

---

## OMBRE ET LUMIÈRE AU CYCLE II VERS UNE DÉMARCHÉ DE MODÉLISATION

---

Maryse CODA  
Institutrice Maître Formateur  
Groupe scolaire Clémenceau - Grenoble

Thérèse FAY  
Professeur de mathématiques  
I.U.F.M. - Grenoble

Michel RAHON  
Instituteur Maître Formateur  
Groupe scolaire Elisé Chatin - Grenoble

Nous avons réalisé ce travail dans le cadre du groupe de recherche pour l'enseignement scientifique et technologique à l'école primaire (G.R.E.S.T.E.P.), groupe interne à l'I.U.F.M. de l'académie de Grenoble.\*

### LE SUJET D'ETUDE

Nous avons choisi une étude concernant les ombres, phénomène physique qui est souvent une énigme pour les enfants.

Les activités ont été conduites dans deux classes de cours préparatoire.

### LA PROBLEMATIQUE

Les apports des recherches en didactique des sciences conduisent à dire que les connaissances scientifiques se construisent parallèlement sur deux niveaux, celui des objets et des phénomènes avec des activités d'expérimentation et d'observation, celui des modèles avec des activités de recherche d'explication.

Notre questionnement de départ a été le suivant :

- Quelles activités expérimentales (ou pratiques d'observation), quelles activités de formalisation de ces activités peuvent permettre un passage à l'abstraction nécessaire à une première modélisation d'un phénomène ?

- Est-ce que des enfants de 6-7 ans qui vivent ces activités diverses deviennent capables d'expliquer un phénomène physique en utilisant certains concepts de la physique ?

- Est-ce que certaines de ces activités sont prématurées ?

---

\* Nous tenons à remercier Rose-Marie Guet, aide technique en Sciences Physiques à l'I.U.F.M. de Grenoble, pour sa collaboration efficace à la fabrication du matériel utilisé dans cette séquence.

## CADRE THEORIQUE

Pour le scientifique, une ombre se forme lorsqu'un faisceau de lumière tombe sur un corps opaque.

La partie non éclairée de l'objet est l'ombre propre.

Une zone d'ombre est située derrière l'objet éclairé.

L'ombre qui se projette sur un plan est l'ombre portée.

### A - Repères psychologiques

Le phénomène d'ombre, familier aux jeunes enfants, est l'objet de représentations liées à l'égoïsme et l'anthropomorphisme de la pensée enfantine ; les expressions «l'arbre fait l'ombre», «c'est moi qui fait l'ombre», sont fréquentes et illustrent ces remarques.

Dans la causalité physique chez l'enfant, Piaget parle de représentation substantialiste de l'ombre chez les enfants de 4 à 7 ans, l'ombre étant une substance produite par l'objet lui-même.

### B - Repères historiques

Le phénomène d'ombre dépend de l'interaction de la lumière avec la matière.

Nous allons exposer très brièvement quelques points sur l'évolution historique du concept de lumière et du modèle de la propagation.

Dès l'antiquité, les deux préoccupations des savants-philosophes concernent deux domaines bien distincts : la nature de la lumière et sa propagation.

En ce qui concerne le premier point, les premières théories ont été fortement liées au mécanisme de la vision. Soit c'est l'œil qui émet un «quid» qui part vers l'objet (Pythagore) ; soit c'est l'objet qui émet des «eidola» sorte d'ombre qui enveloppe les objets (les atomistes), soit la lumière est un mouvement entre l'œil et l'objet (Aristote).

Ce qui reste actuellement de l'antiquité grecque, c'est surtout l'œuvre des géomètres qui se sont préoccupés de la propagation des rayons lumineux. C'est Euclide (3ème siècle après J.C.) qui, le premier, dans la Dioptrique, énonce :

*Les rayons émis par l'œil se déplacent en ligne droite.*

La théorie du rayon lumineux persiste jusque vers la moitié du Moyen Age.

Pendant la seconde partie du Moyen Age l'interrogation sur la nature de la lumière cohabite avec l'optique géométrique. Une entité appelée «lumen» est émise par le soleil ou les flammes et permet l'éclaircissement des corps. Le lumen agit sur l'œil, l'impressionne et provoque la vision.

Les progrès scientifiques ont porté ensuite uniquement sur l'optique géométrique avec l'explication du mécanisme de la vision et du fonctionnement de la lunette, (Porta, Képler, Galilée).

C'est avec les œuvres de Huygens (De la lumière 1690) et de Newton (L'optique 1704) que sont énoncées les premières théories sur la nature de la lumière.

Pour Huygens, la lumière se propage suivant des ondes dans un espace constitué par l'éther.

Pour Newton, la lumière est constituée de particules matérielles dont la masse varie avec la couleur.

### C - Repères épistémologiques

Trois points nous paraissent importants dans la construction du savoir scientifique.

- Le concept d'**obstacle épistémologique**, énoncé par Bachelard qui décrit l'expérience première, la connaissance générale, l'artificialisme, le substantialisme et l'animisme comme causes interdisant l'accès à une pensée scientifique.

Or, le substantialisme et l'animisme sont des caractéristiques de la pensée enfantine et il est nécessaire d'en tenir compte dans l'analyse des données relevées tout au cours des situations vécues par les enfants.

- Le **questionnement** qui apparaît comme le moteur de la progression scientifique : «L'absence d'un véritable questionnement traduit un arrêt dans la construction de la pensée. (...) Nous n'insisterons jamais assez sur la place du questionnement. D'abord, il est moteur du savoir. (...)» (Giordan et De Vecchi).

Nous avons ainsi construit pour les élèves de l'école des activités dans lesquelles les tâches demandées sont des tâches de résolution de problèmes concernant des questions intéressantes d'un point de vue scientifique.

- Le rôle de la **modélisation** dans l'élaboration du savoir scientifique. Les auteurs de l'équipe de recherche INRP/LIREST, lors d'une réflexion sur la modélisation à l'école élémentaire, attribuent au modèle en physique les attributs ou les sens suivants :

- un modèle peut être *un objet concret* (maquette), une *représentation schématique*, qui exprime l'aspect figuratif du phénomène ; cet aspect figuratif se révèle être un auxiliaire précieux pour construire l'aspect opératif de la pensée abstraite ;

- un modèle est une construction théorique qui est une «représentation» d'une situation physique (définition du modèle selon Halbwachs).

Il nous semble que pour de jeunes enfants c'est le premier sens qui doit être retenu.

Parmi les multiples fonctions d'un modèle, celles retenues par les mêmes chercheurs pour être travaillées à l'école élémentaire sont :

- la fonction *explicative* du modèle qui suppose une élaboration de relations causales entre différents éléments d'un système ;

- la fonction *représentative* à l'aide d'une concrétisation, puis d'une schématisation ;

- la fonction *prédictive*, dans l'interprétation de situations physiques nouvelles.

## HYPOTHESE DE TRAVAIL

Nous nous sommes placés dans une démarche d'apprentissage constructiviste.

Les écrits de Piaget et de l'école russe de Vygotski ont été nos références ; les apports contemporains concernant la dimension sociale dans la construction des savoirs (textes réunis par C. Garnier, N. Bednarz et I. Ulanovskaya) nous ont également semblé très fructueux pour concevoir l'apprentissage en sciences dans la recherche de réponses à un problème et leur formulation.

Pour Vygotski, le développement des concepts scientifiques chez l'enfant devance celui des concepts spontanés (il entend par là concept familier : il cite par exemple le concept de frère).

Le travail sur les concepts scientifiques est effectué par l'enfant en collaboration avec l'adulte dans le processus de l'apprentissage. Dans une situation de résolution de problème, l'enfant va utiliser tout seul les résultats de sa collaboration ancienne avec le maître.

Avec cette conception de l'apprentissage, la construction des séances a été toujours adaptée au degré (théorique) de compréhension de l'ensemble des élèves.

Nous avons toujours eu le souci de faire passer l'enfant de ce qu'il sait faire à ce qu'il ne sait pas faire, en tenant compte des limites du développement de l'enfant de cet âge et de ses apprentissages dans les domaines de la communication (verbale ou écrite).

## HYPOTHESE DE RECHERCHE

Notre hypothèse de recherche est qu'il est possible de faire élaborer par de jeunes enfants un premier modèle du phénomène étudié.

Il pourra en résulter une approche des concepts scientifiques qui se réfèrent au modèle en question.

## NOTRE METHODOLOGIE

Les activités ont été construites en vue d'une première appropriation de ce modèle et d'une première approche des concepts, en essayant d'identifier les obstacles rencontrés par chaque enfant lors de son itinéraire d'apprentissage.

Notre plan d'action, tout au cours de son déroulement, s'est adapté étroitement à l'état de savoir des élèves à l'issue de chaque étape de l'apprentissage proposé. Il s'agit donc d'une **recherche action** dont les résultats sont liés aux activités conduites dans les classes.

Les séances se sont déroulées de décembre à mars. Le travail s'est effectué sous la conduite de l'enseignant de la classe ; des stagiaires PE<sub>1</sub> et PE<sub>2</sub> ont été sollicités à certains moments pour recueillir les données.

