

DES OMBRES, LA LEUR, LA MIENNE... ÉCLAIRAGES

Daniel LACROIX

Professeur de Sciences Physiques
IUFM de Grenoble

Dans toute l'Afrique, chaque communauté de quelque importance a sa propre culture, un système original de croyances et de coutumes, sa langue et ses tabous. Tout cela est infiniment compliqué, alambiqué et mystérieux.¹

Dans notre système scolaire, chaque groupe classe fonctionne comme une telle communauté, avec ses propres **règles**. Celles-ci régissent aussi bien le comportement des élèves que l'élaboration de leur discours. Ainsi, l'utilisation de règles communes rend compréhensible, pour toute la classe, l'explication d'un phénomène physique proposée par un élève, même si ce dernier développe un point de vue personnel.

Le discours tenu par l'enseignant s'appuie sur d'autres règles, celles qui sont utilisées par l'adulte, expert ou non expert. Afin d'éviter tout malentendu, l'enseignant a besoin de connaître les règles structurant le discours de l'enfant et d'en tenir compte, en situation d'enseignement, s'il veut être compris par toute sa classe. *A priori*, **comme un anthropologue**, l'enseignant ne connaît pas ces règles. Il doit les **reconstruire** à travers les matériaux épars dont il dispose dans les productions de ses élèves.

Dans cet article, nous allons adopter cette démarche. Nous nous intéressons à un sujet particulier, l'ombre, et nous allons dégager des productions des élèves, les règles qui organisent leurs discours et leurs dessins. Nous allons décrire comment ces règles, source d'organisation de la connaissance, se transforment avec l'âge des élèves. Cet aspect est important car l'étude de l'ombre peut être proposée à tous les niveaux de l'école élémentaire, à travers quelques situations simples (l'ombre de soi, l'ombre d'un objet, les ombres chinoises etc...)².

Lorsque l'on construit une **activité d'enseignement** sur ce sujet, une difficulté se présente. Le phénomène est tellement commun, les situations rencontrées par l'enfant sont tellement nombreuses, que l'enseignant peut s'imaginer que, du fait de cette familiarité, cette seule étude va déboucher sur une connaissance scientifique ; c'est-à-dire sur une connaissance structurée, organisée comme celle de l'expert. Or il n'en est rien. Nous verrons qu'il y a d'ailleurs un contraste frappant entre une familiarité acquise très tôt, qui se manifeste par les nombreuses connaissances des très jeunes enfants (dès l'âge de cinq ans), et

¹ Kapuscinski R. (2000) *Ebène* Plon (traduction du polonais)

² N.D.L.R. L'article « Mon ombre, qui es-tu ? » de B. Calmettes et M-C. Ricou, paru en 2001 dans le numéro 68 de Grand N (pp. 75-90), présentait deux séquences menées dans une classe de CM2. Le présent article, avec sa dimension développementale, offre un autre point de vue sur le thème.

l'organisation très primitive de ces connaissances. Ce contraste est encore plus frappant lorsque l'on compare ces dernières à celles de l'adulte, expert ou non expert.

Dans cet article, nous nous proposons de présenter les connaissances des élèves à trois niveaux de la scolarité, pour dégager leur organisation et leur évolution possible.

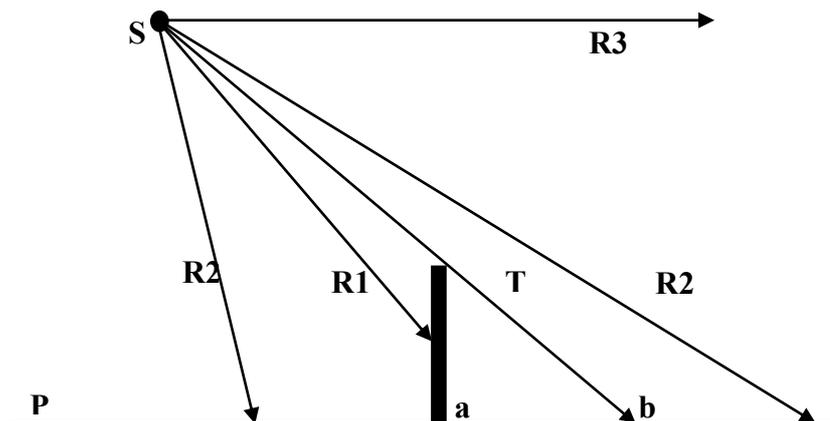
Pour comparer les connaissances de l'enfant avec celles de l'adulte, nous présenterons d'abord les connaissances de l'adulte expert et leur organisation, puis celles de l'adulte non expert. Nous identifierons alors les règles régissant la construction de la connaissance chez l'enfant, tout en discutant quatre questions, abordées dans cet ordre :

