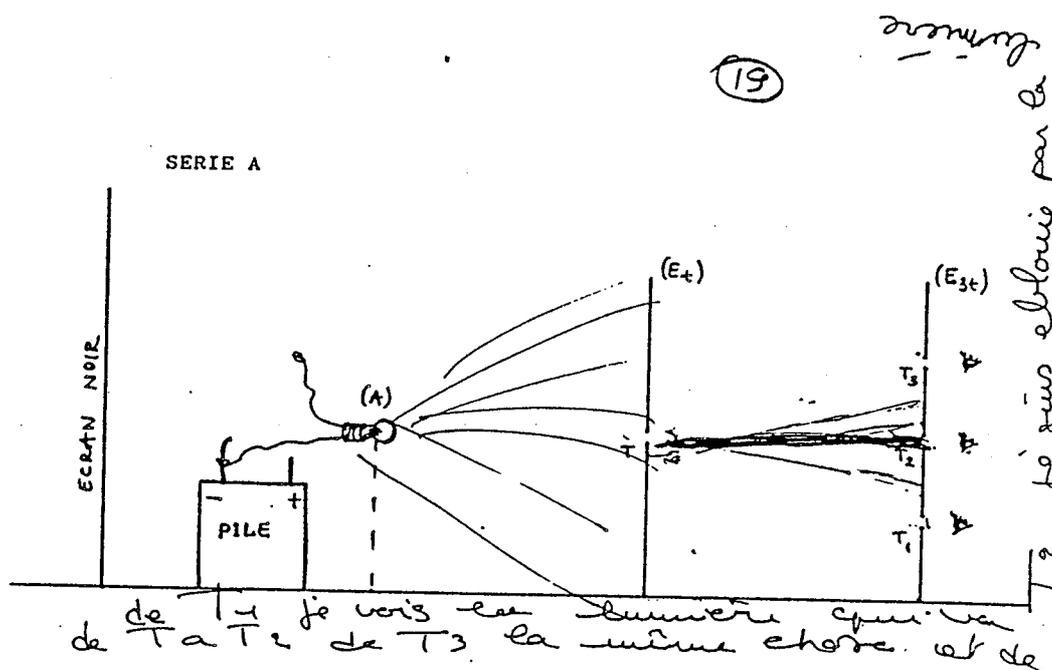
Si l'objet est diffusant, les difficultés commencent.

La lumière venant d'objets diffusant n'est jamais mentionnée, entre l'objet déclaré vu et l'oeil, aucun lien n'est explicité.

Une distinction est faite entre la lumière venant de la source et les objets éclairés ou supposés tels, qui sont déclarés vus, sans que la lumière soit le lien entre l'oeil et ce qu'on voit :

- "si on regarde par le trou T2, la lumière se projette dans l'oeil; si on regarde par le trou T1 vers T, on voit le trou lumineux".(15A).

La lumière est nécessaire pour voir, mais elle ne pénètre pas nécessairement dans l'oeil et beaucoup d'étudiants pensent voir passer un faisceau lumineux devant eux comme on l'a vu précédemment (19A).



L'oeil actif.

L'oeil est à l'origine du raisonnement et il est alors caractérisé par ce qu'il fait :

- "On saisit la lumière"(14A),

Ce que l'on voit est explicité par le tracé du "champ de vision", "de l'angle de visée" ou "des directions de visée".

Sans doute, une conception sous-jacente de l'oeil actif est présente et peut être rapprochée des conceptions des enfants

de 10-14 ans (E. Guesne [4]) et des adolescents de 16-17ans (C. La Rosa [8]), mais l'origine de ce type de raisonnement est à rechercher aussi du côté des formations données dans les cours de dessin et de perspective.

Conciliation.

Certains étudiants concilient plusieurs des points de vue précédents.

A une conception de l'oeil, comme récepteur de lumière, ils superposent une autre conception.

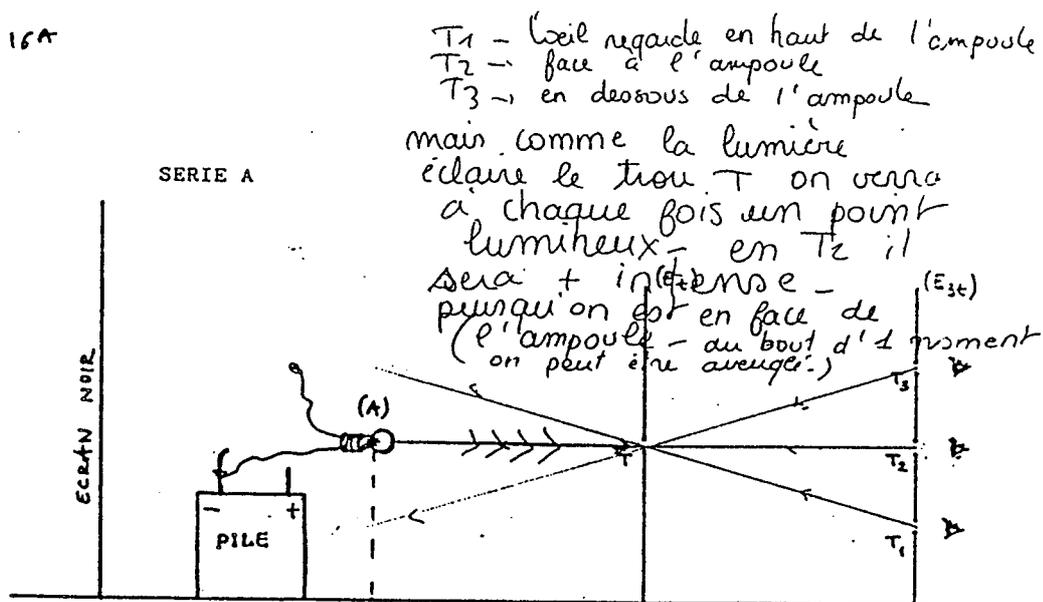
Soit celle d'un faisceau lumineux visible dans l'espace, en faisant une distinction entre les deux impressions visuelles :

- "l'observateur reçoit le faisceau lumineux dans les yeux par le trou T2 et dans les autres trous il voit la lueur du faisceau"(3A).