Il nous a été, de par ces conditions, plus facile d'individualiser le parcours de chaque élève. Nous avons repéré un certain nombre de difficultés rencontrées par ces élèves de 6-7 ans, ce qui fixe des limites pour les apprentissages possibles.

## PLAN DE TRAVAIL DANS LES CLASSES

### SÉANCE 1 - SÉANCE 2 - SÉANCE 3

\* **Pour le maître**, il s'agit de connaître puis d'apporter des aides à la structuration spatiale des élèves dans une situation de production d'une ombre, et de connaître aussi leur niveau d'abstraction dans la schématisation et l'explication de phénomène.

\* **Pour les élèves** cela implique

- une phase de mise en relation spatiale des différents éléments d'un dispositif (source, objet, écran) pour produire une ombre ;
- une phase de représentation graphique ;
- une phase de formulation orale du phénomène.

### SÉANCE 4

\* Etant données les explications des élèves sur le phénomène de l'ombre, il nous a paru intéressant de connaître le sens qu'ils donnaient aux mots : lumière, ombre, obscurité.

### SÉANCE 4 BIS - SÉANCE 5 - SÉANCE 6 - SÉANCE 7

\* **Pour le maître**, il s'agit de construire des situations expérimentales permettant aux élèves d'élaborer un premier modèle de rayon lumineux.

\* **Pour les élèves**, cela implique, dans chaque situation expérimentale :

- une phase de prévision de la direction et de la grandeur d'une ombre ;
- une phase d'expérimentation pour valider les hypothèses ;
- une phase de représentation graphique de l'ombre ;
- une phase de recherche d'un modèle explicatif du phénomène (avec possibilité de matérialiser le «trajet» de la lumière avec une ficelle, une règle...).

#### Remarque 1

Les séances 1 et 2 sont décrites de façon précise quant à leur déroulement dans les deux classes de CP. Les réactions des enfants sont aussi rapportées de manière très fidèle. La description des séances suivantes est malheureusement plus globale car nous n'avons pas pu systématiquement enregistrer leur déroulement. Néanmoins, dans l'analyse des séances, nous avons noté, le plus souvent possible, des réactions d'enfants.

#### Remarque 2

Les objectifs cités au début de chaque séance sont des objectifs pour le maître. Les compétences attendues des élèves sont, pour l'ensemble de ce travail :

- la production d'une ombre avec un matériel donné ;
- la représentation sous forme de dessins puis de schémas de situations expérimentales diverses ;
- la formulation d'explications du phénomène de l'ombre ;
- l'appropriation du modèle du rayon lumineux induit par des situations d'enseignement adaptées ;
- le réinvestissement de ce modèle dans des situations proches ou différentes.

## SÉANCE 1

### Objectif

Savoir quelle est la structuration spatiale des élèves.

Tâche de l'élève : produire une ombre avec un matériel donné ; dessiner la situation.

### Prise d'information

Dessin de la situation répondant à la consigne : «Dessine comment tout est placé pour obtenir l'ombre de la main en carton».

### Descriptif de séance

#### A - Dans le CP de Michel Rahon

##### 1er temps

*Matériel* : une lampe de poche par élève.

*Consigne* : faire ce que l'on veut.

*Déroulement*

- individuel : jeu libre avec une lampe de poche - à son bureau, puis dans la classe ;
- par deux : chacun dit à l'autre ce qu'il a fait avec sa lampe de poche ;
- chaque élève exprime au groupe classe ce qu'il a fait et observé.

##### *Analyse des réponses*

1. La lampe de poche sert à voir.

Regarder au plafond ; regarder la souris ; voir les lettres ou les illustrations d'un livre.

Lorsque les élèves se sont déplacés dans la salle de classe, ils sont allés de préférence vers les objets opaques de couleur sombre ou noire (tableau, carte aérienne).

2. Suivant la position de la lampe de poche par rapport au récepteur de lumière, il y a une tâche (éclairée) plus ou moins grande.

Anaïs : «près du tableau, il y a un petit rond, lorsque je m'éloigne, il y a un grand rond».

3. Observation d'effets colorés.

Sophie : «on voit la lumière sur le tableau ; c'est comme si on avait coloré en vert avec la craie ; non plutôt en jaune».

##### 2ème temps

*Matériel* : écran blanc et supports d'écran, potence : un matériel pour deux élèves.

*Consigne 1* : «Avez-vous quelque chose à dire ?».

La séance se déroule en début d'après-midi, dans une classe orientée au sud.

*Les procédures des élèves*

Certains placent la potence entre le soleil et l'écran.

Pour les autres groupes :

- la succession des éléments est soleil, écran, potence, l'écran étant face au soleil

- écran et potence sont orientés est-ouest.

*Les observations* des élèves après discussion sur la disposition potence-écran et leur orientation pour obtenir une forme sur l'écran :

E<sub>1</sub> : «lorsque je place (la potence) comme ça, ça fait un 1 sur (l'écran)».

E<sub>2</sub> : «lorsque je tourne (la potence), c'est un 1 avec la branche de l'autre côté».

E<sub>3</sub> : «pourquoi lorsqu'on tourne (la potence), la forme (sur l'écran) tourne ?».

Olivier : «c'est l'ombre (sur l'écran)».

Après reprise par le maître de la réponse d'Olivier, suivent des échanges entre élèves et entre élèves et maître concernant le phénomène de l'ombre.

- Ombre liée à l'objet.

Elsa : «l'ombre, c'est ce qui est derrière soi et qui a une couleur».

Marie-Laure : «si on se met sous un arbre, c'est l'ombre».

Géracy : «on peut jamais marcher sur l'ombre ; l'ombre, elle est toujours avec nous».

- Ombre liée à la source et à l'objet.

Anaïs : «l'ombre, c'est quand il y a du soleil ; quand on marche, on voit l'ombre».

E : «le soleil est sur le bâton (montant de la potence) et il reste...».

- Ombre dont la forme varie en fonction de l'orientation de l'objet.

Quand on tourne (la potence) il y a un 1, ou un trait.

**3ème temps**

*Matériel* : écran blanc et supports d'écran, potence, plus une forme de main en carton avec fil de suspension : un matériel pour deux élèves.

*Consigne 1* : placer les trois objets (les noms des éléments sont donnés : écran, porte-manteau (= potence)), pour qu'on ne voit sur l'écran que l'ombre de la main et du fil.

*Les procédures des élèves* : après un faible nombre d'essais, chaque groupe place la potence derrière l'écran ; la succession des éléments du dispositif est alors : soleil, forme suspendue, écran, potence.

*Consigne 2* : dessiner ce qu'il y a sur le bureau ; trouver comment placer le matériel pour que chacun dans le groupe puisse dessiner commodément.

Question maître : qu'est-ce qu'il faut ajouter sur le dessin, qui ne se trouve pas sur le bureau, pour que l'on comprenne (la formation de) l'ombre ?

Réponse de plusieurs élèves : «le soleil».

*Structuration du travail*

La séance se termine sur un questionnement individualisé sur trois mots associés au travail effectué ; il sort ombre, écran, porte-manteau, main, fil.

Maître : «qui pourrait me dire comment on obtient une ombre ?».

«Il faut se mettre du côté du soleil».

«C'est parce que la main, elle cache le soleil et on voit le reflet».

«Plus on avance la main, plus l'ombre de la main est petite».

**B - Dans le CP de Maryse Coda****1er temps**

*Matériel* : une lampe de poche par élève.

*Consigne* : faire ce que l'on veut.

*Déroulement* :

Individuel : jeu libre avec une lampe de poche à son bureau.

La formation d'une figure avec les doigts placés devant le diffuseur de la lampe de poche conduit à la notion d'ombre.

E : «ça (les doigts) bloque la lumière».

*Consigne* : faire des dessins en ombre et lumière sur l'écran (distribué à chaque groupe de deux élèves).

Après avoir formé des ombres sur l'écran, discussion sur les positions relatives de la lampe de poche, des doigts, et de l'écran.

E : «il faut que les doigts soient entre la lampe et l'écran».

**2ème temps**

*Distribution de la potence* : les élèves forment l'ombre des différentes parties de la potence.

M : «comment placer la potence pour voir l'ombre du grand carré (le socle) ?».

... Puis recherche de la fonction de la potence après distribution d'une forme à suspendre (main en carton).

Contrainte ajoutée par la maîtresse : «je ne veux voir que l'ombre de la forme».

(Nom donné à la potence = système construit pour suspendre).

Jeu de formation de deux ombres avec les deux lampes de poche, de trois ombres...

**3ème temps**

*Consigne* : dessiner comment tous les objets sont placés pour avoir l'ombre de la main sur l'écran.

**Notre analyse**

Nous avons obtenu sur les 45 dessins décrivant la situation :

- 39 dessins pour lesquels les trois éléments (source, objet, écran) sont présents dans la bonne disposition relative dont six comportent le dessin de l'ombre ;
- 1 dessin pour lequel il n'y a pas de mise en relation des trois éléments ;
- 5 dessins avec deux éléments (objet et écran).

