

Procédures didactiques de déstabilisation du système de représentations spontanées des élèves pour la propagation de la lumière

Konstantinos RAVANIS, Yannis PAPAMICHAËL

Université de Patras
Département des Sciences de l'Éducation
(Section Préscolaire)
Rion, Patras, 26500 Grèce.

Résumé

Cette recherche porte sur le rôle de la médiation sociale dans la déstabilisation didactique d'une conception «horizontale» de la propagation de la lumière chez des élèves de l'école primaire. La résistance de ce système de représentation spontané à des tentatives de déstabilisation a été analysée sur deux groupes d'enfants âgés de 10 à 11 ans, dont l'un (groupe expérimental) a participé à des interactions didactiques visant à créer chez les sujets un conflit cognitif, tandis que l'autre (groupe témoin) a suivi l'enseignement scolaire traditionnel. Dans toutes les situations expérimentales étudiées, les progrès entre le pré-test et les post-tests ont été plus marquants pour les sujets du groupe expérimental, tant au niveau de l'explication des phénomènes liés à la propagation de la lumière en ligne droite qu'au niveau de la stabilité de ces acquisitions.

Mots clés : didactique de la physique, représentations des élèves, optique géométrique.

Abstract

This research project investigates the role that social mediation plays in the destabilization of representations of the concept of horizontal transmission of light of primary school pupils. The resistance that this system of representations shows in the attempt to destabilize it has been studied with two groups of children, 10-11 years old. One of the groups (the experimental) participated in a teaching process which aimed to lead pupils to cognitive conflict ; the second (the control group) followed traditional teaching methods. In all experimental situations that were studied the progress between pre-test and post-tests was significant for the subjects of the experimental group both at the level of explanation of the phenomena of horizontal transmission of light, and at the level of the stability of cognitive acquisitions.

Key words : *didactics of physics, pupils' representations, geometrical optics.*

Resumen

Esta investigación trata sobre el rol de la mediación social en la desestabilización didáctica de una concepción «horizontal» de la propagación de la luz en los alumnos de la escuela primaria. La resistencia de este sistema de representación espontánea en tentativas de desestabilización ha sido analizada en dos grupos de niños de edad comprendida entre 10 y 11 años, donde uno de ellos (grupo experimental) participó en interacciones didácticas enfocadas a crear en los alumnos un conflicto cognitivo, mientras que el otro grupo (grupo control) siguió la enseñanza escolar tradicional. En todas las situaciones experimentales estudiadas, los progresos entre el pre-test y los post-tests han sido más notables para los sujetos del grupo experimental, tanto en el nivel de la explicación de los fenómenos ligados a la propagación de la luz en línea recta, como en el nivel de la estabilidad de esas adquisiciones.

Palabras claves : *didáctica de la física, representaciones de los alumnos, óptica geométrica.*

1. PROBLÉMATIQUE

Comme cela a été souvent démontré dans des recherches descriptives centrées sur les représentations de la lumière et des effets qui lui sont associés chez des enfants de 8 à 15 ans, l'obstacle principal à la compréhension de ces notions découle de la difficulté qu'éprouvent ces sujets à reconnaître la lumière en tant qu'entité autonome dans l'espace (Tiberghien et al., 1980 ; Stead & Osborne, 1980 ; Anderson & Smith, 1982 ; Andersson & Kärqvist, 1982, 1983 ; Guesne, 1984, 1985). Selon la plupart de ces auteurs, cette difficulté provient de la tendance, chez les sujets de cet âge, à associer la lumière exclusivement à sa source ou aux effets visibles qu'elle provoque dans l'espace «vécu».

Pour l'optique géométrique, la notion de propagation rectiligne du rayon lumineux constitue une connaissance fondamentale de l'expert (Halbwachs, 1974, p. 53). Ainsi, même si nous savons aujourd'hui que la lumière en réalité ne se déplace pas seulement en ligne droite, «*l'idée de la propagation rectiligne constitue une approche commode pour décrire ce qui arrive dans notre monde familier*» (Feynman, 1985, p. 88). Feher et Rice (1988) ont demandé à des enfants de 8 à 14 ans de dessiner des images et des ombres d'objets éclairés par plusieurs sources ; ils ont constaté que dans ces dessins, les ombres ne dépendent pas des sources de lumière. Ainsi, même lorsque dans ces représentations iconiques apparaît un ensemble de lignes diagonales provenant de la source, les différentes directions ne sont pas équivalentes pour les sujets, qui semblent privilégier certaines directions en fonction de l'agencement spatial des objets proposés dans le problème physique donné. Guesne (1984) aboutit à des conclusions similaires avec des sujets de 13-14 ans. Guesne constate aussi que 30 % des enfants seulement évoquent la propagation rectiligne et parmi ceux-là, nombreux sont ceux qui reconnaissent cette qualité à la lumière seulement quand il s'agit de sa direction en ligne horizontale.

Dans la perspective piagétienne, cette forme d'explication centrée sur les impressions immédiates caractérise le mode de fonctionnement de la pensée pré-opératoire : reconnaître la lumière en tant qu'entité autonome exige en effet le développement de la transitivité opératoire, qui constitue «*l'une des conditions nécessaires de la construction des groupements d'opérations concrètes*» (Piaget & Garcia, 1971, p. 21). La caractéristique essentielle de la pensée intuitive par rapport à la reconnaissance de la lumière en tant qu'entité autonome est alors, justement, que cette forme de pensée ignore la propagation pour se centrer exclusivement tantôt sur la source lumineuse, tantôt sur les surfaces éclairées.