- quelles sont les connaissances de l'enfant de 4/5 ans avant enseignement ?
- comment s'effectue la prise de conscience de son ombre chez le jeune élève ?
- comment se développe ce que nous appellerons l'image prototypique de l'ombre (élèves de 7/9 ans) ?
- comment un problème, « Expliquer le contraste », permet-il de rapprocher les connaissances des élèves de 10/12 ans de celles de l'expert ?

Connaissances sur l'ombre de l'expert

On considère comme « expert » celui qui se place dans le seul champ de l'optique géométrique, sans faire référence à la vision, pour construire une explication du phénomène d'ombre. L'expert utilise les seuls concepts de transparence, d'opacité, de source, d'absorption, de diffusion, de propagation rectiligne. Nous allons préciser l'usage qu'il en fait pour interpréter chacun des aspects du phénomène d'ombre.

L'expert reconnaît, dans toute situation d'ombre, la présence des mêmes composants : la source lumineuse, des objets opaques et un milieu transparent. Ces composants sont caractérisés par leurs propriétés optiques. Il peut y avoir deux types d'objets opaques : ceux qui font écran au faisceau et ceux qui diffusent la lumière qu'ils reçoivent. Ces derniers sur lesquels se projette l'ombre portée, comme un écran de cinéma, sont des sources secondaires.



Légende

- | | |
|---|--|
| S : source lumineuse ponctuelle | P : plan sur lequel se projette l'ombre |
| En noir, le corps opaque | [a, b] : segment qui représente l'ombre portée |
| R1 : rayon arrêté par l'objet opaque | R2 : rayon éclairant le plan de projection |
| R3 : rayon ne contribuant pas au phénomène d'ombre | |
| T : construction géométrique mettant en relation le bord de l'objet opaque et l'extrémité de l'ombre. | |

Figure 1 : Schéma représentant la formation d'une ombre selon les principes de l'optique géométrique (cas d'une source ponctuelle)

L'expert fait référence à diverses **interactions de la lumière avec la matière** qui sont autant d'événements (ev) :

- l'émission de lumière par un corps chaud (ev1),
- sa propagation dans un milieu matériel et transparent (ev2),
- son arrêt sur un corps opaque (absorbant ou diffusant) (ev3),
- son absorption (ev4),
- sa ré-émission par ce corps dans toutes les directions permises par l'écran diffusant (ev5),
- la réception de la lumière par l'œil (ev6).

Dans un milieu transparent et homogène comme l'air, la lumière se déplace en ligne droite. Si le milieu n'est plus homogène, cette affirmation doit être nuancée. La lumière suit alors un trajet plus compliqué, cela entraîne la vision de nouvelles images, des mirages comme ce que l'on peut observer au-dessus d'une route sombre chauffée par le soleil.

Pour l'expert, la propagation rectiligne de la lumière ordonne les composants et définit leurs positions relatives. Objets opaques et source se trouvent dans un même milieu transparent. L'écran peut en être une limite. Il y a **ombre** lorsqu'il existe au moins une **ligne droite**, support d'un rayon lumineux émanant de la source, reliant, dans l'ordre, cette source, un milieu transparent, un milieu opaque, un milieu transparent et, éventuellement, un autre milieu opaque.

L'expert fait référence à une **transformation géométrique**, une projection, pour interpréter qualitativement et quantitativement le phénomène d'ombre. D'abord, il s'intéresse à la relation point par point qui lie les points de la source, de l'objet et de son ombre. Dans la plupart des cas, il peut s'intéresser seulement au contour de l'objet et en déduire les contours de l'ombre. **Dans le cas d'une source ponctuelle**, le schéma effectué habituellement traduit cette approche (cf. figure 1). Les seuls traits représentés permettent de localiser les objets dans l'espace, de représenter leur taille et de mettre en relation les bords de l'objet et les limites de l'ombre. La géométrie euclidienne et la géométrie dans l'espace permettent de trouver des relations entre les positions des objets, leurs dimensions et celles de l'ombre. Ces traits ne peuvent représenter des trajets réellement suivis par des rayons lumineux car à la rencontre de l'objet, la lumière serait diffusée ou diffractée.