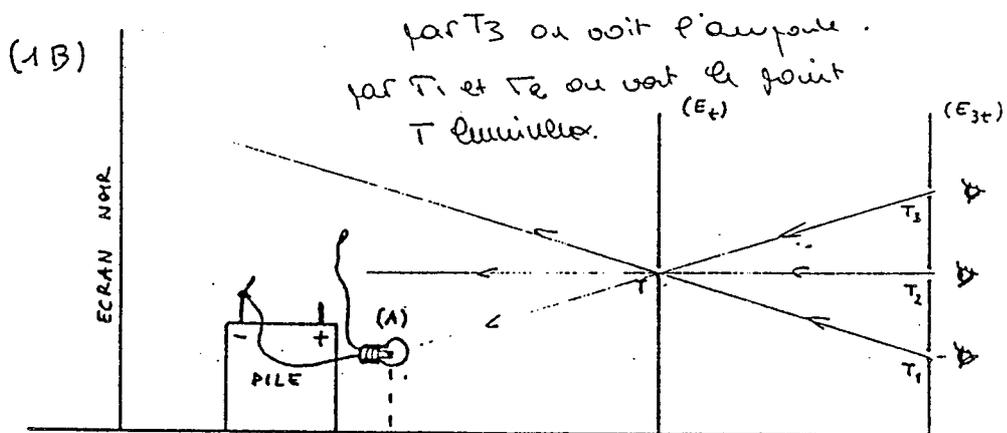
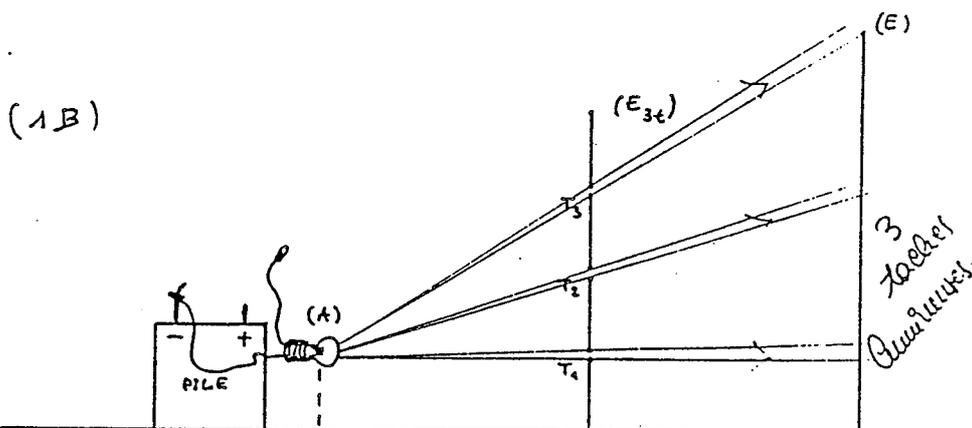
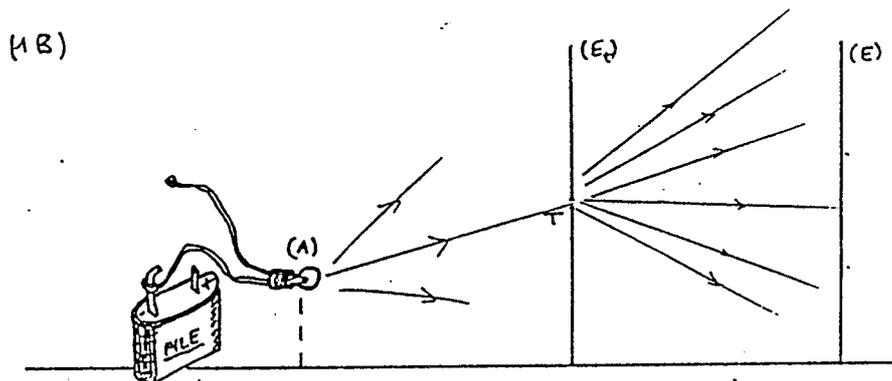
Soit en ajoutant le champ de visée de l'oeil :

- "On voit le point lumineux et une partie du faisceau correspondant à l'angle de vision"(5A).

16A



Certains étudiants changent de mode de raisonnement avec chaque nouvelle situation, mais le fait de faire intervenir l'oeil dans le montage expérimental est la principale cause de perturbation.



c) Quelques pistes.

La confrontation avec l'expérience est surprenante pour les étudiants et le résultat est facilement mémorisée après analyse. Les étudiants prennent conscience qu'un faisceau lumineux ne peut être vu que s'il arrive dans l'oeil. Des exemples sont évoqués (spectacles, faisceaux laser...) et la diffusion de la lumière par la matière est alors repérée comme cause de la visualisation des faisceaux lumineux.

On peut alors préciser le statut des schémas utilisés en optique, un trait représentant un trajet invisible de la lumière et une distinction peut être faite entre les observations, liées à la perception visuelle et ce qui se réfère au modèle de la lumière.

OU SE TROUVE L'IMAGE FORMEE PAR UN MIROIR PLAN ?

1 - Situation de production.

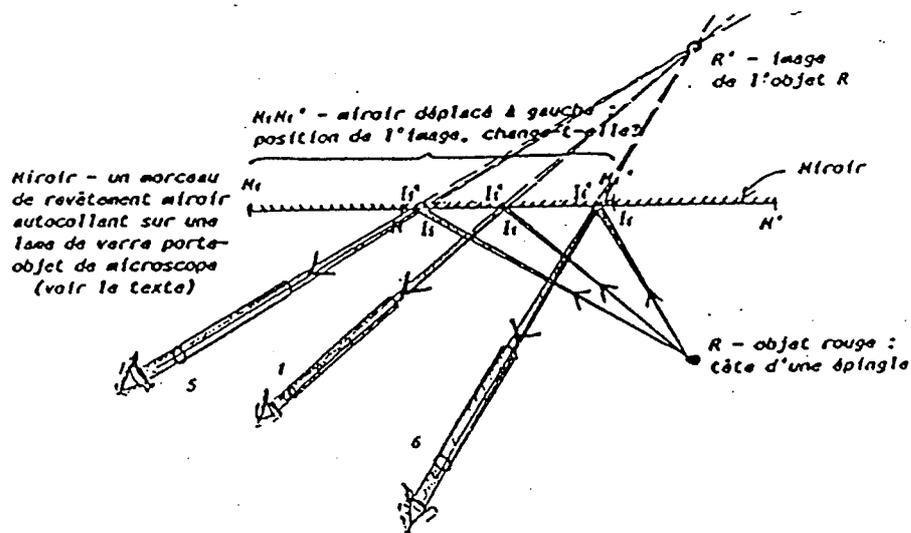
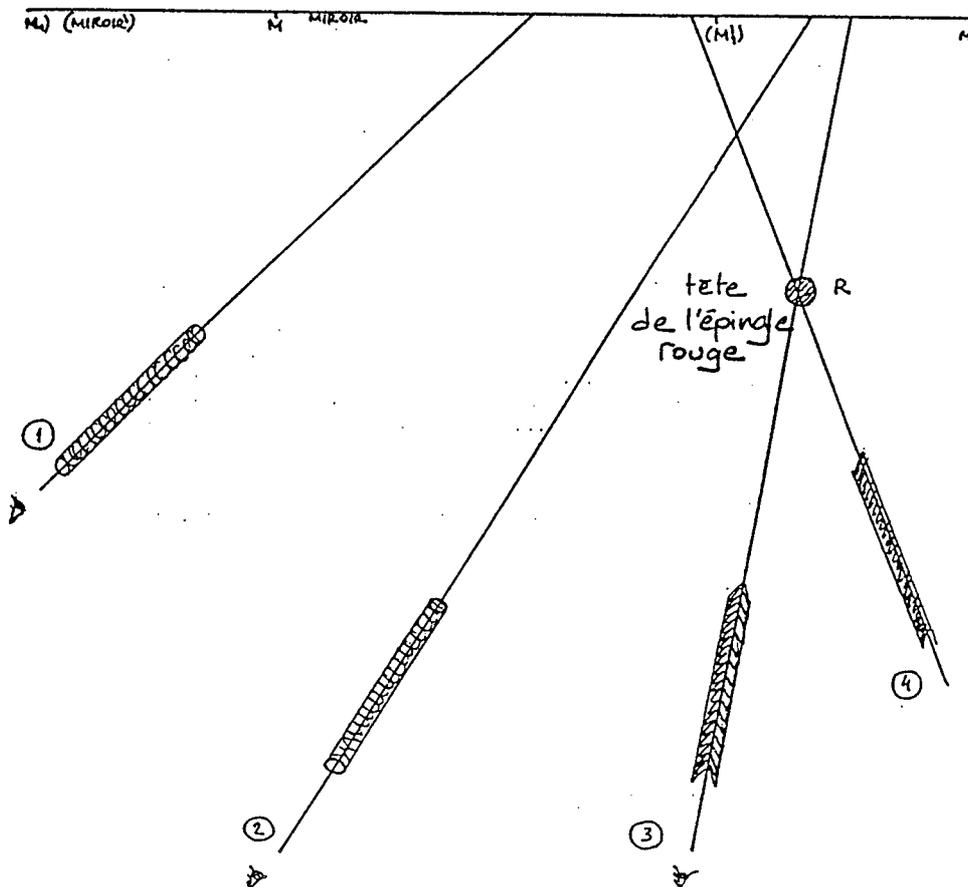
La question, proposée par W. Kaminski comme activité en optique élémentaire [1], a été posée avant enseignement des lois de la réflexion. 57 réponses ont été recueillies dans deux classes de Mise à Niveau, comprenant 77% de titulaires du bac A1/A3, 14% de bac C/D, 9% de B.T.. Les nombres entre parenthèses se réfèrent aux réponses des étudiants.