Toutefois, la description de l'organisation des connaissances du sujet ne peut se réduire aux notions opératoires piagésiennes. Dans cette approche, rappelons-le, «*il n'existe jamais de contenu en soi. Le contenu d'une proposition physique, autrement dit le fait qu'elle exprime, comporte lui-même une forme qui englobe un contenu d'échelle inférieure...*» (Piaget, 1958, p. 98). Il est cependant possible que les conceptions intuitives de l'environnement physique constituent pour le sujet de véritables productions, élaborées sous forme de «*modèles mentaux*» (Gentner & Stevens, 1983), à travers lesquels différents concepts (propagation, intensité, vitesse...) se trouvent indistinctement réunis dans une seule et même notion : la lumière. La question proprement didactique qui se pose alors à ce niveau est de savoir comment l'enseignant pourrait contribuer à un guidage des sujets vers un nouveau modèle explicatif ; ou, pour le dire autrement, comment il pourrait aider l'élève à réorganiser ses représentations spontanées du problème. Si en effet ces représentations ont une histoire et un

développement (Ogborn & Bliss, 1990), une des fonctions de l'école est justement de familiariser les élèves avec l'usage de l'explication causale en substituant à ses représentations primitives les modèles scientifiques imaginés, afin de rattacher certains phénomènes à un facteur causal inobservable (Landsheere, 1979). On utilise ici le concept de la causalité au sens piagétien où «*la causalité consiste, à chaque niveau du développement, en un processus d'attribution d'opérations cognitives du sujet à l'objet*» (Bovet et al., 1986).

Cependant, il est aujourd'hui admis que ces connaissances primitives du sujet s'avèrent très résistantes à l'enseignement scientifique tel qu'il se pratique à l'école (Gunstone & White, 1981 ; McCloskey, 1983 ; Howe et al., 1990). Ainsi, «*la construction des concepts scientifiques n'est pas un processus qui peut intervenir ex abrupto, à l'écoute d'un exposé ou à la lecture de manuels[...] il semble donc important de disposer de descriptions des changements conceptuels possibles en référence aux conditions d'apprentissage proposés aux élèves*» (Weil-Barais & Lemeignan, 1990, p. 393). Si donc il semble aujourd'hui admis que le sujet ne comprend une idée que s'il est familiarisé avec elle, il reste à la recherche en didactique à décrire ces processus de familiarisation et de concrétisation des notions abstraites. Dans le domaine de la physique, la plupart des chercheurs insistent à la fois sur le rôle de l'observable et de la démarche d'observation lors de l'apprentissage, ainsi que sur l'élaboration de guidages pertinents, susceptibles de permettre aux élèves de faire des inférences à partir de nouvelles propositions (Donaldson, 1978 ; Weil-Barais et al., 1990). En effet, dans l'approche psycho-didactique, le changement des conceptions primitives de l'élève ne peut se produire de façon spontanée. Leur déstabilisation nécessite de mettre en œuvre des médiations didactiques dans l'apprentissage et l'enseignement de contenus spécifiques de connaissances. Cependant, si un concept nouveau répond à des situations nouvelles auxquelles le sujet se trouve confronté, «*ce constructivisme doit tenir compte des conditions d'interaction sociale dans lesquelles se fait le travail de l'enfant et notamment de l'interaction de tutelle, du conflit avec l'autre, de la communication langagière*» (Vergnaud, 1989, p. 453).

C'est dans le même sens que de nombreuses recherches en psychologie sociale du développement cognitif analysent la dynamique sociale qui médiatise le rapport de l'enfant à l'objet de connaissance (Doise & Mugny, 1981 ; Perret-Clermont, 1979 ; Carugati & Mugny, 1985 ; Gilly & Roux, 1988 ; Parisi, 1988). Dans ce cadre, «*l'adulte peut soit présenter un modèle de réponses à l'enfant (aussi bien correctes qu'incorrectes d'ailleurs), soit n'effectuer qu'une remise en question systématique sans présentation d'un modèle alternatif*» (Carugati & Mugny, 1985, p. 64). Pour ces auteurs, la prise de conscience par l'enfant «*de l'existence de réponses possibles autres que la sienne*» est une source particulièrement efficace de décentration

cognitive. Ceci peut d'ailleurs s'expliquer par le fait «*qu'autrui fournit également des informations qui peuvent aider l'enfant ou les partenaires à élaborer une nouvelle réponse*» (p. 65). Cependant, se pose à ce niveau le problème de la définition du rôle des modèles à travers lesquels s'effectue l'apprentissage. En effet, le modèle peut être défini d'une part comme un facteur qui facilite la compréhension des variables, des paramètres et des relations entre variables, donc l'évolution des représentations spontanées, d'autre part comme un instrument qui permet la systématisation logique des idées des élèves (Giordan & Martinand, 1987).

En ce qui concerne l'apprentissage de notions physiques, il est généralement admis «*qu'on ne peut pas directement agir sur le système de représentation des élèves en espérant engendrer un changement de conception. Ce système est extrêmement stable et résiste aux contradictions ; même les expériences physiques les plus évidentes ne suffisent pas à perturber les croyances des élèves*» (Amigues & Caillot, 1990, p. 484). Il nous semble donc légitime d'associer à la perspective décrite par Vygotski (1962) en termes de «*zone de proche développement*» une source de contradiction de nature sociale, directement liée à la dynamique interactive de la situation expérimentale (Weil-Barais, 1994). Ainsi l'hypothèse de l'efficacité du conflit socio-cognitif dans la didactique de la physique ne contredit pas, à notre avis, l'idée selon laquelle «*le progrès de l'enfant serait maximal lorsque le niveau cognitif implicite du modèle proposé à l'enfant est juste légèrement supérieur à celui de l'enfant*» (Carugati & Mugny, 1985, p. 65). S'il est vrai qu'un modèle correct n'est pas toujours nécessaire à l'induction d'un progrès, il n'en reste pas moins que dans les situations didactiques réelles, surtout en physique, il est souvent très difficile de fournir à l'enfant des réponses à la fois «*efficaces*» et relevant d'un modèle similaire à celui de l'enfant. Cependant, comme le remarque Amigues (1988, p. 129), «*l'élaboration de significations successives, en cours de communication, permet aux élèves individuellement de spécifier, en termes «fonctionnels», des représentations qui ne pouvaient pas l'être initialement*».