Dans le cas d'une source étendue, le schéma se complique. L'ombre portée est alors la superposition des diverses ombres créées par chaque point de la source. Il y a un passage progressif de la zone la plus éclairée à la zone la plus sombre ; cette zone intermédiaire est la zone de pénombre. Dans ce cas aussi, il est possible de prévoir, en utilisant la géométrie euclidienne, les contours de la zone d'ombre et de la zone de pénombre.

Dans le cas d'une source ponctuelle, la relation point par point, qui lie un point de l'objet et un point de l'ombre, permet de s'intéresser à trois types de rayons émis par la source (cf. figure 1) :

- certains, émis par la source, se propagent jusqu'au corps opaque puis sont absorbés et éventuellement rediffusés. Ils n'arrivent pas à l'écran (R1) ;
- d'autres se propagent, passent au voisinage du corps opaque. Ils arrivent à l'écran d'où ils sont rediffusés en direction de l'observateur (R2) ;
- d'autres encore, émis par la source, n'atteignent jamais ni l'écran, ni le corps opaque (R3).

L'histoire de ces rayons explique la présence sur l'écran des zones sombres et celle des zones éclairées, donc lumineuses. Elle rend compte du contraste observable, car seules les parties éclairées de l'écran peuvent diffuser la lumière, captée ultérieurement par l'œil. La

zone sombre est appelée **ombre portée**.

Les rayons issus de la source n'ont pas tous la même histoire. Ils ne vivent pas tous les mêmes événements définis par l'interaction de la lumière avec la matière... Ils ne vivent pas ces événements dans le même ordre. Pour chacun des trois types de rayon, une chronologie d'événements peut être transcrite en reprenant la désignation introduite plus haut :

- R1 : (ev1), (ev2), (ev3), (ev4)...
- R2 : (ev1), (ev2), (ev3), (ev4), (ev5), (ev2), (ev6).
- R3 : (ev1), (ev2)...

Il est toujours difficile de raconter ce qui se passe simultanément en différents lieux car le discours est séquentiel. Notons que l'utilisation d'un schéma permet, elle, de présenter toutes ces histoires en même temps.

Ici, un seul schéma permet de synthétiser les connaissances de l'expert citées précédemment et de construire, en les organisant, une explication liée aux propriétés de la lumière :

- il mentionne les composants présents dans toute situation d'ombre ;
- il évoque les concepts utilisés pour décrire toute situation d'ombre ;
- il établit une distinction entre des propriétés premières et des propriétés secondes ; l'opacité des corps, leur position, leur dimension et la propagation rectiligne de la lumière conditionnent la présence de l'ombre, sa position et ses dimensions ;
- enfin, sans que nous ayons insisté sur ce point, il traduit la construction d'un modèle de la situation en dégagant les paramètres géométriques propres à la caractériser. Ces paramètres géométriques sont imposés par la propagation rectiligne de la lumière.

Connaissances sur l'ombre de « l'adulte non expert »

L'adulte non expert³ situe le phénomène d'ombre partiellement dans le cadre de l'optique géométrique

Pour construire une explication, il utilise donc les concepts optiques de source de lumière, de corps opaque, de corps transparent, de propagation de la lumière. Ces propriétés, dites premières, lui permettent de rendre compte des propriétés secondes, celles de l'ombre (présence de l'ombre au voisinage de l'objet opaque, positions relatives de la source, de l'objet opaque et de l'ombre). Le principe de propagation de la lumière, considérée comme rectiligne, organise la position des composants. L'objet opaque est situé entre son ombre et la source lumineuse.

L'adulte non expert s'intéresse en priorité à l'ombre portée observable sur un écran diffusant (sol, mur)

Arrêtons-nous sur les deux notions d'ombre portée et de diffusion, telles qu'il les envisage.

La diffusion, propriété appartenant au champ de l'optique, est peu évoquée. De ce fait, la notion de source secondaire est peu utilisée. Aussi, pour remplacer cette notion, le champ de l'optique est associé au champ de la vision : l'ombre est le contraste perçu visuellement entre une zone éclairée et une zone sombre. Le lien entre les deux champs est partiel.