*Pour que tous les enfants parviennent à structurer correctement l'espace de l'expérience, nous avons conçu une deuxième séance portant sur les mêmes objectifs de structuration de l'espace.*

Nous avons prévu trois moments :

- Structuration par le langage qui exprime les conditions spatiales nécessaires :  
«l'écran est **derrière** le rectangle, la forme est au milieu, **entre** la source et l'écran...».
- Structuration par la mise en place d'une nouvelle expérience avec même nombre d'éléments mais avec variation dans leur nature afin de rendre les conditions reproductibles et interprétables à un niveau plus scientifique :
  - source de lumière ponctuelle afin d'obtenir un contour d'ombre net ;
  - objet de forme géométrique simple placé dans un plan parallèle à l'écran («rectangle» pris dans la boîte de blocs logiques).
- Structuration par le dessin avec des conditions facilitatrices pour l'élève : les éléments sont placés de profil par rapport à l'élève.

## SÉANCE 2

### Objectifs

Aide à la construction de l'espace.

Quelle explication du phénomène de l'ombre donnent les élèves ?

### Prise d'information

Dessin de la situation avec les contraintes de position relative de l'élève par rapport au dispositif.

Le commentaire transcrit par l'enseignant est l'explication de la formation de l'ombre par l'élève.

### Descriptif de séance

#### A - Dans le CP de Maryse Coda

##### 1er temps

*Mémorisation de la séance précédente* : structuration par le langage des conditions spatiales de formation d'une ombre.

##### 2ème temps

*Matériel* : pile, ampoule fixée sur un support, forme rectangulaire, potence, écran.

*Consigne 1* : «Placer les objets pour avoir une ombre sur l'écran».

Tous les groupes placent correctement les éléments les uns par rapport aux autres.

Diverses formulations orales pour exprimer les positions relatives des trois éléments dont les noms précis sont donnés : source, objet, écran.

«L'écran est **derrière** le rectangle, la forme est au milieu, **entre** la source et l'écran...».

*Consigne 2* : «Laisser l'objet et l'écran à la même place ; regarder l'ombre lorsque l'on approche la source (de l'objet), lorsqu'on éloigne la source».

Expression de la relation causale par les enfants.

«Quand la source est loin de l'objet, l'ombre est petite ; quand la source est près de l'objet, l'ombre est grande».

*Consigne 3* : «Laisser la source et l'écran à la même place ; regarder l'ombre lorsque l'on approche l'objet de l'écran, lorsqu'on éloigne l'objet de l'écran».

Expression orale de la relation.

Il est difficile par contre d'établir une relation logique entre les deux résultats précédents (abstraction trop importante qui demande d'exprimer que rapprocher la source de l'objet idem éloigner l'objet de l'écran).

### **3ème temps**

*Consigne* : «Dessine tout ce qu'il faut pour avoir l'ombre du rectangle, et, l'ombre du rectangle» ;

puis

«colorie en gris l'ombre» ;

puis

«fais une phrase pour expliquer pourquoi il y a l'ombre».

**NB** : Les dispositifs sont placés de profil par rapport aux élèves pour faciliter les dessins.

## **B - Dans le CP de Michel Rahon**

### **1er temps**

Mémorisation des différents éléments du montage précédent.

Le problème à résoudre est relatif à l'absence du soleil.

E : «*on prend les lampes de poche*».

### **2ème temps**

*Matériel* : identique à celui du CP de M. Coda.

*Consigne* : «Placer les éléments (ampoule, boîte, écran) pour avoir une ombre sur l'écran».

Tous les groupes placent correctement les éléments les uns par rapport aux autres.

Remarques des élèves sur l'effet du déplacement de la source suivant quatre directions perpendiculaires par rapport à l'objet (avance, recule, translate à gauche ou à droite).

Charlotte : «*lorsque je déplace (de droite à gauche), l'ombre se déplace à l'inverse*».

Sophie : «*quand je mets la pièce comme ça (elle rapproche la pièce de l'écran, la source étant immobile), l'ombre grandit*».

Julien : «*quand on recule la lampe, ça (l'ombre) devient plus petit ; quand j'avance, ça devient plus gros*».

### 3ème temps

*Consigne* : «Dessine ton expérience pour que Thibaud, en CE1, comprenne ce que tu as fait et ce que tu vois».

*Consigne* : «Essaie de montrer sur ton dessin **pourquoi** il y a l'ombre sur l'écran».

### Remarque

La dernière consigne est difficile à comprendre pour les enfants. Quelques explications orales des enfants sont notées sur les dessins.

### Notre analyse

Sur 43 dessins :

- 34 mettent en relation correctement les éléments (nombre d'éléments correct, bonne disposition relative, formes de l'objet et de son ombre correctes).
- 1 dessin dans lequel la forme de l'ombre est indépendante de la forme de l'objet.
- 5 ne comportent pas l'ombre.
- 3 pour lesquels les trois éléments du dispositif n'ont pas une position relative correcte.

Pour ce qui est des explications du phénomène, nous avons obtenu des réponses du type :

«la lumière éclaire l'objet et l'écran ; ça forme une ombre ; l'ombre ce n'est pas de la lumière» (Tarik) ;

«la lumière éclaire l'objet et elle fait de l'ombre ; il y a de la lumière derrière l'objet» (Marine).

### Donc

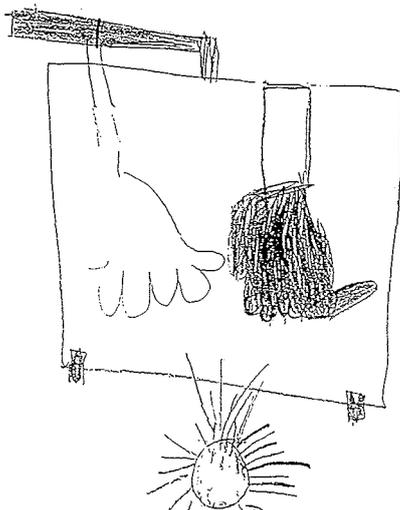
*Les neuf élèves dont les dessins traduisent des difficultés dans l'organisation spatiale ont besoin d'une aide individualisée.*

*Les expressions concernant l'explication du phénomène nous ont incités à concevoir une séance centrée sur un recueil plus fin des représentations des élèves.*

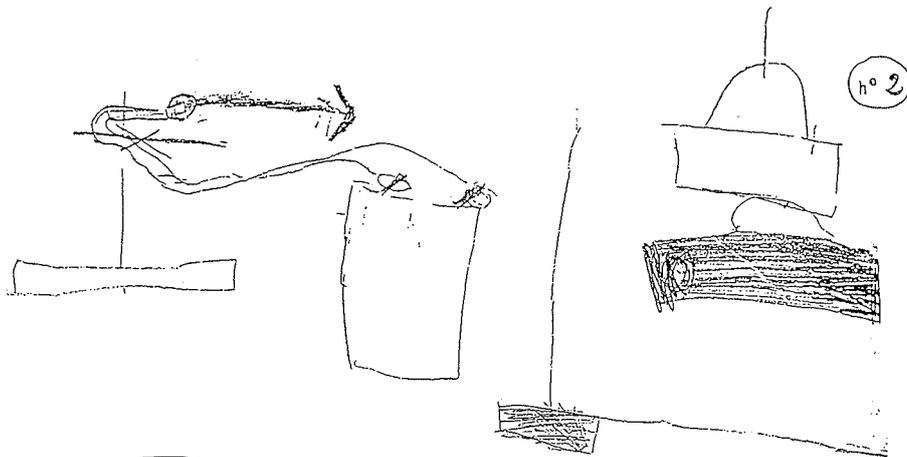
Vendredi 3 décembre 1993

Thibaud

no 1



Séance 1



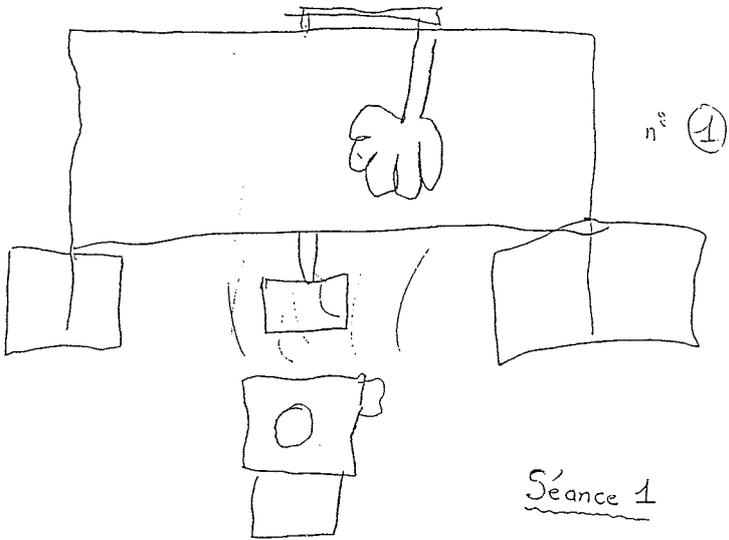
C'est la lumière qui part sur la petite boîte et elle fait l'ombre sur l'écran