Une prévision est demandée devant la situation expérimentale, le miroir est caché par une feuille de carton, les viseurs sont matérialisés par des pailles, R est une tête d'épingle rouge.

Les étudiants doivent répondre à deux questions. Quel viseur choisir pour voir l'image de R dans le miroir MM' ? (q1) Le miroir est en face de l'objet.

Et dans le miroir $M_1M'_1$? (q2) On décale le miroir par rapport à l'objet, la perpendiculaire au miroir passant par l'objet ne rencontre plus le miroir (voir schéma).

Le choix du viseur 1 est la réponse correcte dans les deux cas.



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

2 - Les résultats.

Les tableaux 5 et 6 récapitulent les schémas fait par les étudiants et les énoncés des justifications qu'ils avancent.

TABLEAU 5 : le miroir est en face de l'objet. (q1)

visueur choisi	schémas produits	justifications des étudiants
1 30%		<p>Symétrie (37,29,25,28) angle droit (30,34) 45° entre l'angle de vision et la situation de l'objet (45)</p> <p>on considère que le miroir crée un deuxième espace en profondeur que le réel (39)</p> <p>choisir une ouverture de champ assez large (36)</p>
2 42%		<p>le point de la trajectoire du viseur arrivé au miroir se trouve en face de R (1)</p> <p>un miroir renvoie perpendiculairement un rayon ou un point lumineux (2)</p> <p>l'image de R se projette verticalement sur le miroir (4)</p> <p>l'objet reflète sur le miroir comme une perpendiculaire au miroir (11)</p> <p>l'aiguille bloque le champ visuel</p>
3 / 4 1 / 3 autre 21%		<p>l'oeil, l'objet et le reflet dans le miroir sont alignés</p> <p>la ligne de propagation de la lumière de R coupe la ligne du viseur 1 ou 3</p> <p>se placer derrière l'objet (38) ça passe par l'objet (53,32) objet entre viseur et miroir (31)</p>
Autre 7%		on ne voit rien

TABLEAU 6 :

Le miroir est décalé par rapport à l'objet. (q2)

viseur choisi	schémas produits	justifications des étudiants
1 30%		<p>la projection de R sur le miroir forme un angle droit avec le viseur 1 donc est possible, dans 4 on verra l'objet et non l'image (12)</p> <p>la ligne du viseur est perpendiculaire à la ligne de la boule par rapport au miroir M1M'1 (21)</p> <p>symétrie (29, 28, 25)</p> <p>en 3 et 4 l'aiguille bloque le champ visuel</p>
2 10%		l'image se réfléchit perpendiculairement au miroir (28)
4 35%		<p>le viseur doit être sur la trajectoire de R (R est hors de la perpendiculaire au miroir).(1)</p> <p>on peut voir le reflet</p> <p>œil, R et l'image de R sont alignés, conséquence de la propagation rectiligne de la lumière (54)</p> <p>on voit par 4 seulement car en 3 cela dépasse le miroir</p>
Autres 35%		<p>on ne voit rien, l'objet ne se reflète pas perpendiculairement au miroir.(11, 23)</p> <p>pas de viseur possible car l'objet est en dehors du champ du miroir (40)</p>

3 - Analyse des réponses.

Dans cette expérience, aucune réponse ne mentionne explicitement la propagation rectiligne de la lumière issue de l'objet, lumière réfléchiée par le miroir et arrivant dans l'oeil de l'observateur dans la direction de visée. Les schémas produits confirment ce fait :

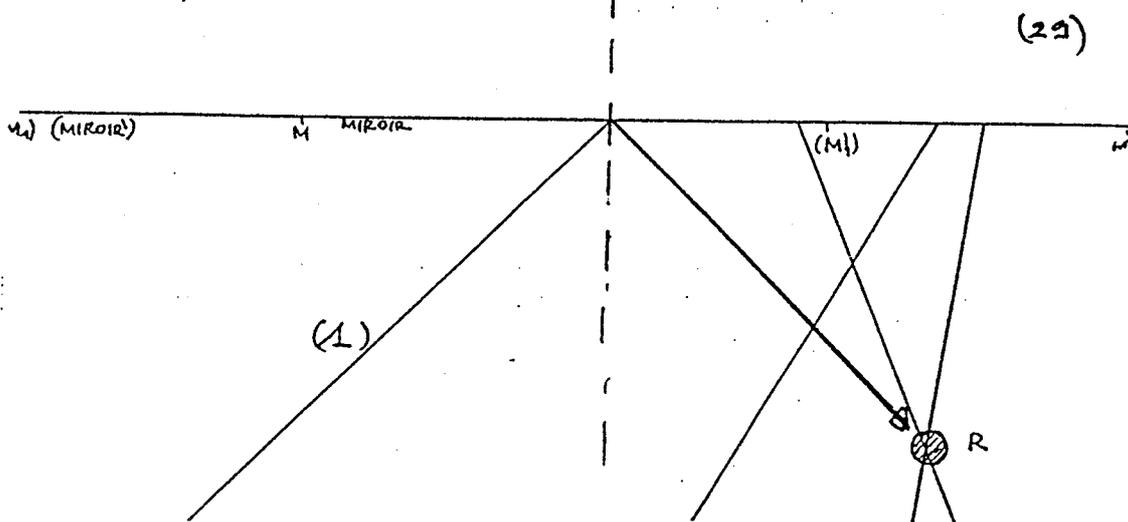
- 15% seulement des étudiants relient par des traits l'objet, le miroir et l'oeil. Un seul utilise la représentation conventionnelle en physique (trait muni de flèches allant de l'objet à l'oeil, dans le sens de propagation de la lumière).

a) Où se trouve l'image ?

Le choix du viseur 1, réponse correcte aux deux questions, associé à une justification correcte n'est fait que par 10% des étudiants.

Un seul situe l'image derrière le miroir, dans une position symétrique de R par rapport au miroir. Les autres justifications procèdent d'une recherche de symétrie : la droite symétrique du viseur par rapport à la normale au miroir doit rencontrer l'épingle R (schéma 29)

quelque soit l'emplacement du miroir, le viseur est le même et le miroir réfléchit par symétrie