³ Pour cette description, nous nous référons aux formes de connaissances, régulièrement exprimées, lors de l'étude de l'ombre, par des professeurs des écoles en formation initiale.

L'ombre est l'espace où la lumière en provenance d'une source ne parvient pas. C'est un espace sans lumière, où l'on peut être à l'abri de l'ardeur de la source lorsqu'elle est trop violente. Mais le contraste n'est pas analysé en termes de diffusion de quantités différentes de lumière par la zone éclairée (lumineuse) et par la zone sombre.

La forme de **l'ombre portée** se déduit de celle de l'objet opaque par une transformation, une projection, trop complexe pour être appréhendée en tous ses aspects. L'adulte non expert en retient deux. Tout d'abord, l'ombre portée est une tache de forme comparable à l'objet opaque qui lui donne naissance, à la silhouette d'un individu par exemple. L'ombre qui présente le plus de similitudes avec la silhouette est considérée comme la plus typique. À ce titre, elle est retenue comme étant le **prototype** permettant de penser les situations d'ombre. Or, à un objet ne correspond pas une seule ombre, mais une infinité. Ces différences possibles entre les ombres d'un même objet sont prises en compte, le cas échéant. Par exemple, l'ombre d'un cerceau est supposée être un cercle, une ellipse, mais rarement un segment de droite. Ainsi, l'ombre doit conserver certaines propriétés qui caractérisent la figure initiale, ici la rotondité. L'adulte raisonne en termes de similitudes et de différences entre l'objet et ses ombres, différences qui ne doivent pas être trop prononcées.

L'ombre apparaît aussi comme une production de la source de lumière. Ainsi, les propriétés de la source et sa position influent-elles sur les caractéristiques de l'ombre. Par exemple, les adultes non experts s'accordent pour dire que « *plus la source est basse, plus l'ombre est longue* ». Mais ils ne sont pas nécessairement choqués par une relation du type : « *plus la source est lumineuse, plus l'ombre est sombre* ».

L'ombre portée est parfois réifiée par la pensée

Lorsque l'adulte non expert se voit en train de courir, il place volontiers son ombre derrière lui. On peut imaginer, en forçant le trait, une ombre matérielle que l'on traîne comme un boulet. Et l'ombre portée, tache associée à la silhouette, peut être alors pensée comme un attribut permanent des objets ou du sujet, au même titre que leur masse, par exemple. Prolongeons notre comparaison. On peut dire que la masse d'un objet se révèle dès que certaines conditions sont favorables, par exemple lorsque l'objet est placé sur l'un des plateaux d'une balance. Il en est de même pour l'ombre qui, permanente, semble apparaître à la vue seulement lorsqu'une source l'éclaire.

Diverses connotations habituelles de l'ombre sont souvent présentes dans les expressions communes

En voici un exemple : « X a toujours vécu à l'ombre de Y ». Cette phrase évoque la proximité de X et de Y, un Y plus important que X soit par la taille soit par le caractère, un X sous la protection de Y.

L'enfant de quatre ans et l'ombre des objets

Contrairement à l'adulte, l'enfant de quatre ans n'a généralement pas conscience de son ombre portée. Par contre, il connaît la protection que peut lui assurer l'ombre d'un objet de grande dimension. Nous allons nous intéresser aux connaissances qui apparaissent lorsqu'un enfant de cet âge doit explorer, à l'aide de son corps, l'ombre d'un objet de grande taille.

Une situation : l'exploration de l'ombre d'un objet de grande taille

La maîtresse demande à ses élèves de se mettre à l'ombre d'un objet de grandes dimensions (arbre), d'y mettre une partie de leur corps, un bras, une jambe. Pour se mettre à l'ombre, certains enfants placent leurs pieds sur l'ombre portée de l'arbre ; d'autres cherchent à s'immerger entièrement dans l'ombre de manière à ne plus être gênés par le soleil lorsqu'ils regardent dans sa direction ; d'autres se placent contre le tronc, sous le feuillage de telle sorte que leurs habits deviennent sombres. Ils peuvent dire : « *Quand je me mets à l'ombre, le bleu change de couleur, ça fait un autre bleu* ». Ils apprécient la fraîcheur de l'ombre et sa luminosité : « *On va à l'ombre quand on a chaud, quand on a trop chaud* ». Ils peuvent immerger seulement une partie de leur corps dans l'ombre, de sorte qu'ils observent la différence d'éclat de leur vêtement : « *Là c'est en couleur, là c'est pas en couleur* ». La maîtresse favorise cette mise en mots en leur posant des questions du type : « *Es-tu à l'ombre ? Comment tu le sais ? Comment tu le vois ?* ».