Séance 2

9bis



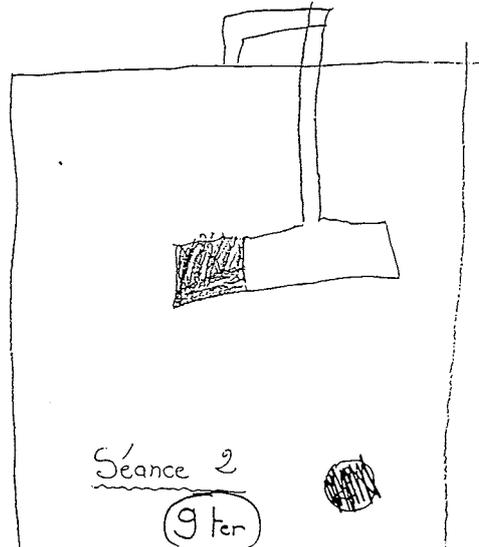
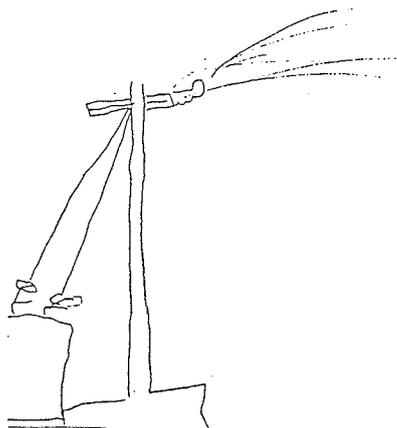
Philippe



Séance 1

La lumière est réfléchi sur l'objet  
L'objet cache la lumière

n° 2

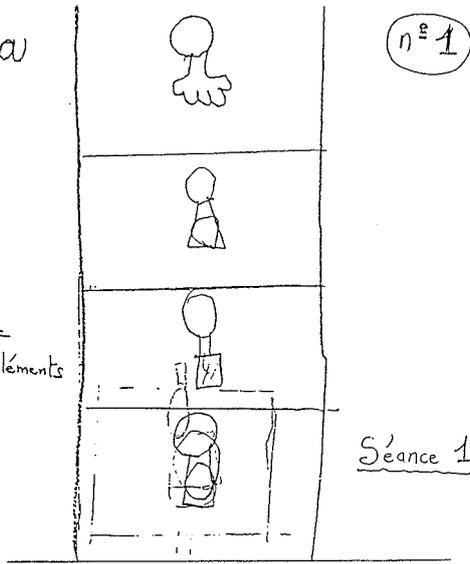


Séance 2

9ter



maroussia

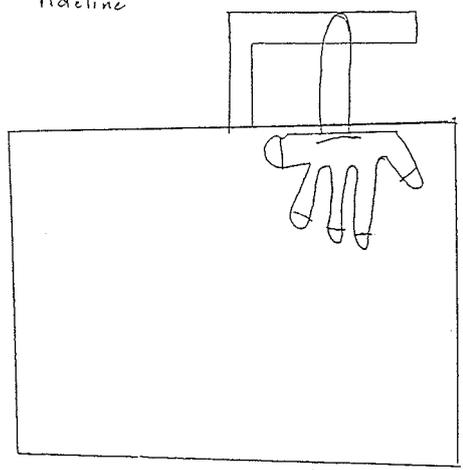


NB  
Pas d'organisation spatiale correcte des différents éléments

n°2

maroussia  
La lumière ne peut pas passer

Adeline

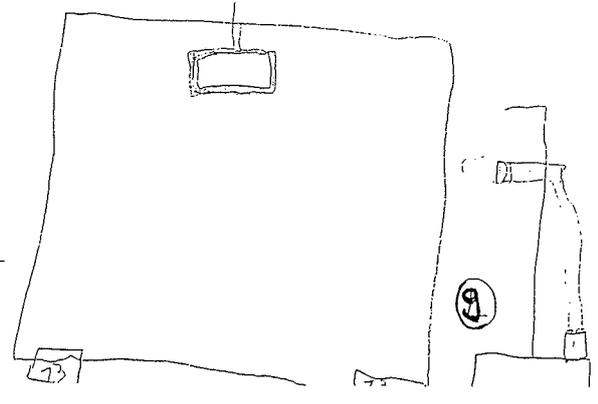


Séance 2

n°1

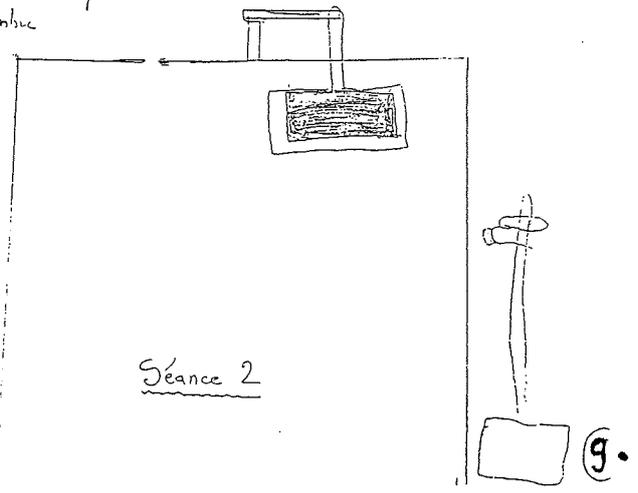
Il manque des éléments important = la source de lumière

Séance 1



la lumière éclaire l'objet  
ça fait une ombre

n°2



### SÉANCE 3

#### Objectifs

1. Aide individualisée pour que chaque élève place et représente les éléments les uns par rapport aux autres dans deux situations de formation d'ombre.
2. Recueil des explications verbales du phénomène d'ombre.

#### Prise d'information

Le recueil des représentations est fait par réponses à des questions ouvertes : chaque élève répond aux questions dans les conditions suivantes :

- le dispositif expérimental est devant lui ;
- il dispose des deux dessins de situation réalisés dans le premier temps de la séance.

#### Plan de la séance

##### 1er temps (dans la matinée)

###### *Matériel*

- Même dispositif pour la source ponctuelle de lumière, la potence et l'écran.
- Les objets : une balle de ping-pong (objet opaque) et un anneau-plan (en carton fort) qui laisse passer la lumière en son centre. Le diamètre de la partie évidée de l'anneau est identique à celui de la balle de ping-pong qui peut donc venir «bloquer» la lumière. Cette expérience pourra aider certains enfants à expliquer le phénomène pendant la passation du questionnaire.

###### *Consigne*

- Placer les objets pour obtenir sur l'écran, l'ombre de la balle de ping-pong puis l'ombre de l'anneau.
- Dessiner les deux expériences.

##### 2ème temps (dans l'après-midi)

Dans une salle obscure, les enfants répondent à un questionnaire passé individuellement, le dispositif étant placé de profil devant l'élève (comme dans le 1er temps), les dessins de l'élève (réalisés dans la matinée) étant aussi commentés pendant la discussion.

#### Questionnaire n° 1

##### A ton avis

1. D'où vient la lumière ?
2. Où elle va, la lumière ?
3. Là (derrière l'objet) est-ce qu'il y a de la lumière ? (Si la lumière arrive sous la forme).
4. Là (sur l'écran) où y a-t-il de la lumière ?
5. Peux-tu dire à quoi sert la forme (ou encore qu'est-ce que fait la forme pour la lumière) ?

## Notre analyse

La mise en relation spatiale des différents éléments a pu être contrôlée individuellement. D'autre part, l'explication de la formation de l'ombre a eu comme support le dispositif matériel et sa représentation graphique : ce va et vient nous a permis de connaître plus précisément le développement de chaque enfant dans ce passage de l'espace topologique à l'espace projectif.

Nous pouvons extraire de ces entretiens les informations suivantes sur 41 élèves :

- 27 expliquent la formation de l'ombre en se référant à la lumière et à l'objet

Thomas : «la boule arrête la lumière».

Thibault : «l'objet empêche la lumière».

Marielle : «la balle, elle bloque la lumière».

Tarik : «la lumière, elle éclaire l'écran et comme la balle empêche la lumière de passer, ça n'éclaire pas où la boule est placée et ça devient une ombre».

- Pour 11 élèves, l'ombre dépend du seul paramètre «lumière» avec les propositions

• la lumière traverse l'objet ;

Elsa : «la lumière traverse la balle et elle va derrière ; et la lumière fait l'ombre»

• la lumière contourne l'objet ;

Anaïs : «la lumière, elle arrive sur l'objet et passe derrière ; c'est la lumière qui fait l'ombre».

- Pour 3 élèves, l'ombre dépend de l'objet seul (sans qu'elle apparaisse comme innée)

Sarah : «la boule fait son dessin sur l'écran».

Il apparaît que l'ombre est très fortement liée à la lumière : «la lumière fait l'ombre» conduit pour certains élèves à l'ombre. C'est de la lumière.

*Il nous a paru nécessaire de faire le point, pour chaque enfant, sur les notions d'ombre - obscurité - lumière.*

## QUESTIONNAIRE n° 1

A TON AVIS :

D'où vient la lumière ?

Où va la lumière ?

Là (derrière l'objet) est-ce qu'il y a de la lumière ?