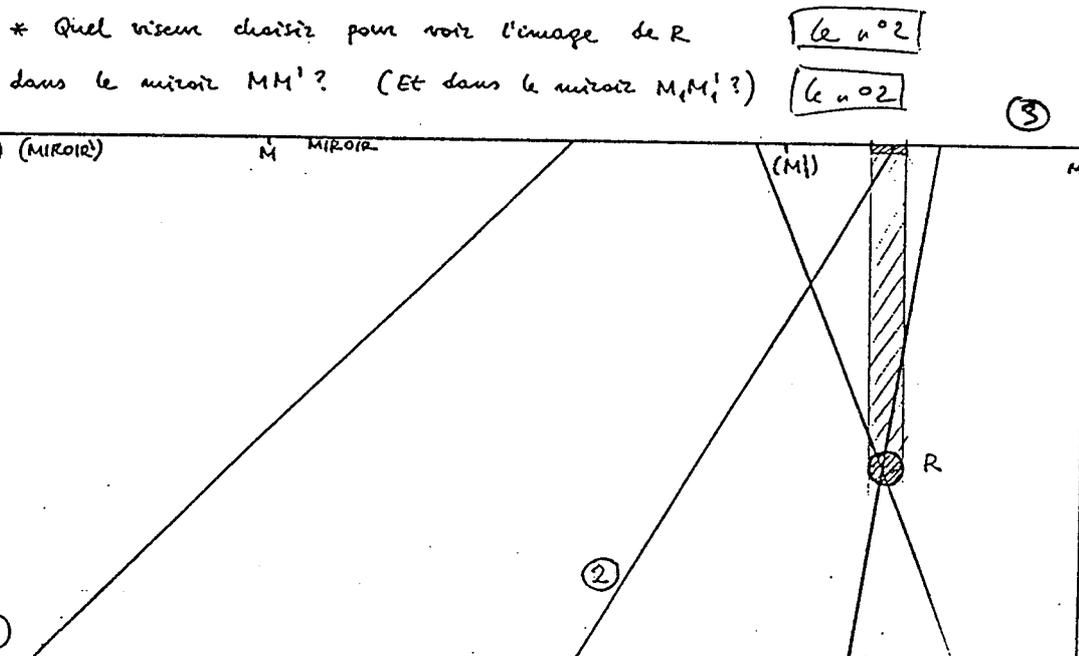


Pour 42% des réponses, l'image se trouve sur le miroir, au pied de la perpendiculaire issue de R sur le miroir, et l'existence de l'image est liée à l'existence de ce point.

Les constructions géométriques sont alors centrées sur la recherche de l'image sur le miroir au pied de la perpendiculaire et elles servent à justifier la conviction de ces étudiants.

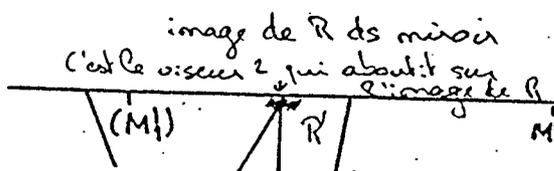
projection

La direction du viseur n°2 rencontre le miroir à l'intersection du plan du miroir et de la perpendiculaire issue de R à son plan (schéma 3).



Pour les étudiants qui choisissent le viseur 2, l'épingle R se "reflète" dans le miroir de façon "rectiligne" (26), "verticalement" (4) ou "orthogonalement" (6).

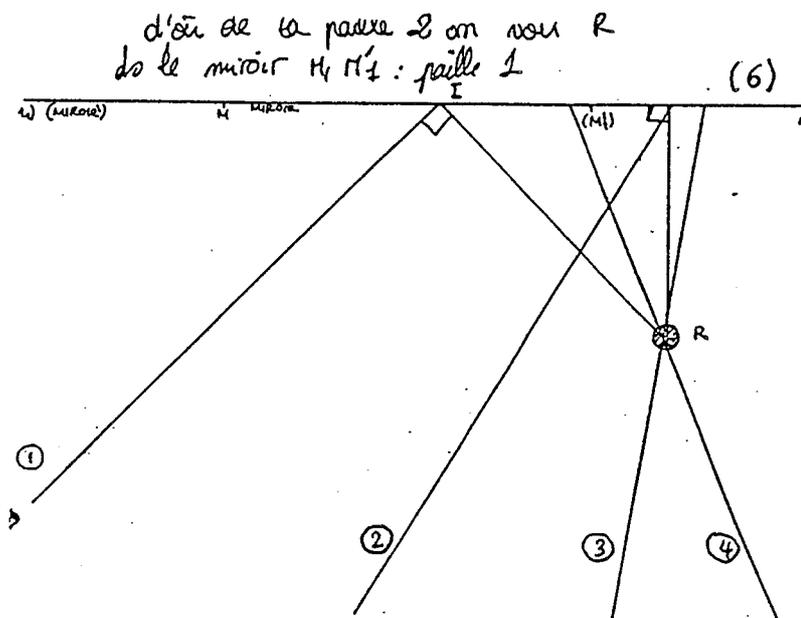
R se reflète ds le miroir de façon "rectiligne" donc R et R' sont face à face. Le viseur n°2 rencontre R' dans le miroir. (26)



Le décalage du miroir dans la question 2 supprime sur le schéma le rayon de construction orthogonal au miroir, supprimant du même coup l'image, et portant à 10% le choix du viseur 2 et à 35% le pourcentage de non réponse à cette question.

angle droit

Sur le schéma proposé, il se trouve que la direction du viseur 1 rencontre le miroir en un point I tel que IR lui soit perpendiculaire. La recherche d'un angle droit est la raison invoquée pour justifier le choix du viseur 1 (choix correct) dans la question 2 mais ce choix s'accompagne d'une justification fausse !



Lorsque le pied de la perpendiculaire ne rencontre plus le miroir à la question 2, le trouble grandit, et les étudiants recherchent une autre notion de géométrie, c'est

l'alignement objet, image et oeil :

35% des réponses donnent le choix du viseur 4 à la question q2 et donnent comme justification cet alignement.

L'image se trouverait alors sur la "ligne de visée", mais à condition que cette ligne rencontre le miroir. Ce type de réponse est obtenu également avec la même fréquence auprès d'autres publics (étudiants à l'université de Washington) [5].

"droites qui se coupent" (13) :

Un étudiant se souvient qu'en optique, on trace des droites et que lorsqu'elles se coupent, leur intersection s'appelle "image".

On trouve ici une difficulté mise en évidence par A. Fawaz et L. Viennot [6] et par W. Kaminski [7] dans l'étude de la correspondance objet-image donnée par une lentille mince :

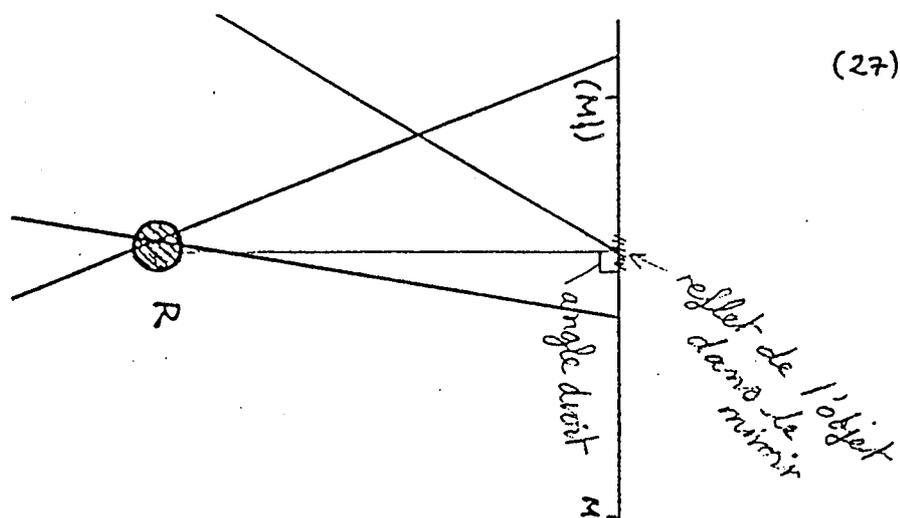
- "les rayons de construction sont des éléments constitutifs de l'image".

Le mode de raisonnement utilisé ici fait appel à des automatismes scolaires mal maîtrisés : de la position de l'image d'un point, comme symétrique du point objet par rapport au miroir plan, il ne reste que des traces non opérationnelles. Symétrie, projection, angle droit, droites qui se coupent sont associés à l'étude de la symétrie en mathématiques et non à une analyse physique du trajet de la lumière.

b) Qu'est-ce que l'image ?