Ainsi, l'existence d'un modèle correct dans la situation éducative ne doit pas être considérée comme synonyme d'une acceptation implicite de la part du chercheur du postulat empiriste, selon lequel les processus de changement cognitif se déroulant lors d'une interaction sociale se réduisent en dernière analyse à des effets d'imitation. L'usage didactique des confrontations socio-cognitives, dont les bénéfiques sont explicables par le processus de déstabilisation qu'elles mettent en œuvre chez l'élève tant au niveau de la procédure ou du raisonnement, qu'au niveau de la représentation ou de l'évaluation de la tâche, vise à provoquer un effort de remodelisation, effectué par l'élève même, mais toujours dans une situation sociale dont la dynamique consiste à guider l'enfant vers une «*démarche de preuve*»

(Johsua & Dupin, 1988). Celle-ci comporte toujours un support expérimental conduisant le sujet vers une démarche d'observation et un guidage associé aux interactions de tutelle qui permettent l'élaboration d'«*un contexte bien particulier de dialogue, appelé système commun de significations*» (Amigues & Caillot, 1990, p. 484). Dans une approche explicitement interactionniste, Johsua et Dupin (1988, p. 157) proposent l'utilisation de «*l'analogie modélisante*» qui, au lieu de présenter des modèles «corrects», peut conduire les élèves à «*plusieurs hypothèses explicatives contradictoires... Pour trancher, le recours à des connaissances nouvelles s'avère nécessaire, produites, par exemple, par de nouvelles expériences. Celles-ci, imaginées et conduites dans le seul but de permettre un choix entre les hypothèses présentes prendront alors le statut «d'expériences-test», étape majeure dans une démarche de modélisation*». Ainsi, comme les auteurs le soulignent, quelques situations d'apprentissage socialement marquées peuvent permettre la verbalisation et la systématisation logique des idées des élèves.

Afin que le sujet s'engage activement dans une démarche de remodelisation à partir de ces «théories en action» sur la propagation de la lumière dans l'espace, et afin qu'il puisse reconnaître la validité de ce qui lui est proposé à travers l'interaction de tutelle, nous avons opérationnalisé notre hypothèse de déstabilisation didactique sous la prévision suivante : les élèves participant aux procédures didactiques expérimentales auront tendance à reconnaître la propagation de la lumière en ligne droite, quelle que soit sa direction dans l'espace, plus fréquemment que les élèves d'un groupe de sujets ayant suivi un enseignement habituel.

Cette recherche tente de répondre à la question de l'efficacité d'une interaction didactique conflictuelle qui pose comme objectif le dépassement des obstacles dans le raisonnement des élèves, obstacles créés par leurs propres représentations (Martinand, 1986).

2. MÉTHODE

Notre effort s'est porté dans deux directions. Tout d'abord, dans une perspective descriptive, nous avons examiné les représentations spontanées des sujets sur la trajectoire de la lumière, avant qu'ils en reçoivent un enseignement systématique à l'école. D'autre part, nous avons organisé, au sein de notre situation expérimentale, la procédure didactique de déstabilisation des conceptions naturelles des élèves. Cette procédure visait à conduire les élèves à un conflit cognitif par une intervention didactique. En effet, à la suite de l'analyse systématique entreprise à partir du pré-test, nous avons pu distinguer deux obstacles principaux dans les raisonnements et les explications des élèves :

- une difficulté à reconnaître la propagation de la lumière dans toutes les directions,
- une difficulté à reconnaître la propagation rectiligne de la lumière.

C'est pour ces raisons que nous avons guidé nos interventions vers ces deux objectifs éducatifs concrets. Il est évident que le contrat didactique de la situation expérimentale se différencie du contrat didactique scolaire traditionnel lors de l'enseignement des sciences physiques. Cette procédure a eu lieu en dehors de la classe, avec de petits groupes d'élèves à qui on avait bien expliqué que cet effort n'avait rien à faire avec le programme scolaire ni avec leur évaluation de la part de l'enseignant. Cependant l'expérimentateur a bien joué le rôle de l'enseignant-animateur d'un processus didactique et les enfants ont travaillé individuellement, sans collaborer entre eux. Ce choix est justifié par notre souci de limiter autant que possible les interactions entre élèves qui caractérisent des situations conçues pour l'expérimentation et n'ayant que peu de rapport avec les conditions réelles de l'enseignement dans la classe.

2.1. L'échantillon et le recueil de données

104 sujets (50 garçons, 54 filles de 9,5 à 10,5 ans - moyenne d'âge : 9,94) ont participé à cette recherche. Il s'agit des élèves qui n'ont pas été en mesure de fournir des réponses correctes aux questions concernant la propagation rectiligne de la lumière ; ils ont été retenus après un pré-test sur un échantillon plus large (132 élèves), par des entretiens individuels dirigés, utilisant dans une certaine mesure des techniques piagétienne. La population provient de onze classes différentes. Leurs performances scolaires sont moyennes. Leurs parents totalisent à eux deux 12 à 24 ans de scolarité sans études universitaires ; ils ont poursuivi leurs études après l'école élémentaire, mais ne disposent pas de connaissances approfondies en physique dans la mesure où ils n'ont pas fait d'études universitaires.

Ces sujets, qui dans leur compréhension des phénomènes liés à la propagation de la lumière, font preuve d'un type de raisonnement que nous pourrions appeler « intuitif », ont été répartis en deux groupes (expérimental et contrôle) composés de 52 sujets chacun (25 garçons, 27 filles). Deux mois après le pré-test, les sujets du groupe expérimental ont participé aux interactions de tutelle visant à la déstabilisation de leurs conceptions naïves, tandis que les enfants du groupe contrôle ont suivi l'enseignement de la même matière dans les classes d'effectif « normal » et dans le cadre des horaires scolaires « normaux ».

Chaque séance d'enseignement expérimental a duré dix minutes. Cet enseignement a été effectué par un chercheur et faisait partie d'une unité

didactique sur la lumière. La procédure a eu lieu dans une salle spécialement aménagée à cet effet à l'intérieur des écoles.