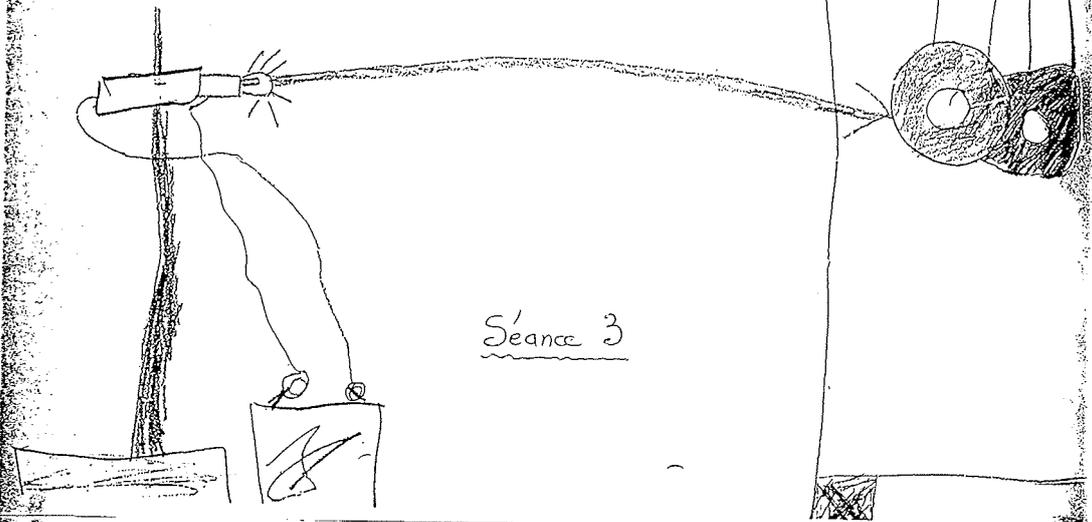
Là (sur l'écran) où y a-t-il de la lumière ?

Peux-tu dire à quoi sert la forme (l'objet opaque), pour la lumière ?

jeudi 6 janvier 1934  
Léhibaud

La lumière éclaire  
l'objet. L'objet donne  
l'ombre sur l'écran.  
L'objet empêche la  
lumière de passer.

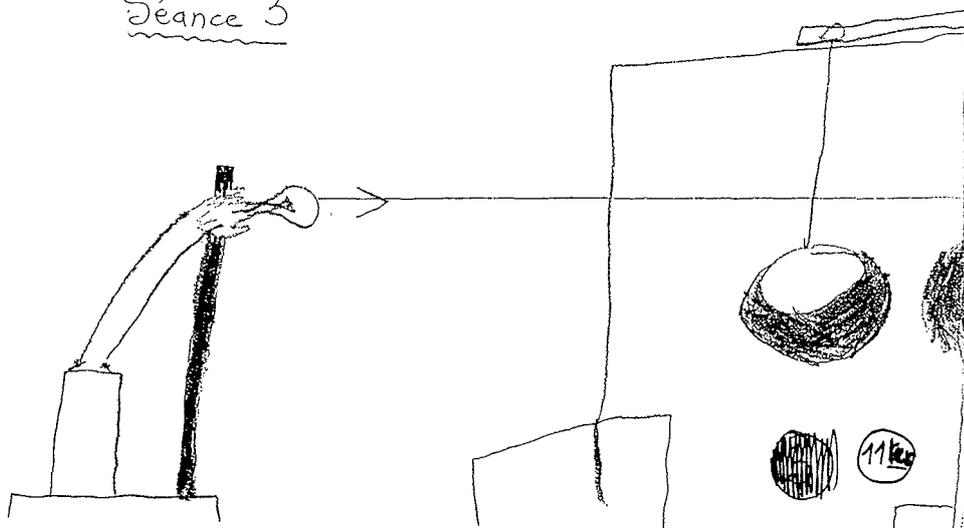
n° 2



Alippe

n° 3

Séance 3



## SÉANCE 4

### Objectifs

Travail sur les notions comparées : lumière, ombre, obscurité.

### Prise d'informations

Réponses à un questionnaire individuel ; les questions sont posées par un stagiaire PE<sub>2</sub>, les élèves se trouvent dans une salle obscure.

Le questionnaire concerne (cf. questionnaire n° 2)

a - la vision des objets et l'existence de l'ombre dans la salle obscure ou dans la nuit.

b - l'analyse de l'expérimentation avec le dispositif connu des élèves  
dispositif - source - objet - écran,  
dispositif objet - écran,  
dispositif source - écran.

### Notre analyse

- 29 élèves sur 43 affectent à la lumière une zone fortement éclairée.
- pour 14 élèves, une zone fortement éclairée ne l'est que par contraste avec une zone sombre.
- 5 enfants disent avoir une ombre la nuit ou dans la salle obscure où ils se trouvent.

Il nous apparaît qu'à l'issue des deux questionnaires (séances 3 et 4), la lumière semble exister entre une source et un objet ou un récepteur de lumière dans les conditions de l'expérimentation sur l'ombre (cf. réponses au questionnaire de la séance 3).

Par exemple : «La lumière, elle part de la lampe, elle tape sur la boule».

Cependant cette idée n'est pas fonctionnelle dans d'autres situations. Lorsqu'on enlève l'objet opaque, la lumière devient la zone éclairée de l'écran et de la salle.

Nous rejoignons certaines conclusions de l'étude décrite par A. Tiberghien (1989).

*Nous avons décidé, en fonction du temps dont nous disposions, de laisser mûrir les idées des enfants concernant le concept de lumière. Nous nous sommes alors préoccupés, dans les séances qui suivent, de faire uniquement évoluer leur conception de la fonction de la lumière dans la formation de l'ombre.*

*Le dispositif conçu à cet effet a été fortement inducteur dans l'élaboration d'un premier modèle de la propagation rectiligne de la lumière.*

**QUESTIONNAIRE n° 2**

1 - La nuit, dans ta chambre avec les volets fermés et sans éclairage, est-ce que tu as une ombre ?

2 - Dans cette salle obscure, as-tu une ombre ?

3 - Vois-tu des objets ?

4 - Vois-tu leur ombre ?

**Utilisation du dispositif dans la salle obscure**

1 - **Matériel utilisé** : une potence, un écran, un anneau suspendu, une source.

Explique ce que tu vois sur l'écran :

2 - **Matériel utilisé** : une potence, un écran, une source.

Explique ce que tu vois sur l'écran :

3 - **Matériel utilisé** : une potence, un écran, un anneau suspendu.

Explique ce que tu vois sur l'écran :

---

**SÉANCE 4 BIS****Objectif**

Faire fonctionner le système explicatif de formation de l'ombre dans une situation expérimentale nouvelle.

**Prise d'information**

Tracé individuel de la position et de la forme de l'ombre d'un objet rectiligne vertical sur un plan horizontal.

Deux tracés sont exigés :

l'ombre prévue,

l'ombre formée dans la phase d'expérimentation.

Trois situations sont ainsi étudiées par chaque élève, le contrôle des procédures étant conduit par un stagiaire PE<sub>2</sub>.

Le paramètre qui varie est la position de la source.

## Plan de la séance

### Objectif pour l'élève

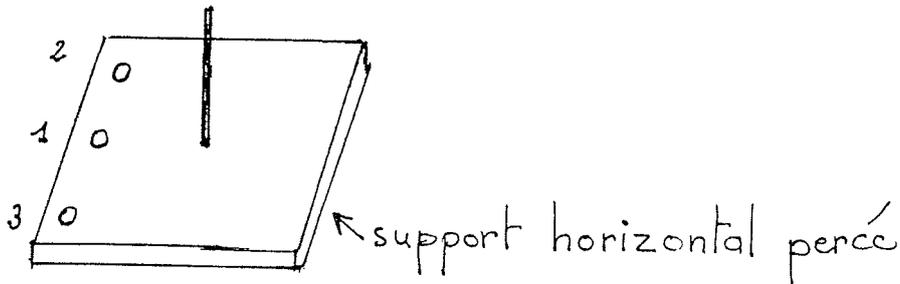
Prévision de la position de l'ombre d'un objet rectiligne vertical sur un plan horizontal.

### Matériel

Source de lumière ponctuelle dont on fait varier la position sur un support.

Objet : clou placé au centre d'une plaque de bois horizontale.

L'ombre est à dessiner sur une feuille de papier blanc placée sur le support.



### Déroulement

#### a. Source placée en 1

- si l'ampoule éclaire, qu'est-ce qu'il va se passer ?
- dessine ce que tu penses voir au crayon noir,
- tu branches l'ampoule sur la pile et tu dessines au feutre ce que tu vois.

#### b. Source placée en 2

- si l'ampoule éclaire, qu'est-ce qu'il va se passer ?
- dessine ce que tu penses voir au crayon noir,
- tu branches l'ampoule sur la pile et tu dessines au feutre ce que tu vois.

#### c. Source placée en 3

- si l'ampoule éclaire, qu'est-ce qu'il va se passer ?
- dessine ce que tu penses voir au crayon noir,
- tu branches l'ampoule sur la pile et tu dessines au feutre ce que tu vois.