20% des étudiants remplacent par le mot "reflet" le mot "image" pourtant proposé dans la question (Quel viseur choisir pour voir l'image ?) :

- "Le reflet de l'épingle dépend de la position du spectateur. Si l'on se place du 4 le viseur est dans l'axe de l'objet et le reflet de l'objet vu par le spectateur est sur le même axe"(5).



4 - Discussion.

Au cours de la discussion, il apparait que la référence à la vie courante, en particulier l'utilisation du miroir de la salle de bains, justifie pour les étudiants que l'image soit sur le miroir et que objet, miroir et image soient alignés. Une autre situation peut être évoquée, analogue à la deuxième position du miroir, celle de l'utilisation d'un rétroviseur : les étudiants perçoivent alors le non alignement.

Mais lorsqu'ils doivent produire une justification, les étudiants mobilisent aussi un savoir scolaire, davantage tiré du domaine mathématique que physique.

La notion d'image d'un point objet comme point d'où semble venir la lumière après réflexion est donc à construire.

CONCLUSION.

Ces deux séquences, construites sur des manipulations qualitatives simples, mais structurées ont permis de dresser un état des lieux : chacune d'elle met en évidence les difficultés liées à des situations physiques où les éléments du modèle de la lumière qu'on veut construire sont bien repérables.

On constate ainsi que la notion même de propagation rectiligne de la lumière n'est pas maîtrisée et que la diffusion n'est pas un phénomène reconnu par les étudiants.

D'autre part, deux conceptions fausses restent résistantes :

- la lumière est visible même si elle ne pénètre pas dans les yeux de l'observateur,
- l'image donnée par un miroir plan est assimilée à un reflet qui se trouve sur le miroir plan.

Alors qu'il s'agit d'adultes, on constate que les conceptions ont peu évolué au cours du cursus scolaire et sont proches de celles des enfants de 10-14 ans.

Faire émerger les conceptions fausses et les analyser en cours de séquence participe à la construction du modèle, et si l'évaluation est difficile, des indices montrent l'efficacité de la démarche.

Citons deux exemples rapportés par les étudiants :

Comment ajouter au défilé de mode de l'école un intermède avec jeux de lumières colorées dans l'espace, si l'usage de

fumée est interdit ? Ce fut pourtant le cas dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne en janvier 90. La lumière est invisible dans l'espace !

Comment faire la bonne mise au point, lorsqu'on veut photographier l'image d'un sujet donnée par un miroir?

D'autres séquences peuvent être construites, introduisant progressivement les éléments du modèle et les combinant dans des situations variées.

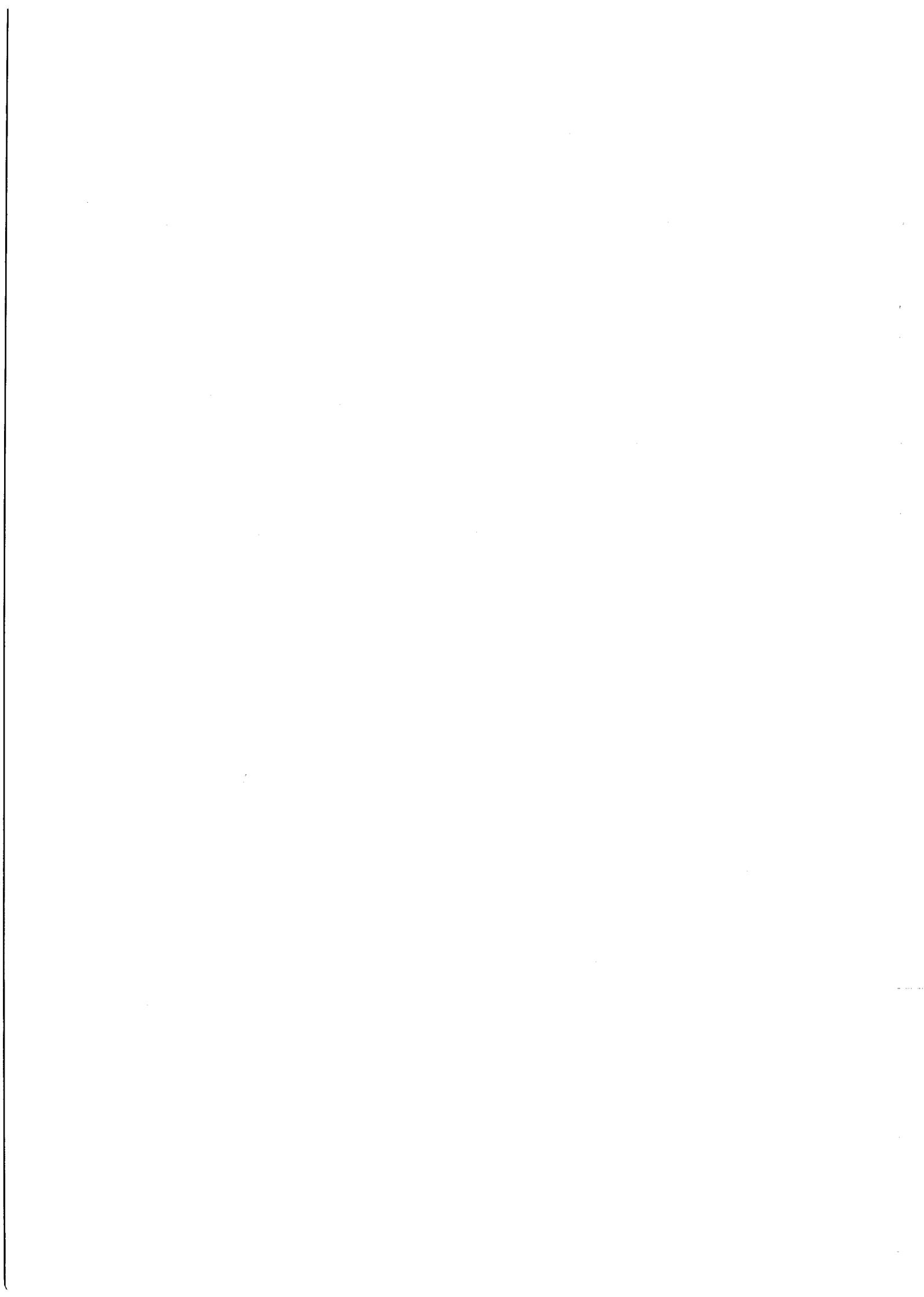
Si la première séquence proposée ici a précisé le concept de lumière entité dans l'espace, parvenant dans l'oeil pour provoquer l'impression visuelle, on peut jalonner le trajet de la lumière par un alignement d'épingles. Divers trajets, issus de R peuvent être obtenus par simple visée à partir desquels on peut vérifier les lois de la réflexion et construire la position de l'image.

La question sur le miroir, posée après enseignement, donne des réponses correctes à 100% pour la première position et à 80% lorsque le miroir est décalé. La réfraction et les propriétés des lentilles peuvent être abordées de la même façon.

On peut alors espérer s'appuyer sur quelques acquis à propos de la lumière pour interpréter les phénomènes de couleur.