Le dépistage des représentations des sujets quant à la propagation de la lumière dans toutes les directions a été réalisé par la même technique, tant au niveau du pré-test qu'au niveau des deux post-tests qui ont suivi, deux et quatre mois après la phase expérimentale. Le deuxième post-test, quatre mois après l'intervention didactique, a été effectué dans le but de vérifier si les transformations réalisées dans le raisonnement des enfants du groupe expérimental sont restées statistiquement significatives par rapport aux transformations réalisées chez les enfants du groupe contrôle.

2.2. Dispositif et entretiens lors du pré-test et des post-tests

Nous présentons ci-dessous le dispositif, la structure des protocoles ainsi que quelques extraits d'interviews à titre d'exemple.

Tâche 1. On pose verticalement deux cartons de 17 cm x 25 cm sur des supports horizontaux stables de façon à ce qu'ils se trouvent à une distance de 12 cm l'un de l'autre. Le premier de ces cartons comporte un orifice circulaire de 0,5 cm à une hauteur de 17 cm de son point d'appui. À une distance de 8 cm diagonalement et au-dessous de l'orifice nous plaçons une source lumineuse (4,8 V - 2,4 W, voir figure 1).

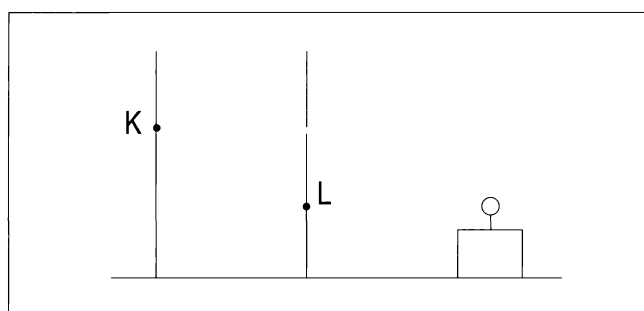


Figure 1 : Dispositif de la tâche 1

Avant d'allumer la lampe, nous demandons au sujet de prévoir si le deuxième carton va être éclairé lorsqu'on allumera la lampe. Si la réponse est positive, nous poursuivons l'entretien en demandant des précisions («où ça va éclairer ?», «comment la lumière va se diriger ?»). Par exemple :

Expérimentateur. *Nous allumons la lampe. Est-ce que le deuxième carton va être éclairé ?*

Élève A. *Oui.*

E. *Sur quel point sera-t-il éclairé ?*

A. *Sur ce point-ci, en face du trou (il montre le point K).*

E. *Sur un autre point ?*

A. *Non.*

E. *Comment la lumière y arrive-t-elle ?*

A. *Elle entre par là, par le trou... et elle sort par ici... puisqu'elle entre par le trou elle doit se montrer en face du trou.*

Si la réponse est négative, nous demandons au sujet de nous décrire quelle sera, à son avis, la trajectoire de la lumière.

Expérimentateur. *Si nous allumons la lampe, est-ce que le deuxième carton va être éclairé ?*

Élève B. *Non. Le premier carton est épais, la lumière ne passera pas.*

E. *Comment la lumière y arrivera-t-elle ?*

B. *Elle ira tout droit et elle tombera ici (point L).*

Tâche 2. Nous répétons cette expérience en posant la source de lumière à une distance de 8 cm diagonalement au-dessus de l'orifice (voir figure 2).

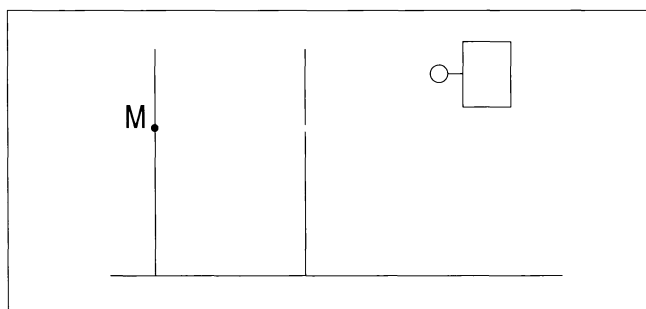


Figure 2 : **Dispositif de la tâche 2**

Nous posons ensuite au sujet les mêmes questions que dans l'expérience précédente.

Expérimentateur. *Nous allumons la lampe. Est-ce que le carton qui est derrière va être éclairé ?*

Élève C. *Il va être éclairé... la lumière passera par ce trou et elle pourra aussi éclairer l'autre carton... mais seulement ici en face du trou (point M).*

E. *Est-ce que tu peux me montrer où ira la lumière ?*

C. *De la lampe au trou... et du trou à ce point-ci (point M).*

Tâche 3. On pose verticalement deux cartons de hauteur inégale (17 cm x 25 cm et 17 cm x 19 cm) sur des supports stables, de façon à ce qu'ils se trouvent à une distance de 10 cm l'un de l'autre (voir figure 3). À une distance de 15 cm et à une hauteur de 6 cm, sous le bord supérieur du plus petit de ces cartons, nous posons une source lumineuse non allumée pendant l'expérience.

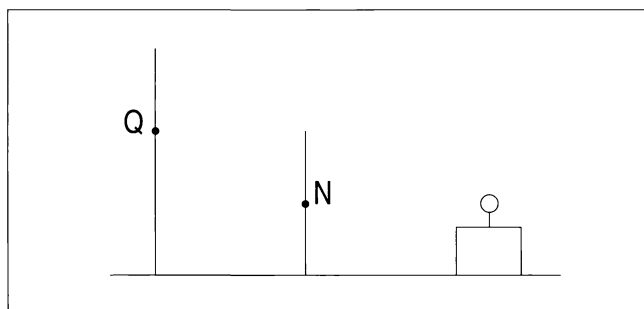


Figure 3 : Dispositif de la tâche 3

Ce dispositif nous permet de contrôler les représentations de la propagation de la lumière dans les cas où le faisceau n'est pas modelé par une orifice mais diffusé dans toutes les directions. Après la présentation du dispositif, nous demandons au sujet de prévoir si, en allumant la lampe, «on va voir de la lumière sur le deuxième carton» ou si «on va voir de l'ombre et pourquoi».