**NB.** Le filament de l'ampoule et le clou sont dans le même plan.

### Notre analyse

Nous pouvons remarquer que le passage de la projection de l'ombre d'un plan vertical parallèle à l'objet (ou à son plan de symétrie) à un plan horizontal perpendiculaire à l'objet (ou au plan de symétrie de l'objet) n'a pas été un obstacle à la représentation graphique demandée.

- 24 élèves prévoient correctement les trois positions de l'ombre.
- 4 élèves prévoient correctement les deux positions de l'ombre relatives aux positions 1 et 3 de la source.
- 8 élèves prévoient une position de l'ombre (relative à la source en 3).

- 5 élèves dessinent l'ombre dans des positions sans relation avec la position de la source.

Un obstacle semble lié au tracé de l'ombre portée suivant une diagonale du support. Le transfert d'une position de la source à une autre identique s'est bien opéré pour 12 élèves.

*La séance suivante a été conçue avec pour objectif de systématiser la prévision des ombres portées en faisant varier la forme des objets opaques et la position de la source.*

## SÉANCE 5

### Objectif

Faire fonctionner le système explicatif de formation de l'ombre dans des situations expérimentales diverses.

### Prise d'information

Dessin de l'ombre projetée de chaque objet pour chaque position de la source (ombre prévue) et comparaison entre ombre prévue et ombre obtenue en expérimentant.

### Plan de la séance

#### Objectif

Prévision de la forme et de la position de l'ombre portée d'un objet placé verticalement sur un plan horizontal.

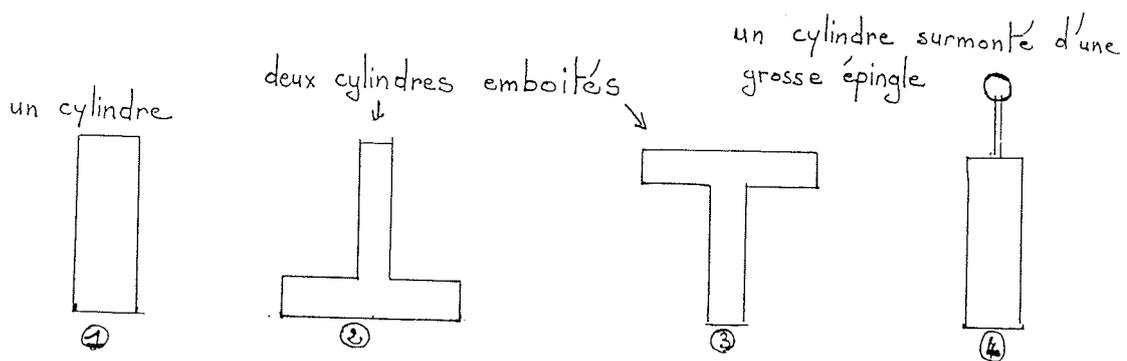
Les paramètres qui varient sont :

- la position de la source : trois positions dans le plan, la hauteur de la source étant constante de 10 cm ;
- la forme de l'objet.

#### Matériel

- Source ponctuelle sur le support horizontal percé (cf. annexe).
- 4 objets de forme différente.
- Un écran horizontal avec feuille blanche pour dessiner l'ombre.
- Les positions successives de la source sont numérotées.

Choix et ordre possibles des objets (vus en coupe longitudinale):



*Déroulement*

Présenter le dispositif (source, écran).

Donner l'objet ④ ; le faire décrire.

Faire placer l'objet au centre (milieu ?).

Placer la source à la position 1

a. Chacun des deux élèves réfléchit aux deux questions :

- où va se former l'ombre ?
- quelle forme (dessin ?) pour l'ombre ?

b. Les deux élèves se mettent d'accord et dessinent l'ombre prévue au crayon de papier (numérotée 1).

c. Un élève branche l'ampoule sur la pile et place l'ampoule face à l'objet (l'ampoule doit «regarder» l'objet) ; le deuxième élève dessine l'ombre au feutre rouge et numérote.

Placer la source à la disposition 2, puis 3 et effectuer le même travail. Les deux élèves du groupe peuvent changer leur rôle.

Lorsque les trois positions de l'ombre (prévue et résultat de l'expérience) ont été dessinées, le maître change la feuille-support des dessins, pour l'objet suivant.

**Notre analyse**

Pour 23 groupes de 2 élèves

**1. Prévion de la direction de l'ombre**

Pour les objets :

- 19 groupes prévoient correctement la direction de l'ombre pour la position 1 de la source ;

- bonne prévion pour les 23 groupes pour la position 2 de la source ; 19 bonnes prévions pour la position 3 de la source.

Le transfert s'est bien opéré pour une position relative identique de la source et de l'objet (ombre projetée suivant une médiane du support) ; par contre, l'alignement suivant une diagonale pose des problèmes pour quatre groupes.

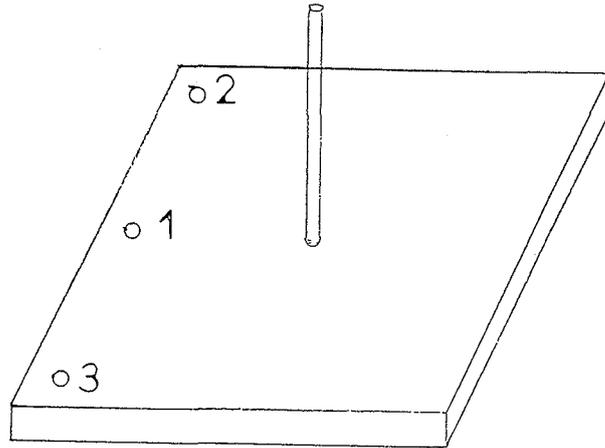
Les résultats sont identiques lorsqu'on change d'objet : il reste un à quatre groupes qui ne transfèrent pas leurs résultats d'observation pour l'ombre relative à la position 3 de la source.

**2. Prévion de la grandeur et de la forme de l'ombre**

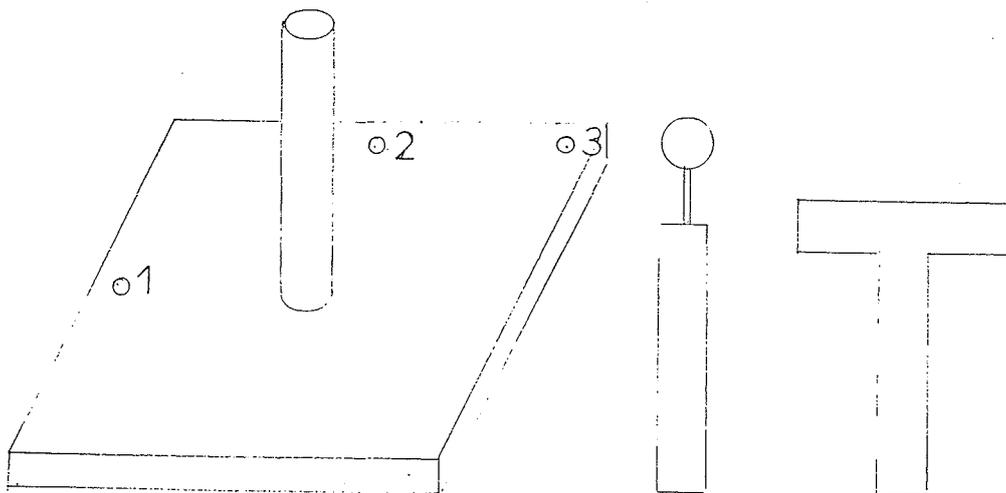
Bien que les formes d'objet choisies soient des formes géométriques simples, il a été **difficile** aux élèves d'imaginer la grandeur et la forme de l'ombre de chaque objet.

Le transfert s'est cependant bien effectué lors du passage de la source de la position 1 à la position 2.

*Comme cette tâche de prévion de la forme et grandeur de l'ombre nous a paru être trop difficile pour des élèves de cet âge, nous sommes limités à utiliser un objet linéaire dans les séances suivantes (tige cylindrique de diamètre très petit par rapport à sa hauteur).*



Séance 4 bis



Séance 5

**SÉANCE 6****Objectif**

Vers la construction géométrique de l'ombre d'un objet linéaire et la représentation du trajet de la lumière.

**Prise d'information**

Un observateur note les procédures de chaque élève par les tâches demandées.  
Dessin de chaque élève (ombre prévue, ombre réelle).

## Plan de la séance

### *Matériel individuel*

- Support horizontal percé (cf. séance 4 bis).
- Source ponctuelle fixe sur le support, à une hauteur de 10 cm du support, placée au milieu d'un côté (position 1).
- Un élément rectiligne vertical (tige en bois) placé au centre du support.
- Une feuille pour le dessin de l'ombre (placée sur le support horizontal).
- Une feuille de bristol format A4.
- Un crayon noir, un feutre rouge, une règle.

### *Matériel observateur*

- Liste d'élèves.
- Feuille qui précise les données à recueillir.

## **1er temps : prévision du phénomène avec explication des hypothèses**

Chaque élève

- prévoit la direction et la longueur de l'ombre de la tige et dessine sur la feuille au crayon noir ;
- explique sa prévision (direction et longueur) à l'observateur.