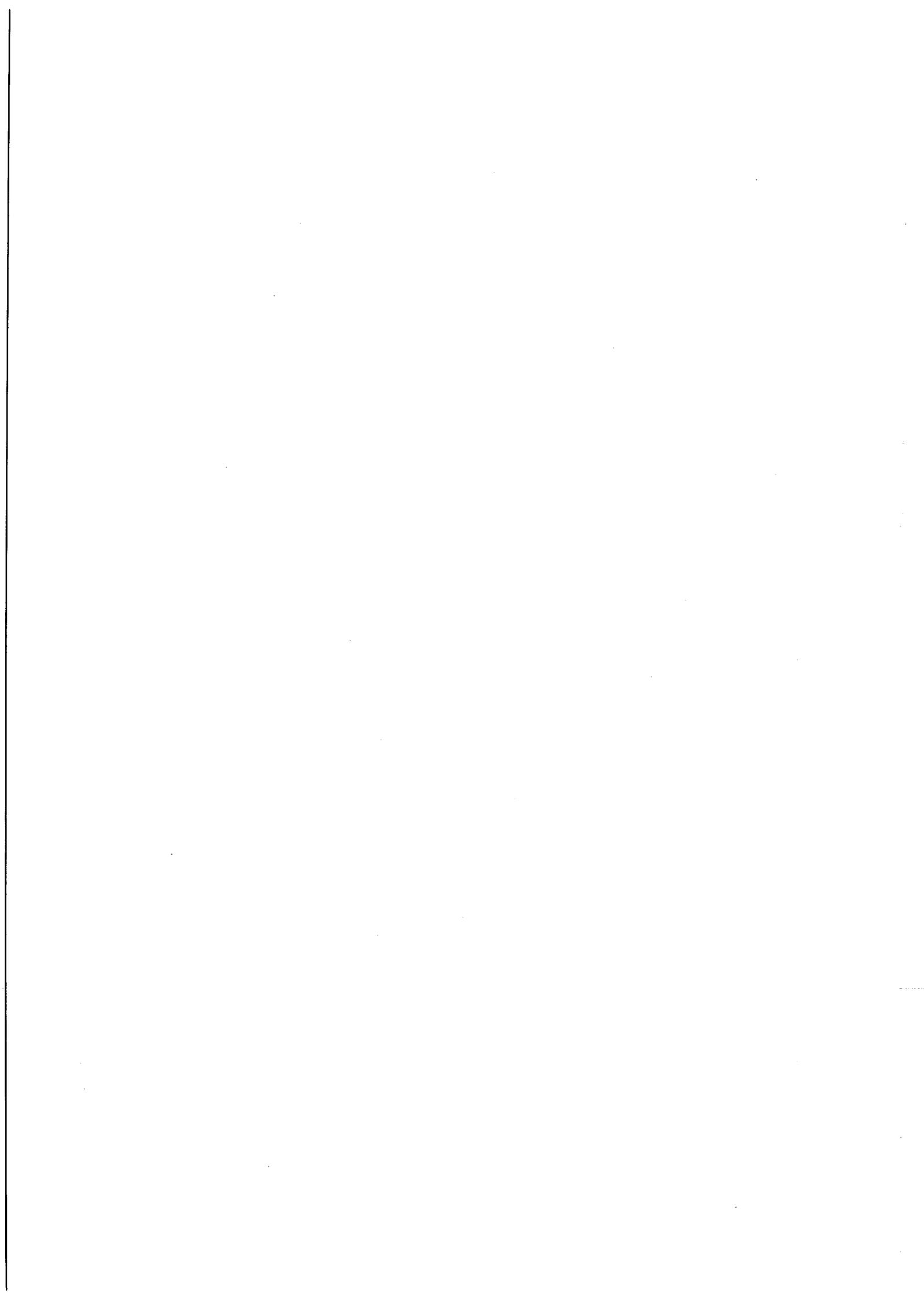
Ce sont quelques éléments de réponse à la question :

Faut-il enseigner la physique aux artistes ? Et quelle physique ?



Références bibliographiques.

- [1] KAMINSKI W. 1989, Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière, B.U.P. n° 716 ,pp 973-996.
- [2] LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A., 1988, Gestion d'activités de modélisation en classe, Aster n° 7, pp 121-141.
- [3] TIBERGHIE A., DELACOTE G., GHIGLIONE R., MATALON B. 1980, Conceptions de la lumière chez l'enfant de 10-12 ans, Revue Française de Pédagogie n° 50, pp 24-41.
- [4] GUESNE E., 1984, Children's ideas about light : les conceptions des enfants sur la lumière, New Trends in Physics Teaching, Vol. IV, UNESCO, Paris, pp 179-192.
- [5] GOLDBERG F.M., MCDERMOTT L.C., 1986, Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror, The Physics Teacher, Vol. 24 n° 8, pp 472-480.
- [6] FAWAZ A.A., VIENNOT L., 1985, Image optique et vision, B.U.P. n° 686, pp 1125-1146.
- [7] KAMINSKI W., 1986, Statut du schéma par rapport à la réalité physique, un exemple en optique, Mémoire de tutorat, DEA de Didactique, Université Paris 7.
- [8] LA ROSA C., MAYER M., PATRIZI P., VICENTI-MISSONI M., 1984, Commonsense knowledge in optics : Preliminary results of an investigation into the properties of light, European Journal of Science Education, Vol. 6, n° 4, pp 387-397.



SCIENCES PHYSIQUES

1. NATURE ET OBJECTIFS

L'enseignement des sciences physiques apporte aux élèves la connaissance et la compréhension des propriétés et des phénomènes de la nature et de l'utilisation qui en est faite par l'homme.

Il constitue donc un aspect essentiel de la culture de l'homme d'aujourd'hui, mais aussi il permet la poursuite d'études scientifiques et techniques au meilleur niveau.

L'objectif est de créer progressivement chez l'élève une attitude scientifique en lui faisant prendre conscience des exigences de rigueur que nécessite la recherche.

Une place doit être faite à l'enseignement des règles générales de sécurité; cet enseignement doit viser des objectifs aussi bien de comportement que de méthode, de savoir-faire ou de connaissance.

2. INSTRUCTIONS

La physique et la chimie sont des sciences expérimentales. Elles sont enseignées au cours de séances comportant une activité expérimentale des élèves.

Compte tenu de la nature de la discipline, c'est donc vers l'acquisition de la méthode expérimentale que tendront tous les efforts. Parmi les étapes fondamentales d'une démarche expérimentale, on distingue, en particulier: L'observation, la recherche et le contrôle des variables, la mesure; la formulation d'hypothèse, L'expérimentation en vue de vérifier une hypothèse.

Chaque séance doit être bâtie sur un nombre limité d'expériences simples -- voire une seule -- rattachées à l'environnement naturel ou technologique des élèves, faisant intervenir un nombre de facteurs bien maîtrisable et permettant de déboucher sur une conclusion claire. De la mise en place jusqu'à la conclusion, l'exploitation de l'expérience, animée par le professeur, doit comporter une participation active et ordonnée de l'ensemble des élèves.

Une pédagogie adaptée à la diversité des élèves doit leur permettre de tirer profit de cet enseignement qui vise à les faire parvenir au stade du raisonnement abstrait et à la maîtrise de quelques concepts scientifiques.

CLASSE DE QUATRIEME

3. PROGRAMME

1. OPTIQUE

1. Propagation de la lumière: Quelques sources et récepteurs de lumière. Propagation rectiligne de la lumière : chambre noire, modèle du rayon lumineux. Ombre propre ; aspects de la Lune au cours de ses phases. Ombre portée ; éclipses. Vitesse de la lumière dans le vide.

2. Analyse de la lumière : notions d'astrophysique. Irisations : arc-en-ciel. Spectre continu ; domaine visible, infra-rouge, ultraviolet. Spectre de raies : connaissance d'un astre par son spectre. Soleil, planètes, satellites, étoiles, galaxies.

COMPLÉMENTS

1. OPTIQUE

1.1 . Propagation de la lumière

1.1.1. Programme

Quelques sources et récepteurs de lumière.

Propagation rectiligne de la lumière : chambre noire, modèle du rayon lumineux.