Expérimentateur. *Si nous allumons la lampe, est-ce que nous verrons de la lumière sur le deuxième carton ?*

Élève D. *Non... la lumière sera ici seulement, sur le premier carton... si nous allumons la lampe, elle va éclairer... le premier carton (point N).*

Expérimentateur. *Si nous allumons la lampe, est-ce que nous verrons de la lumière sur le deuxième carton ?*

Élève G. *Oui, parce que le premier carton est court et la lumière passe en haut et éclaire l'autre...*

E. *Où, exactement ?*

G. *Seulement jusqu'au point où commence la carton court... jusqu'au point où est le carton court, il y a de l'ombre partout... à partir de ce point-là il y a de la lumière partout (point Q).*

2.3. La procédure expérimentale : déstabilisation didactique et apprentissage

La procédure expérimentale comprenait une série d'interventions de la part de l'expérimentateur, conçues pour conduire à un conflit avec les représentations spontanées des élèves. À cette fin, nous avons présenté un modèle « *correct-progressif* » (Doise & Mugny, 1981, p.153), c'est-à-dire un modèle dont les caractéristiques correspondent à ceux de l'optique géométrique. Cependant, pour que les progrès attendus ne puissent pas être expliqués par un processus d'imitation, nous avons soigneusement évité pendant l'expérience de fournir des informations verbales aux sujets. Par contre, nous avons étayé la procédure didactique par une expérience directement observable permettant aux élèves de vérifier chaque fois leurs hypothèses sur la trajectoire de la lumière. Nous devons remarquer, ici, qu'au cours de notre enseignement nous avons demandé aux élèves de prévoir si la lumière atteindrait leurs yeux bien que nous sachions, par d'autres recherches, que la diffusion de la lumière n'est pas facilement reconnue, même par des enfants plus âgés (Guesne, 1984, 1985 ; Esgalhado & Rebordao, 1987). Cependant, durant notre recherche, les élèves de notre groupe expérimental avaient déjà compris, au cours d'une intervention didactique spéciale qui avait précédé, que la lumière est une entité autonome susceptible d'être diffusée (Ravanis & Papamichaël, à paraître).

Comme nous l'avons signalé plus haut, les enseignements effectués auprès des onze équipes de 3-5 sujets du groupe expérimental ont duré dix minutes chacun. Des enseignements de même durée ont été réalisés pour le groupe de contrôle, enseignements assurés dans ce cas dans la classe par le maître, et basés sur une présentation orale du phénomène de la propagation rectiligne de la lumière ainsi que sur une riche documentation de photos et d'expériences simples. Voyons plus en détail l'enseignement pour le groupe expérimental.

En ce qui concerne le déplacement de la lumière dans toutes les directions, nous avons utilisé un support expérimental comportant une source lumineuse et une poupée située à 50 cm de cette source, de façon à ce que le visage de la poupée se trouve en face de la lampe. Nous demandons ensuite au sujet si la lumière ira dans les yeux de la poupée si nous allumons la «lampe». Normalement nous devons obtenir une majorité de réponses affirmatives à cette première question. Nous déplaçons par la suite la poupée vers le haut dans un angle de 45° par rapport à la ligne horizontale, en maintenant constante la distance de 50 cm entre la poupée et la source (figure 4). Nous répétons alors la question précédente ; étant donné que la propagation de la lumière dans toutes les directions n'est pas reconnue, nous devons obtenir des réponses négatives. L'expérimentateur

demande alors des explications, avant d'allumer la lampe : «*c'est-à-dire que la poupée, là-haut, ne verra pas la lumière ?*». Ensuite, afin de déstabiliser les idées spontanées des enfants, nous allumons la lampe et les enfants vérifient expérimentalement la propagation de la lumière dans toutes les directions. Pour permettre aux élèves de procéder à la réorganisation de leurs conceptions initiales, nous demandons enfin aux sujets d'expliquer «*comment la lumière a atteint le visage de la poupée surélevée*».

En ce qui concerne la propagation rectiligne de la lumière, le guidage de l'enfant vers une démarche de preuve et de remodelisation de ses conceptions naïves, comporte un matériel expérimental composé d'une source lumineuse et d'un tuyau plastique opaque de 32 cm de longueur ouvert aux deux bouts. Nous allumons la lampe et nous demandons aux sujets de prévoir si, en regardant par l'ouverture du tuyau, la lumière atteindra leurs yeux et bien entendu, nous nous attendons à des réponses affirmatives (figure 5). Ensuite nous remplaçons le premier tuyau par un autre tuyau dont l'une des extrémités est retournée de façon à empêcher complètement la propagation du faisceau lumineux, et nous plaçons l'extrémité retournée exactement sur la source lumineuse. Nous posons aux sujets la même question que précédemment et, avant la vérification empirique, nous nous attendons à des réponses en majorité affirmatives, dans la mesure où dans les conceptions spontanées, le schème de la propagation rectiligne n'est pas encore construit (figure 6). Ensuite, nous proposons aux sujets de vérifier leurs hypothèses et d'essayer d'expliquer la contradiction entre les deux conditions (tuyau droit et courbé). Nous demandons aux élèves de nous indiquer la trajectoire de certains rayons qui «*partent de la lampe et se propagent dans toutes les directions*».