Des connaissances variées, exprimées oralement

Tout en **explorant** le volume qu'occupe l'ombre, les élèves **expriment** ainsi des faits qui leur sont familiers. Pour les enfants, l'ombre est associée à un objet de grandes dimensions. Elle se caractérise comme un espace sombre, frais, protégé contre l'agression du soleil, en contact avec l'objet de grande dimension, situé au-dessus de l'ombre portée.

L'ombre ne se réduit pas à une surface qui est l'ombre portée. Elle occupe un volume, l'espace situé au-dessus de l'ombre portée. Si le maître demande, lorsque le soleil est bas sur l'horizon, de mettre seulement la main dans l'ombre de l'arbre, les enfants se placent sur les bords de l'ombre portée. Ils cherchent à introduire leur main, le bras tendu horizontalement dans l'ombre comme si elle occupait l'intérieur d'un cylindre dont les génératrices verticales s'appuient sur les bords de l'ombre portée. La main des enfants placés aux abords de l'ombre de la cime de l'arbre ne pénètre pas dans l'ombre. Pour aller à sa rencontre, ceux-ci placent leur main le plus loin possible du corps, ils se penchent. Certains basculent même à la recherche de l'ombre. Persuadé de la présence de l'ombre au-dessus de l'ombre portée, aucun enfant ne s'accroupit pour poser sa main près de lui sur l'ombre portée.

La traduction des propriétés connues de l'ombre des objets de grandes dimensions dans les dessins

Les **dessins** demandés aux élèves à l'issue de l'exploration traduisent certains des aspects de l'ombre des objets de grandes dimensions, cités précédemment :

- une tache sombre est située sur le sol ;
- le contraste est rendu par une utilisation de couleurs sombres et claires. Ainsi l'ombre peut être placée au centre d'une tache lumineuse ;
- l'ombre portée est repérable sur le sol. Cette tache sombre se situe au voisinage immédiat de l'objet de grandes dimensions, arbre, maison ;
- il est possible de pénétrer dans l'ombre, espace sombre qui enveloppe ce qui s'y trouve, un individu par exemple ;
- un mur, un toit ou une branche peuvent délimiter l'espace sombre, tout en renforçant l'idée de protection.

Avant la découverte de son ombre à lui, l'enfant a du mal à préciser la forme et les contours de l'ombre des objets de grandes dimensions. Sa présence peut aller du sol jusqu'à la cime de l'arbre ou occuper seulement une partie de cet espace. L'ombre se situe

au-dessus de la tache sombre, mais elle doit être assez haute pour envelopper ce qui s'y trouve. De ce fait, elle dépend des dimensions de ce qui est immergé. Si l'on s'intéresse à l'ombre d'un arbre, elle s'appuie sur le tronc ; elle est limitée par les branches et le feuillage de l'arbre. Pour délimiter cet espace, certains élèves donnent à l'arbre un port pleureur. L'ombre se trouve alors confinée dans un espace fermé. Dans les dessins, l'ombre apparaît comme une zone protégée contre l'ardeur du soleil, car isolée de toutes parts de l'espace lumineux par un bouclier de verdure. Cette inclusion est encore plus naturelle pour l'ombre de la maison, qui ne s'appuie pas contre un mur, mais est située en son sein. L'ombre peut aussi apparaître sur les dessins comme un nuage au-dessus des objets, assurant de cette manière son rôle de protection.

Ces connaissances sur l'ombre des objets apparaissent aussi émiettées qu'elles sont variées, même si des associations peuvent être faites avec les nuages, la fumée, le brouillard ; associations dont il est difficile de préciser les caractéristiques⁴.

Réorganisation des connaissances concernant l'ombre des objets autour de l'ombre de soi (école maternelle)

La prise en compte de l'ombre portée de soi déclenche une réorganisation des connaissances concernant l'ombre. L'ombre des objets de grandes dimensions est alors pensée à travers l'ombre de soi. En moyenne section, il est possible de construire une activité favorisant cette réorganisation des connaissances que nous observons à travers l'élaboration des dessins.