Ombre propre ; aspects de la lune au cours de ses phases. Ombre portée ; éclipses.

Vitesse de la lumière dans le vide.

1.1.2. Objectif de connaissances et de savoir-faire

Distinction entre les différentes sources : objets lumineux par eux-mêmes et objets qui diffusent.

Noircissement à la lumière du précipité de chlorure d'argent et application à la pellicule photographique.

Sens de propagation de la lumière.

Construction d'une chambre noire.

Schématisation d'un faisceau et d'un rayon lumineux.

Origine des phases de la Lune et des éclipses.

Vitesse de la lumière ; notion d'année-lumière, ordres de grandeur en astronomie.

1.1.3. Commentaires

L'étude des sources et récepteurs de lumière sera obtenue par la mise en commun des résultats de recherches individuelles et de groupes ; L'étude de l'oeil et du principe des cellules « photoélectriques » est hors programme, le noircissement à la lumière du précipité de chlorure d'argent permettra d'illustrer le principe de la pellicule photographique, créant ainsi dans l'esprit des élèves un lien entre optique et chimie.

Il convient d'insister sur le sens de propagation de la lumière afin de supprimer l'idée fautive, encore ancrée dans l'esprit de certains élèves, d'un cheminement à partir de l'oeil.

La construction de la chambre noire sera effectuée par chaque élève ; L'étude expérimentale de l'obtention de la reproduction de l'objet et de sa modification en fonction de divers paramètres (longueur de la chambre, distance de l'objet, diamètre du trou) permettra de tirer des conclusions en accord avec un modèle géométrique simple ; la diffraction ne sera pas évoquée.

Les élèves seront entraînés à schématiser un faisceau et un rayon lumineux (en marquant toujours par une flèche sur le faisceau le sens de la propagation) à propos d'expériences de classe ou de phénomènes de la vie courante (faisceau d'un phare de marine ou d'automobile, rayons de soleil, rayon laser, ...).

On s'assurera que les mots « transparent » et « opaque » sont connus et compris. L'étude des ombres permettra d'amener les élèves à s'intéresser aux phénomènes naturels (phases de la Lune, éclipses) ; la reproduction de ces phénomènes sera obtenue au moyen d'expériences simples ; la pénombre ne sera pas évoquée, sauf très rapidement en réponse à une éventuelle question d'élève.

Les élèves retiendront que la lumière chemine entre les astres ou dans l'air en parcourant 300 000 km par seconde ; cette connaissance, ainsi que celle du rayon de la Terre, et de la compréhension du terme « année-lumière » permettront de fixer des ordres de grandeur en astrophysique : la lumière met 1,3 seconde pour nous parvenir de la Lune, huit minutes à partir du Soleil, quatre ans à partir de l'étoile la plus proche, deux millions d'années à partir de la galaxie d'Andromède.

1.2. Analyse de la lumière : notions d'astrophysique

1.2.1. Programme

Irisations : arc-en-ciel. Spectre continu ; domaine visible, infrarouge, ultraviolet.

Spectres de raies : connaissance d'un astre par son spectre.

Soleil, planètes, satellites, étoiles, galaxies.

1.2.2. Objectifs de connaissances et de savoir-faire

Couleurs de l'arc-en-ciel : infrarouge et ultraviolet.

Distinction entre spectres continus et spectres de raies.

Observation, avec un réseau, d'un spectre continu (à partir du filament d'une lampe à incandescence) et d'un spectre discontinu (fente éclairée par la lumière de sodium ou par un tube à gaz) ✓ 1.2.3. Commentaires

Les irisations d'une bulle de savon, de l'huile sur la route, d'un biseau de miroir épais, d'un verre d'eau sur la nappe, de l'arc-en-ciel, d'un disque compact, permettent de faire comprendre, sans que l'on en explique, même succinctement, la formation, que la lumière blanche est la superposition d'une infinité de couleurs qui sont séparées dans les observations précédentes.

L'arc-en-ciel sera le prétexte pour stimuler les facultés d'observation ; heures de visibilité ; positions relatives du Soleil, du nuage, de l'observateur ; position du rouge dans l'arc-en-ciel ; existence d'un arc du second ordre...

L'observation des spectres continus (lampes à incandescence) ou de spectres discontinus (« flamme du sodium », lampe à vapeur de mercure, enseignes) se fera préférentiellement à l'aide d'un réseau plutôt que par un prisme (le réseau, dans les conditions économiques actuelles, étant moins coûteux).

L'existence de l'infrarouge et de l'ultraviolet sera signalée et on insistera sur leur intervention dans de nombreux phénomènes de la vie courante.

A propos de l'alinéa « connaissance d'un astre par son spectre » on se limitera à quelques considérations qualitatives portant sur la température et la composition des objets célestes.

L'étude de l'astrophysique sera limitée à l'examen de documents (photographies, diapositives) sur le Soleil, les planètes, les satellites, les étoiles, les galaxies ; mais, si on le désire, cette étude faite en classe pourra être prolongée par un travail autonome, au C.D.I. ou à la maison, dans un laboratoire ou un planétarium, en s'appuyant, lorsqu'il existe, sur les possibilités offertes par un club d'astronomie. Cette étude, tout en fournissant des exemples de conditions exceptionnelles par rapport à celles que l'on rencontre sur la Terre, permettra au professeur de souligner l'universalité des lois physiques.

CLASSE DE TROISIEME

3. PROGRAMME

1. OPTIQUE

1. *Image donnée par une lentille.*

Image du soleil donnée par une lentille convergente.

Foyer image. Distance focale. Dioptrie.

Image réelle d'un objet réel donnée par une lentille convergente. Foyer objet.

2. Utilisation raisonnée d'un appareil photographique.

COMPLÉMENTS

1. OPTIQUE

1.1. Image donnée par une lentille

1.1.1 *Programme*

Image du Soleil donnée par une lentille convergente.

Foyer image. Distance focale. Dioptrie.

Image réelle d'un objet réel donnée par une lentille convergente.

Foyer objet.

1.1.2. *Objectifs de connaissances et de savoir-faire*

Utilisation du vocabulaire : axe, centre optique, foyer objet, foyer image, distance focale.

Relation entre la distance focale et la convergence mesurée en dioptrie.

Distinction entre lentille convergente et lentille divergente.

Positions respectives par rapport à la lentille du foyer objet et du foyer image.

Mesure de la distance focale d'une lentille convergente.

Obtention sur un écran de l'image réelle d'un objet réel avec une lentille convergente.

Construction de la marche d'un faisceau issu d'un point objet et convergent au point conjugué appartenant à l'image.

Construction géométrique de l'image d'un objet en utilisant le rayon passant par le foyer objet et celui parallèle à l'axe.

Utilisation d'un projecteur de diapositives. Mise au point.

1.1.3. Commentaires

Seule, l'étude des lentilles convergentes est au programme. Une conversation avec les « porteurs de verres correcteurs » précisera le sens du mot « dioptrie » et permettra de mentionner les lentilles divergentes, brièvement. Aucune étude de l'oeil et de ses amétropies n'est à faire.

L'observation de l'image du Soleil sera réalisée en tenant compte des règles de sécurité ; un filtre convenable sera utile.

L'observation d'un objet très éloigné et celle d'un objet donnant une image très éloignée permettront de mettre en évidence expérimentalement le foyer image et le foyer objet d'une lentille convergente, ainsi que leurs positions respectives par rapport à la lentille (le foyer objet est le point de l'axe « limite » donnant une image très éloignée).

L'étude des caractéristiques de l'image réelle d'un objet réel dans une lentille convergente se fera par comparaison avec celle de la reproduction d'un objet dans une chambre noire, vue en classe de Quatrième, on fera remarquer l'accroissement considérable de la luminosité par rapport au cas de la chambre noire et on insistera sur la convergence du faisceau produit par la lentille.