## **2ème temps : validation expérimentale**

- Chaque élève dessine l'ombre de la tige après avoir branché l'ampoule à la pile ; le dessin est fait au feutre rouge.
- S'il existe un écart entre les deux tracés effectués, l'observateur demande à l'élève d'expliquer...

Aide apportée : une ficelle qui peut aider à expliquer les deux facteurs étudiés : la direction et la longueur de l'ombre.

L'observateur note les procédures des élèves et les réponses à : «*qu'est-ce que représente la ficelle pour l'expérience ?*».

En collectif : un élève ayant une procédure efficace explique à l'ensemble des élèves son action et la signification de son action.

Reformulation orale attendue : «*la ficelle tendue entre la source et l'extrémité de l'ombre montre le «chemin» de la lumière*».

**FEUILLE OBSERVATEUR**

**NOM ET PRÉNOM DE L'ÉLÈVE**

**1er temps : prévision du phénomène avec explication des hypothèses**

- Noter l'explication de chaque élève dans sa procédure de tracé de l'ombre (direction et longueur).

**2ème temps : validation expérimentale**

- Noter l'explication donnée par l'élève de l'écart éventuel entre les deux tracés effectués.

- Décrire la procédure utilisée pour l'utilisation de la ficelle.

- Noter les réponses à la question :  
«qu'est-ce que représente la ficelle pour l'expérience ?»

**3ème temps : vers l'abstraction par la schématisation****a. Repérage des éléments sur feuille de bristol.**

- Observation du partage des tâches.

**b. Travail individuel sur feuille de bristol posée horizontalement.**

- Quelle procédure est utilisée pour matérialiser le trajet de la lumière ?

- Quelle procédure est utilisée pour le tracé du trajet de la lumière ?

### 3ème temps : vers l'abstraction par la schématisation

a. Repérage des éléments sur feuille de bristol (source, objet, ombre).

Le travail se fait par groupe de deux élèves ; une trace est prévue pour chaque élève.

#### *Procédure*

- Un élève tient la feuille de bristol en position verticale.
- Le deuxième élève reporte sur la feuille :
  - la position de la source,
  - la position et la hauteur de la tige,
  - la position de l'extrémité de l'ombre.

Les élèves inversent leur action pour le deuxième tracé.

b. Travail individuel sur la feuille de bristol posée horizontalement sur le bureau.

- Placer la ficelle pour expliquer le «chemin» de la lumière.
- Tracer ce «chemin».

### Notre analyse

**Pour la tâche n° 1 :** prévision du tracé de l'ombre avec explication des hypothèses.

#### *Résultats*

40 élèves sur 45 prévoient la direction de l'ombre.

6 élèves prévoient la grandeur en «montrant» le trajet de la lumière d'un geste du doigt.

Pour 21 élèves sur 45, la longueur de l'ombre est égale à celle de l'objet.

**Pour la tâche n° 2 :** tracé après validation expérimentale et explication de l'écart (s'il existe) entre le tracé prévu et le tracé de l'expérimentation.

Aide prévue : les élèves disposent de leur double décimètre et d'une ficelle.

#### *Résultats*

24 élèves sur 45 placent un des outils (double décimètre ou ficelle) correctement pour expliquer la formation de l'ombre.

Reformulation de l'action et de l'explication par des élèves ayant eu des difficultés.

**Pour la tâche n° 3 :** tracé du chemin de la lumière qui explique la formation de l'ombre.

Aide : repérage des éléments sur feuille de bristol en position verticale.

#### *Résultats*

32 élèves tracent sur la feuille le trajet de la lumière en utilisant le double décimètre ou la ficelle.

9 élèves joignent la position de la source à celle de l'extrémité de l'ombre sans passer par l'extrémité du bâton.

2 élèves ont un tracé qui part de la source pour arriver au sommet de l'objet.

*A l'issue de cette expérimentation, nous avons mis en place une évaluation portant sur un réinvestissement des situations de travail précédentes.*

**SÉANCE 7****Objectif**

Evaluation sommative de la séquence.

**Déroulement de la séance***Matériel*

Feuilles d'évaluation (cf. page suivante).

Crayon et double décimètre.

Trois situations «papier-crayon» sont présentées successivement.

Il s'agit, pour chacune de ces situations de dessiner l'élément qui manque dans le schéma en vue de profil du dispositif utilisé par les élèves dans les deux séances précédentes.

**Situation 1** : les positions de la source et de l'objet sont données : l'élève doit dessiner l'ombre de l'objet.

**Situation 2** : les positions de l'objet et du plan de la source sont données ainsi que la longueur de l'ombre de l'objet : l'élève doit dessiner la position de la source.

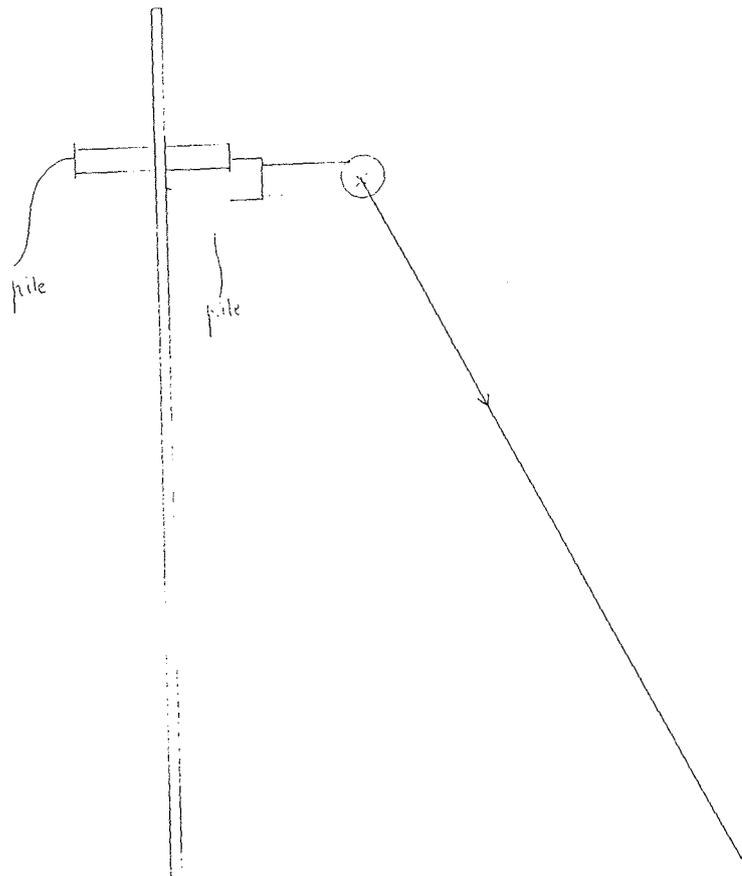
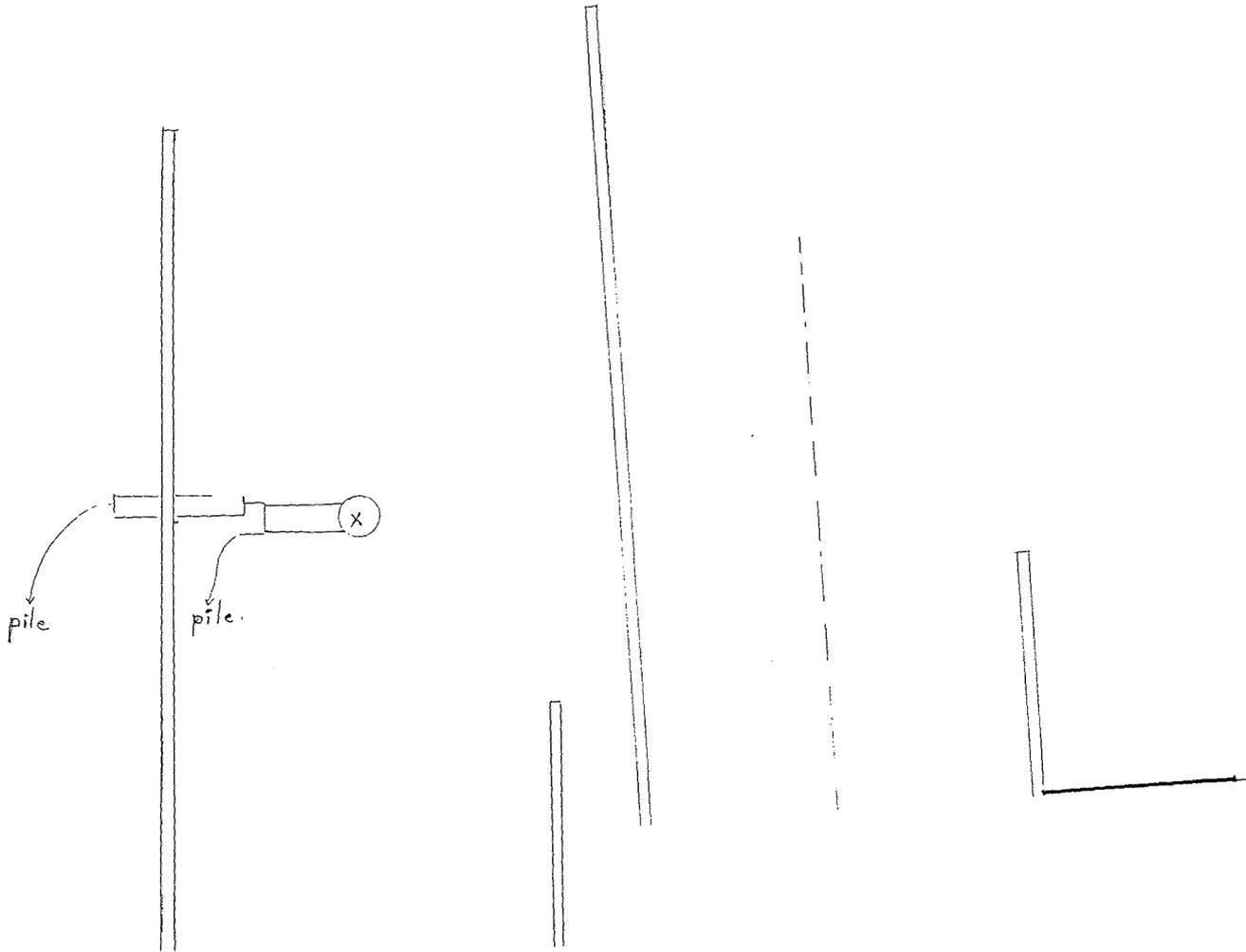
**Situation 3** : la position de la source et la longueur de l'ombre de l'objet sont données : l'élève doit dessiner la position de l'objet. Il a pour cela un gabarit de l'objet (tige linéaire) à sa disposition.