Les élèves de quatre ans ont peu de connaissance de leur ombre

Avant enseignement, peu d'enfants peuvent dessiner **leur** ombre. Lorsque le maître leur demande de dessiner successivement l'ombre d'un arbre, d'une maison, puis leur propre ombre, certains élèves opposent un refus, refus qu'ils justifient en disant : « Je sais pas », « Je ne peux pas ». Les autres représentent toutes ces ombres de la même manière. Ce sont habituellement des taches colorées ou sombres ; situées au pied de la maison, accrochées aux branches de l'arbre, éventuellement planant au-dessus de ces objets. L'ombre de l'enfant est alors dessinée en faisant référence à l'ombre imprécise des objets de grande dimension (cf. figure 2)

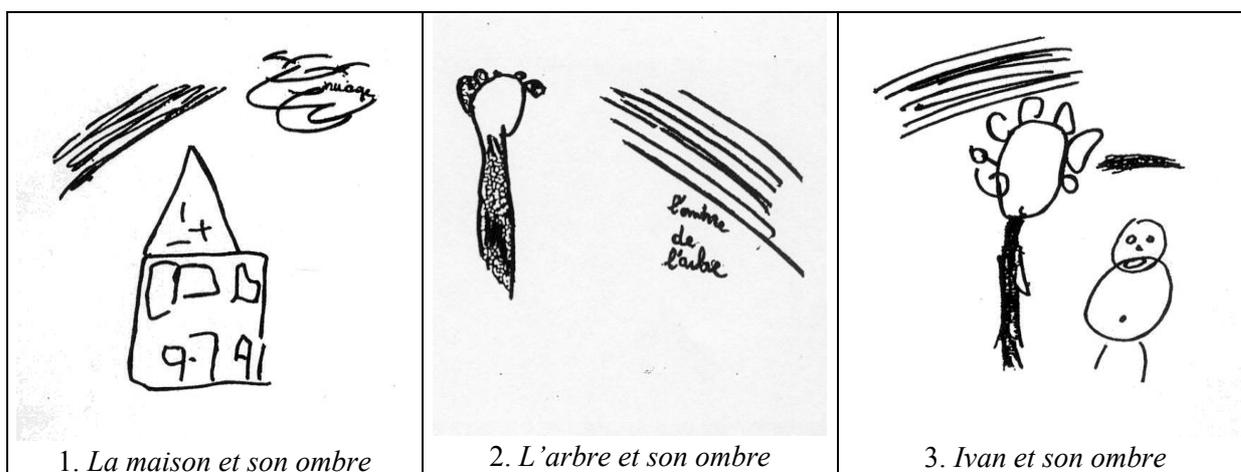
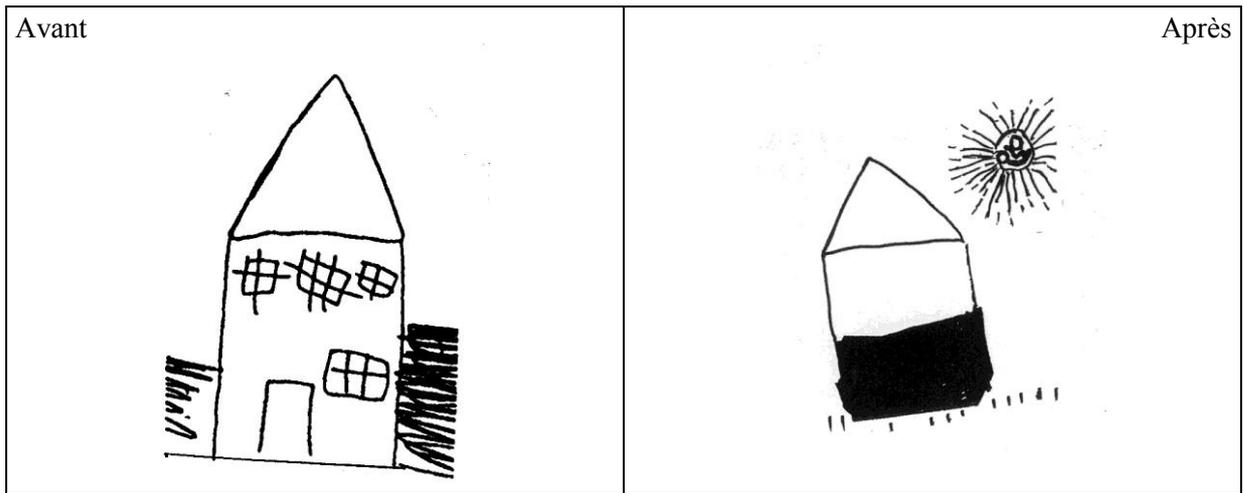
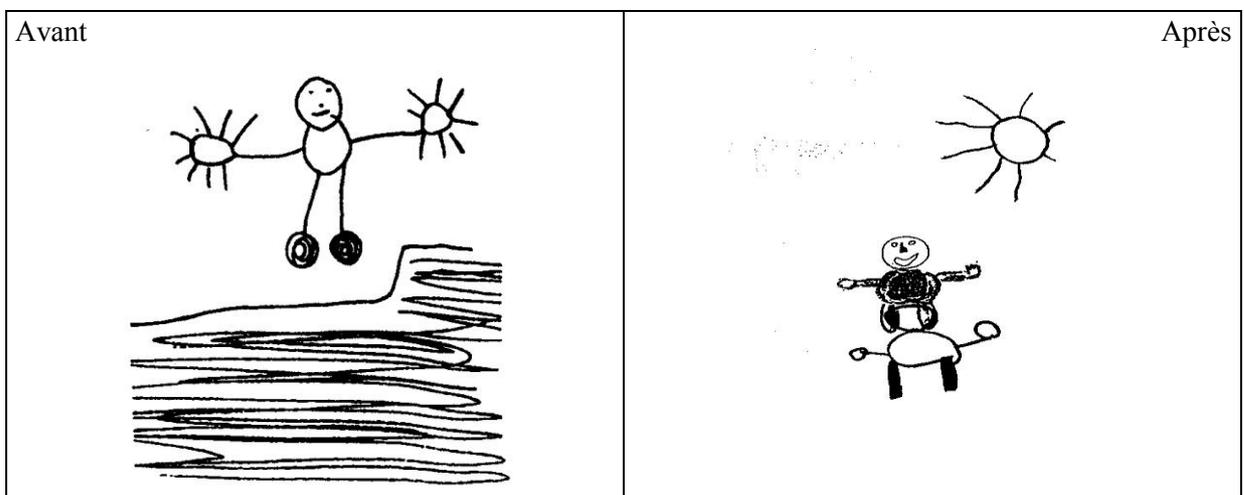