On habituera les élèves à construire le faisceau qui, issu d'un point de l'objet, s'appuie sur le bord de la lentille et converge au point conjugué de l'image ; on fera remarquer l'existence de deux rayons incidents privilégiés, l'un parallèle à l'axe et l'autre passant par le foyer objet, ces deux rayons donnant des rayons émergents prévisibles.

On utilisera ensuite ces deux rayons pour construire géométriquement l'image d'un objet donné et on vérifiera expérimentalement la position et la grandeur de cette image, montrant ainsi l'accord entre la théorie et l'expérience.

L'existence du centre optique sera vérifiée géométriquement et expérimentalement.

L'étude des images virtuelles et des objets virtuels est hors programme.

Les formules de position et de grandissement sont hors programme.

Pour le projecteur de diapositives, on s'intéressera à la mise au point et à la taille requise pour l'écran.

1.2. Appareil photographique

1.2.1. Programme

Utilisation raisonnée d'un appareil photographique.

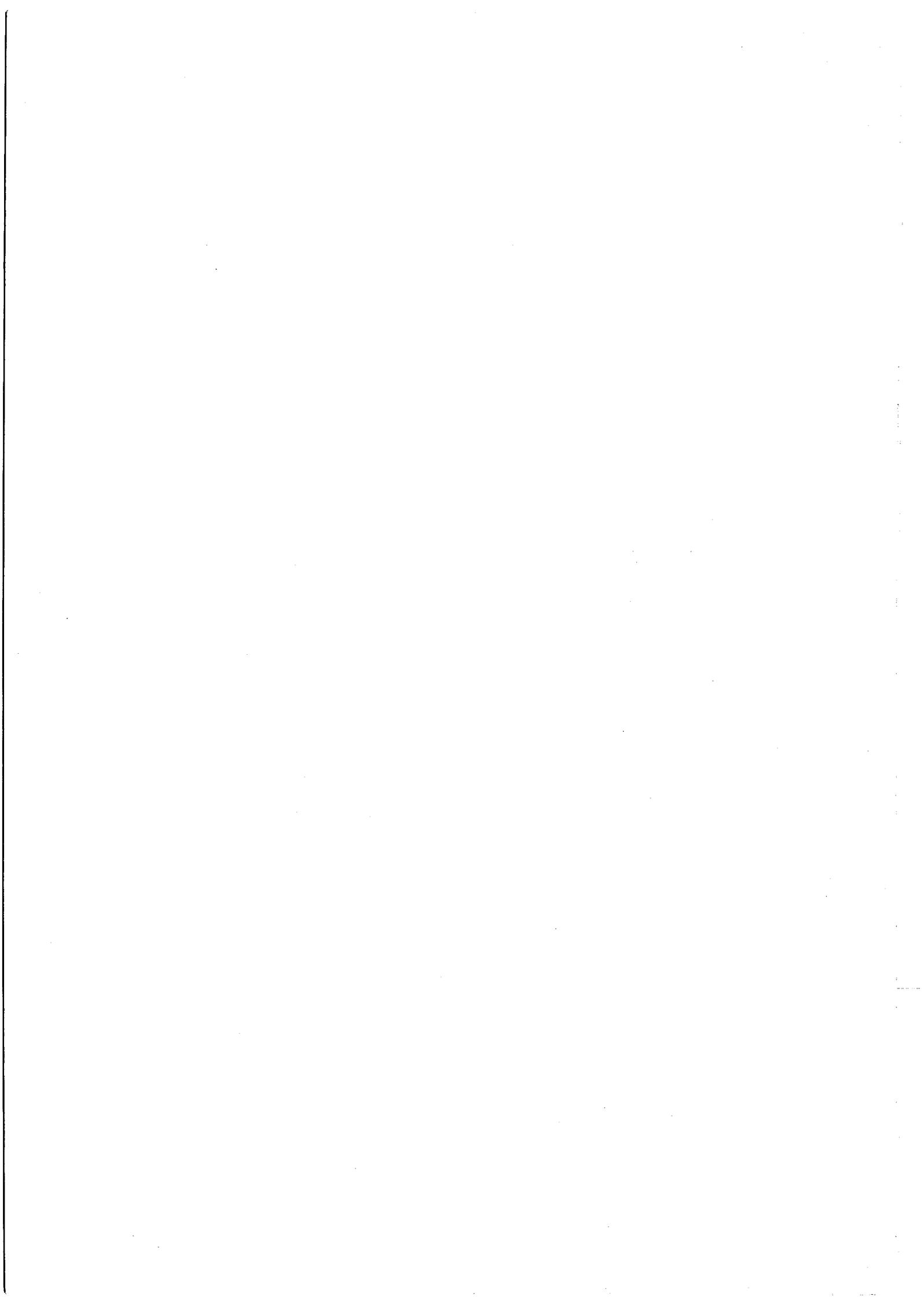
1.2.2. Objectifs de connaissances et de savoir-faire

Discussion du temps de pose et du rôle du diaphragme.
Développement et fixage.

1.2.3. Commentaires

Les élèves ont appris le maniement de l'appareil photographique à l'école élémentaire ; beaucoup utilisent un appareil personnel dans la vie courante.

Il s'agit ici de les faire réfléchir sur les problèmes de mise au point et de profondeur de champ en relation avec l'étude précédente des lentilles convergentes, les problèmes de l'exposition en relation avec le temps de pose, les problèmes de développement en relation avec l'étude des récepteurs de lumière effectuée en classe de Quatrième. Les savoir-faire correspondants pourront être approfondis avec l'appui d'un club de photographie.



RESUME

Ce travail prend pour point de départ les études exploratoires sur les conceptions des élèves et des adultes en optique élémentaire. La première partie, centrée sur le thème de la chambre noire, présente une investigation des difficultés courantes, où il apparaît que les notions les plus fondamentales du domaine sont loin d'être évidentes, et suscitent des difficultés très semblables chez les élèves et les maîtres des classes de quatrième. A partir de ce résultat, l'auteur définit une liste d'objectifs conceptuels pour un enseignement qui forme un ensemble cohérent sur une durée d'une trentaine d'heures.

La spécification de cet enseignement est faite dans un second chapitre où sont précisés, sous la forme de cinq séquences, objectifs, interventions du maître, manipulations et questions posées, difficultés à prévoir et situations susceptibles d'enrichir la discussion avec les formés. L'activité de ceux-ci est constamment sollicitée, notamment par des exercices du type "prévision/confrontation avec l'expérience". La première séquence est consacrée à la composition de la lumière et la synthèse des couleurs, la deuxième - à la propagation rectiligne et isotrope de la lumière, la troisième - à la formation des images par lentilles minces convergentes, la quatrième - à l'analyse de ce qu'est une "lumière visualisée" et la dernière - à un thème présenté en tant que synthèse : la chambre noire.

La troisième partie fournit des éléments d'une double évaluation: d'une part celle des acquisitions conceptuelles des maîtres ayant eux-mêmes reçu l'enseignement décrit plus haut, d'autre part, celle du degré et des raisons de leur adhésion au projet d'en reprendre à leur compte des éléments vis à vis de leurs propres élèves. Les informations recueillies de ce double point de vue, notamment les importantes restructurations observées chez les stagiaires dans l'appréciation des difficultés du domaine, fournissent des éléments précis en vue d'une expérimentation directe sur les élèves.

MOTS CLES

DIDACTIQUE
ENSEIGNEMENT
PHYSIQUE
OPTIQUE
CONCEPTIONS
EVALUATION
ACTIVITES EXPERIMENTALES
COLLEGE