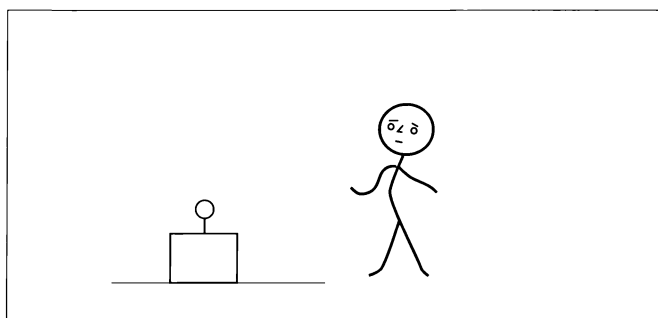


Figure 4 : Position de la poupée par rapport à la lampe

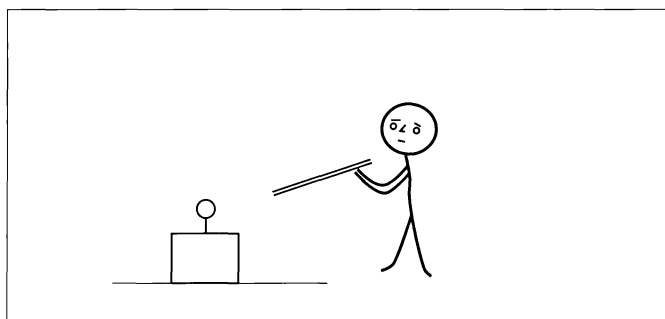


Figure 5 : **Utilisation du premier tuyau**

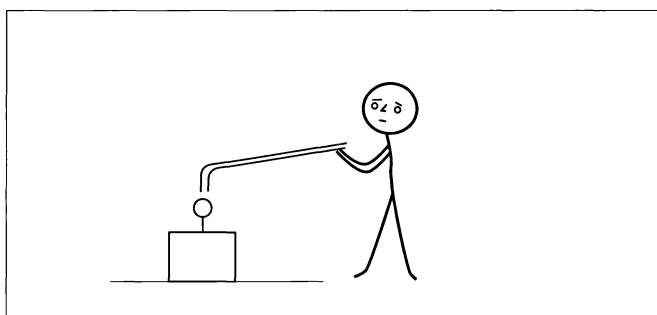


Figure 6 : **Utilisation du deuxième tuyau**

2.4. Hypothèses opérationnelles

Nous nous attendons à ce que lors des deux post-tests, les élèves du groupe expérimental reconnaissent plus souvent que les élèves du groupe témoin la propagation de la lumière, aussi bien du bas vers le haut que dans la direction opposée, du haut vers le bas. Par ailleurs, ces mêmes élèves du groupe expérimental devraient reconnaître plus fréquemment que ceux du groupe témoin la propagation rectiligne de la lumière dans les cas où celle-ci forme une ombre.

3. RÉSULTATS

Nous avons classé les réponses obtenues durant les entretiens du pré-test et des post-tests en cinq catégories.

A. Réponses correctes : il s'agit des réponses qui prévoient correctement l'aboutissement du faisceau lumineux en fournissant une description suffisante de son trajet.

B. Réponses correctes sans explications : dans ce cas le sujet, tout en décrivant le phénomène, n'est pas en mesure de fournir une description satisfaisante de la trajectoire.

C. Réponses «horizontales» centrées sur l'obstacle : il s'agit des réponses qui situent l'aboutissement du faisceau lumineux dans une direction horizontale par rapport à l'obstacle (par exemple en face de l'orifice).

D. Réponses «horizontales» centrées sur la source : dans ce cas, le sujet ne reconnaît pas que le deuxième écran puisse être éclairé, car il localise la tache lumineuse sur le premier écran, dans une direction horizontale et «en face» de la source lumineuse.

E. Autres réponses erronées.

Dans le tableau 1 sont présentées les répartitions des réponses des sujets des deux groupes aux trois tâches proposées.

		PRÉ-TEST		POST-TEST 1		POST-TEST 2	
		G.E.	G.C.	G.E.	G.C.	G.E.	G.C.
T. 1	Cat. A	1		27	5	30	6
	Cat. B		1				
	Cat. C	38	40	16	32	13	26
	Cat. D	13	6	9	15	9	18
	Cat. E		5				2
T. 2	Cat. A	1	1	32	9	34	8
	Cat. B		1				
	Cat. C	6	1	11	13	11	8
	Cat. D	45	48	9	27	7	34
	Cat. E		1		3		2
T. 3	Cat. A	3	2	32	7	30	4
	Cat. B	5	1			1	3
	Cat. C	21	25	9	19	10	14
	Cat. D	23	24	9	24	10	29
	Cat. E			2	2	1	2

Tableau 1 : Répartition des réponses des sujets du groupe expérimental (G.E.) et du groupe de contrôle (G.C.)

Pour le traitement statistique des réponses, nous avons considéré comme correctes celles qui étaient suivies d'une explication satisfaisante

du phénomène : c'est en effet uniquement pour ces réponses-là que nous pouvons affirmer avec certitude que les raisonnements des élèves sont compatibles avec ceux de l'optique géométrique. Nous avons donc défini comme progrès le passage d'une réponse de niveau plus faible à une réponse de ce type. Nous avons classé les réponses des sujets dans trois catégories, en termes de progrès, stagnation ou recul des performances entre le pré-test et les deux post-tests qui ont suivi. Les résultats principaux sont les suivants.

Concernant la reconnaissance de la propagation rectiligne de la lumière dans la direction soit du bas vers le haut, soit du haut vers le bas, notre hypothèse semble se confirmer comme l'indiquent les résultats des tableaux 2 et 3. En effet, dans le cas de la propagation de la lumière vers le haut, nous constatons qu'entre le pré-test et le premier post-test, 31 élèves du groupe expérimental contre 8 du groupe de contrôle, réalisent un progrès en donnant des réponses justes et bien expliquées, tandis qu'entre le pré-test et le deuxième post-test, 33 élèves du groupe expérimental et 7 du groupe de contrôle réalisent un progrès. De plus, dans le cas de la propagation de la lumière vers le bas nous constatons que, dans le groupe expérimental, 26 élèves réalisent un progrès entre le pré-test et le premier post-test et 29 élèves en font autant entre le pré-test et le deuxième post-test, contre 4 et 6 élèves seulement dans le groupe de contrôle (Test Mann-Whitney. Tâche 1 : premier post-test, $U = 754$, $p < 0.001$; deuxième post-test, $U = 731$, $p < 0.001$. Tâche 2 : premier post-test, $U = 754$, $p < 0.001$; deuxième post-test, $U = 676$, $p < 0.001$).