**Démarche pédagogique**

1. Phase de recherche et de représentation par l'élève.
2. Phase de validation du tracé par utilisation du dispositif expérimental.  
Validation par l'élève qui doit positionner sa feuille par rapport au dispositif.  
Puis validation par l'enseignant.

**N B**

1. Pendant la passation des évaluations, l'enseignant fait sans cesse référence au dispositif réel qui est exposé sur une table devant les élèves.
2. Pour permettre la validation expérimentale, les schémas proposés aux élèves sont évidemment grandeur réelle !



## Les résultats des élèves et notre analyse

Réussite totale pour  
19 élèves sur 45 au test 1,  
27 élèves au test 2,  
33 élèves au test 3.

L'autocorrection en présence de l'enseignant a permis de connaître la procédure de chaque élève et de faire une remédiation individuelle immédiate.

Les résultats de cette évaluation montrent qu'il reste un bon nombre d'élèves qui ne peuvent pas réinvestir le modèle du rayon lumineux.

Cela nous semble fortement lié aux contraintes de temps que nous avons eues à ce moment de l'année (départ des élèves en classe nature entre autres).

Il aurait fallu conduire, **avant l'évaluation**, plusieurs séances bâties sur le protocole de la séance 6, en faisant varier

- la hauteur de la source,
- la hauteur de l'objet

avant de passer à l'analyse des conditions sur papier, ce qui est une abstraction supplémentaire.

D'autre part, pour les mêmes raisons, nous avons conscience d'avoir privilégié le tracé du rayon lumineux qui permet la construction de l'ombre ; le tracé d'autres rayons était prévu.

## LES RESULTATS EN COURS POUR NOTRE RECHERCHE

Il apparaît que les séances conduites à ce jour ont permis de faire établir les conditions de la formation des ombres impliquant des propriétés de la lumière et des propriétés d'opacité des objets, et d'amorcer l'élaboration du modèle du rayon lumineux qui est le modèle de l'optique géométrique.

Par contre, il est apparu difficile pour des enfants aussi jeunes d'avoir des réponses qui ne fluctuent pas suivant les situations proposées, à la question «qu'est-ce que la lumière ?».

On peut remarquer qu'il y a eu aussi historiquement un décalage entre l'établissement des lois de l'optique géométrique et des théories sur la nature de la lumière.

Nous avons pu repérer les fonctions suivantes pour le modèle en cours de construction.

### Une fonction explicative

Les réponses aux questions posées concernant la formation des ombres ont fait apparaître une nécessité de la lumière dans ce phénomène, la lumière ayant une «action» sur les objets :

*«la lumière part de la source, tape sur la boule».*

**Une fonction de représentation** qui a été induite par les tâches demandées aux élèves dans les dernières séances.

Le passage de l'observation de l'ombre portée d'un objet à la représentation du trajet du rayon lumineux passant par l'extrémité de l'objet a été abordée par une mise en relation spatiale des éléments nécessaires à la formation d'une ombre.

L'élaboration du tracé du trajet de la lumière a été facilitée :

- par la formulation de la relation causale exprimant les conditions nécessaires à la formation des ombres (présence d'une source de lumière et d'un objet opaque) ;
- par une structuration spatiale qui a conduit à de bonnes prévisions de l'orientation de l'ombre projetée par rapport à la position de la source.

**L'opérationnalité** du modèle en cours d'élaboration a été évaluée dans plusieurs situations conduites quelques mois après cet apprentissage systématique. C'est ici la **fonction prédictive** qui a été privilégiée.

**Situation 1** : prévision de la position et de l'orientation nécessaires pour obtenir son ombre sur un écran vertical.

Le problème posé à chaque élève était celui-ci :

«Où et comment faut-il te placer pour obtenir sur la feuille fixée au mur l'ombre du haut du corps (visage et haut du tronc) qui permette de te reconnaître» ?

**Situation 2** : prévision de la direction et de la longueur de l'ombre d'un bâton placé verticalement dans la cour de l'école sur une surface ensoleillée.

Les élèves n'ont aucun problème pour imaginer la direction de l'ombre portée sur un support placé au sol.

En ce qui concerne la longueur, la mise en relation «soleil haut dans le ciel - ombre plus courte» est difficile pour la plupart.

Un travail en classe avec leurs maquettes a permis une formulation de la relation entre la longueur de l'ombre et la hauteur de la source.

Dans ces deux situations, on a pu noter que le modèle a bien fonctionné avec des changements de conditions concernant la nature de la source lumineuse et la nature et grandeur de l'objet opaque.

**Situation 3** : approche de la mesure du temps en utilisant le phénomène d'ombre.

Les enfants ont rapproché le dispositif précédent du cadran solaire observé en classe nature. C'est comme le cadran solaire.

Nous leur avons alors demandé d'utiliser leur dispositif individuel comme un cadran solaire.

La relation causale qu'ils ont établie entre la direction de l'ombre de la tige et l'heure de la montre peut être considérée comme une première approche d'un instrument de mesure. (Valable en toute rigueur pour un jour de l'année au lieu considéré).

## POUR CONCLURE...

Nous avons conscience des situations simplificatives proposées aux élèves de ces deux classes de cours préparatoire, situations induites fortement par les dispositifs expérimentaux choisis.

D'autre part, notre analyse nous a conduit à faire des choix sur les apprentissages, en laissant de côté des pistes tout aussi intéressantes.

Ce qui nous incite à conclure sur la durée nécessaire à un apprentissage qui tienne réellement compte des réalisations des enfants dans le domaine expérimental et dans le domaine représentatif.

Un travail plus approfondi pourra être conduit dans les niveaux suivants de l'école élémentaire.

Il est prévu, avec les mêmes élèves, de continuer l'apprentissage

- en cherchant, pour le phénomène d'ombre, les relations quantitatives entre distances et dimensions ;

- en construisant des situations permettant d'aborder l'émission de la lumière dans toutes les directions de l'espace ;

ceci afin de satisfaire la curiosité des enfants pour ces questions.

## BIBLIOGRAPHIE

- BACHELARD G., (1970), *La formation de l'esprit scientifique*, Librairie philosophique, Vrin.
- EQUIPE INRP/LIREST, (1992), *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*, I.N.R.P.
- EQUIPE INRP, (1988), Aster n° 7, *Modèles et modélisation*, I.N.R.P.
- GABY NETCHINE-GRYNBERG, (1990), *Développement et fonctionnement cognitifs chez l'enfant*, P.U.F.
- GARNIER C., BEDNARZ N., ULANOVSKAYA I., (1993), *Après Vygotski et Piaget*, col. Pédagogies en développement, De Boeck Université.
- GIORDAN A., DE VECCHI B., (1987), *Les origines du savoir*, Delachaux Niestlé.
- HALBWACHS F., (1974), *La pensée physique chez l'enfant et le savant*, Delachaux Niestlé.
- HALBWACHS F., (1971), *Les théories de la causalité*, P.U.F.
- LUQUET G.H., (réédition 1991), *Le dessin enfantin*, Delachaux Niestlé.
- PIAGET J., (1927), *La causalité physique chez l'enfant*, Librairie Félix Alcan.
- PIAGET J., (1972), *La représentation de l'espace chez l'enfant*, P.U.F.
- TIBERGHIEU A., (1989), *Revue critique visant à élucider le sens de la notion de lumière chez les élèves*, Ecole de Physique La Londe Les Maures.
- VYGOTSKI L.S., (traduction 1985), *Pensée et langage*, Messidor Terrains, Editions Sociales.