Nous remarquons aussi que le succès est plus grand pour la première tâche. Nous pouvons expliquer cette différence par le fait que les enfants sont plus familiarisés avec la lumière diffusée vers le haut par les expériences de la vie quotidienne (lampe de table...).

	PRÉ-TEST/POST-TEST 1		PRÉ-TEST/POST-TEST 2	
	G.E.	G.C.	G.E.	G.C.
Progrès	31	8	33	7
Stagnation	21	44	19	45
Recul	0	0	0	0

Tableau 2 : Propagation diagonale vers le haut du faisceau lumineux : répartition des sujets en termes de progrès, stagnation et recul entre le pré-test et les deux post-tests dans les deux groupes

	PRÉ-TEST/POST-TEST 1		PRÉ-TEST/POST-TEST 2	
	G.E.	G.C.	G.E.	G.C.
Progrès	26	4	29	6
Stagnation	26	48	23	46
Recul	0	0	0	0

Tableau 3 : Propagation diagonale vers le bas du faisceau lumineux : répartition des sujets en termes de progrès, stagnation et recul entre le pré-test et les deux post-tests dans les deux groupes

Concernant la reconnaissance de la propagation rectiligne de la lumière diffuse, la lecture du tableau 4 permet de constater une nette supériorité des performances des sujets du groupe expérimental. Nous nous apercevons qu'entre le pré-test et le premier post-test, 30 élèves du groupe expérimental, contre 7 des élèves du groupe de contrôle, réalisent un progrès, tandis qu'entre le pré-test et le deuxième post-test, 28 contre 4 en font autant (Test Mann-Whitney. Tâche 3 : premier post-test, $U = 754.5$, $p < 0.001$; deuxième post-test, $U = 728$, $p < 0.001$).

	PRÉ-TEST/POST-TEST 1		PRÉ-TEST/POST-TEST 2	
	G.E.	G.C.	G.E.	G.C.
Progrès	30	7	28	4
Stagnation	21	43	23	46
Recul	1	2	1	2

Tableau 4 : Propagation de la lumière diffuse dans toutes les directions : répartition des sujets en termes de progrès, stagnation et recul entre le pré-test et les deux post-tests dans les deux groupes

Cependant du point de vue didactique nous soulignons que, malgré les différences statistiquement significatives entre les deux groupes, un nombre relativement important d'élèves du groupe expérimental ne progresse pas.

4. CONCLUSION

Selon nos prévisions, les représentations des sujets participant à la procédure expérimentale sur la propagation de la lumière devaient se différencier d'une façon significative de celles des élèves ayant suivi l'enseignement habituel en classe. Le contrôle de nos hypothèses

opérationnelles dans les trois situations expérimentales étudiées (propagation vers le haut, vers le bas, lumière diffuse) a confirmé le rôle du guidage de l'élève vers une démarche de preuve dans la reconstruction de ses conceptions spontanées. Soulignons que toutes les expériences présentées visant à la déstabilisation des représentations spontanées des élèves mettent en jeu, de manière explicite, l'acte de «voir», que ce soit par une poupée ou par un être humain ; et ceci n'est pas le cas dans les expériences utilisées dans les situations expérimentales des tests. La stabilité des progrès effectués par les élèves du groupe expérimental, telle qu'elle apparaît dans les deux post-tests qui ont suivi la phase expérimentale, montre l'assimilation effective du nouveau modèle de représentation de la notion de propagation rectiligne de la lumière.

Notre recherche nous donne quelques indications sur l'importance de la planification d'interventions didactiques ayant comme objectif la déstabilisation et la reconstruction des représentations des élèves. Nous avons pu ainsi vérifier le rôle positif des interactions conflictuelles qui peuvent conduire aux transformations tant au niveau logique qu'au niveau des représentations des concepts physiques.

Donc dans le cadre théorique utilisé, celui du constructivisme social, nous avons délimité un champ commun de références où s'articulent d'une part, les idées piagétienne sur la construction de la pensée logique et d'autre part, les théories socio-constructivistes qui étudient la naissance de l'intelligence comme résultat des facteurs sociaux. Mais l'efficacité de l'articulation que nous avons utilisée dans notre problématique n'est ni évidente ni suffisamment étudiée dans le cadre de la didactique des sciences physiques. Il y a sans doute assez de recherches qui évoquent le rôle des conflits cognitifs (Stavy & Berkovitz, 1980 ; Hashweh, 1986) ou des modèles analogiques (Johsua & Dupin, 1988 ; Duit, 1991) dans la compréhension de notions ou de phénomènes de la physique. Mais ces recherches concernent surtout l'élaboration d'interventions didactiques qui s'étendent sur un grand nombre de séances et qui ont pour but la construction de réseaux conceptuels dans le cadre de l'enseignement de matières plus développées dans le cadre de l'école.

Dans notre recherche nous avons privilégié l'étude de situations didactiques où l'interaction sociale conflictuelle transforme les paramètres du raisonnement sur lesquels est basée la compréhension d'une notion élémentaire de physique : la propagation rectiligne de la lumière. C'est pour cette raison que notre intervention a duré très peu de temps et ne s'est pas déroulée dans les conditions habituelles d'une classe normale.

Du point de vue didactique, nous devons signaler l'importance massive et la résistance de la représentation naïve de propagation de la lumière en direction horizontale. Ainsi, l'utilisation de contre-exemples et la valorisation

d'arrangements expérimentaux pertinents paraissent indispensables pour réorganiser ce type de conceptions spontanées. Mais il est évident que la valeur éducative des relations de tutelle effectuées doit être confirmée, non seulement dans les conditions expérimentales d'enseignement en petits groupes, mais aussi et surtout dans les conditions «normales» de la classe.

BIBLIOGRAPHIE

- AMIGUES R. (1988). Travail en groupe des élèves et changement de conception. *Technologies, Idéologies, Pratiques*, vol. 2, n° 7, pp. 117-135.
- AMIGUES R. & CAILLOT M. (1990). Les représentations graphiques dans l'enseignement et l'apprentissage de l'électricité. *European Journal of Psychology of Education*, vol. V, n° 4, pp. 477-488.
- ANDERSSON B. & KÄRRQVIST C. (1982). Light and its properties. *EKNA Project, Report n° 8*. Göteborg, University of Göteborg, pp. 30-89.
- ANDERSSON B. & KÄRRQVIST C. (1983). How Swedish pupils aged 12-15 years understand light and its properties. *European Journal of Science Education*, vol. 5, n° 4, pp. 387-402.
- ANDERSON C. & SMITH E. (1982). Student conceptions of light, color and seeing. *Paper presented at the annual convention of the National Association for Research in Science Teaching*. Fontana, Wisconsin.
- BOVET M., PARRAT-DAYAN S. & VONÈCHE J. (1986). Causalité et apprentissage. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, vol. 6, n° 6, pp. 615-631.
- CARUGATI F. & MUGNY G. (1985). La théorie du conflit sociocognitif. In G. Mugny, *Psychologie sociale du développement cognitif*. Berne, Peter Lang, pp. 57-70.
- DOISE W. & MUGNY G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*. Paris, Interéditions.
- DONALDSON M. (1978). *Children's Minds*. London, Fontana Paperbacks.
- DUIT R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, vol. 75, n° 6, pp. 649-672.
- ESGALHADO A. & REBORDAO J. (1987). À propos de modèles «spontanés» de phénomènes liés à la lumière. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Actes des IX^{es} Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris VII, pp. 303-308.
- FEHER E. & RICE K. (1988). Shadows and anti-images : children's conceptions of light and vision II. *Science Education*, vol. 72, n° 5, pp. 637-649.
- FEYNMAN R. (1985). *QED*. Princeton, New Jersey, Princeton University Press.
- GENTNER D. & STEVENS A.L. (Eds) (1983). *Mental models*. New Jersey, Lawrence Erlbaum.
- GILLY M. & ROUX J.-P. (1988). Social marking in ordering tasks : effects and action mechanisms. *European Journal of Social Psychology*, n° 18, pp. 251-266.
- GIORDAN A. & MARTINANDJ.-L. (Eds). (1987). *Modèles et simulation. Actes des IX^{es} Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris VII.
- GUESNE E. (1984). Children's ideas about light. In E.J. Wenham (Ed.), *New Trends in Physics Teaching*. Paris, UNESCO, vol. IV, pp. 179-192.
- GUESNE E. (1985). Light. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds), *Children's ideas in science*. Philadelphia, Open University Press, pp. 10-32.
- GUNSTONE R.F. & WHITE R.T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education*, vol. 65, n° 3, pp. 291-300.

- HALBWACHS F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et le savant*. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.
- HASHWEH M.Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, vol. 8, n° 3, pp. 229-249.
- HOWE C., RODGERS C. & TOLMIE A. (1990). Peer interaction in primary school physics. *European Journal of Psychology of Education*, vol. V, n° 4, pp. 459-475.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1988). Processus de modélisation en électricité. *Technologies, Idéologies, Pratiques*, vol. 2, n° 7, pp. 155-169.
- LANDSHEERE G. (1979). *Dictionnaire de l'Évaluation et de la Recherche en Éducation*. Paris, PUF.
- MARTINAND J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne, Peter Lang.
- Mc CLOSKEY M. (1983). Naive theories of motion. In D. Genters & A.L. Stevens (Eds), *Mental models*. New Jersey, Lawrence Erlbaum, pp. 299-323.
- OGBORN J. & BLISS J. (1990). A Psycho-logic of Motion. *European Journal of Psychology of Education*, vol. V, n° 4, pp. 379-390.
- PARISI M. (1988). Niveaux d'organisation cognitive et perméabilité au conflit socio-cognitif. In A.-N. Perret-Clermont & M. Nicolet, *Interagir et connaître*. Fribourg, Delval, pp. 29-40.
- PERRET-CLERMONT A.-N. (1979). *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Berne, Peter Lang.
- PIAGET J. (1958). Assimilation et connaissance. In J. Piaget (Ed.), *La lecture de l'expérience*. Paris, PUF, pp. 49-107.
- PIAGET J. & GARCIA R. (1971). *Les explications causales*. Paris, PUF.
- RAVANIS K. & PAPAMICHAËL Y. (à paraître). Social marking and the transformation of representations to scientific concepts : the concept of light for ten-years old children.
- STAVY A. & BERKOVITZ B. (1980). Cognitive conflict as a basis for teaching quantitative aspects of the concept of temperature. *Science Education*, vol. 64, n° 5, pp. 679-692.
- STEAD B. & OSBORNE R. (1980). Exploring students' concepts of light. *Australian Science Teacher Journal*, vol. 3, n° 26, pp. 84-90.
- TIBERGHEN 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.
- VERGNAUD G. (1989). Questions vives de la psychologie du développement. *Bulletin de Psychologie*, vol. XLII, n° 390, pp. 450-457.
- VYGOTSKI L.-S. (1962). *Thought and Language*. Cambridge, MIT Press.
- WEIL-BARAIS A. & LEMEIGNAN G. (1990). Apprentissage de concepts en mécanique et modélisation de situations expérimentales. *European Journal of Psychology of Education*, vol. V, n° 4, pp. 391-416.
- WEIL-BARAIS A., LEMEIGNAN G. & SÉRÉ M.-G. (1990). Acquisition de connaissances scientifiques et développement. In G. Netchine-Grynberg (Ed.), *Développement et fonctionnement cognitifs chez l'enfant*. Paris, PUF, pp. 247-259.
- WEIL-BARAIS A. (1994). Heuristic value of the notion of zone of proximal development in the study of child and adolescent construction of concepts in physics. *European Journal of Psychology of Education*, vol. IX, n° 4, pp. 367-383.