Figure 2 : Dessins d'Ivan (quatre ans) avant enseignement

⁴ On peut se rapporter à Piaget (1927), *La causalité physique chez l'enfant*, chez Alcan.

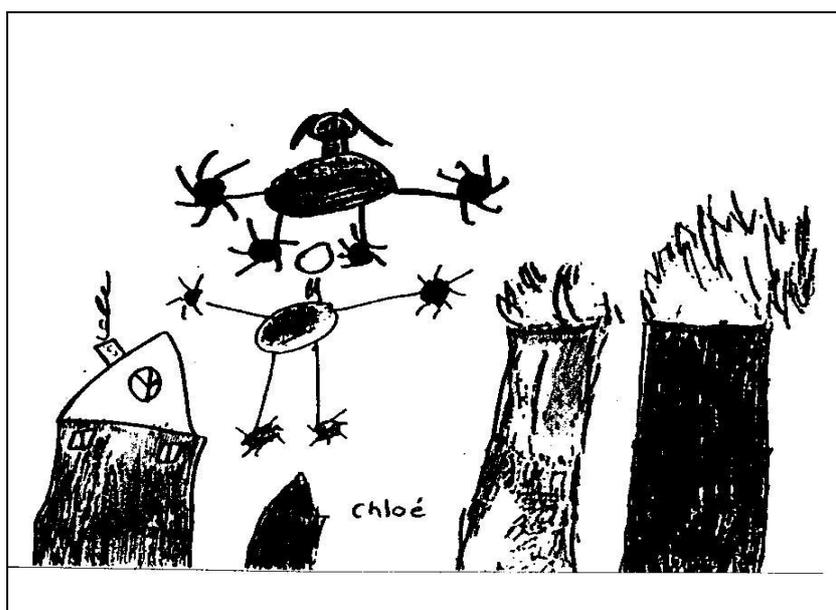


« Je dessine la maison et son ombre. »

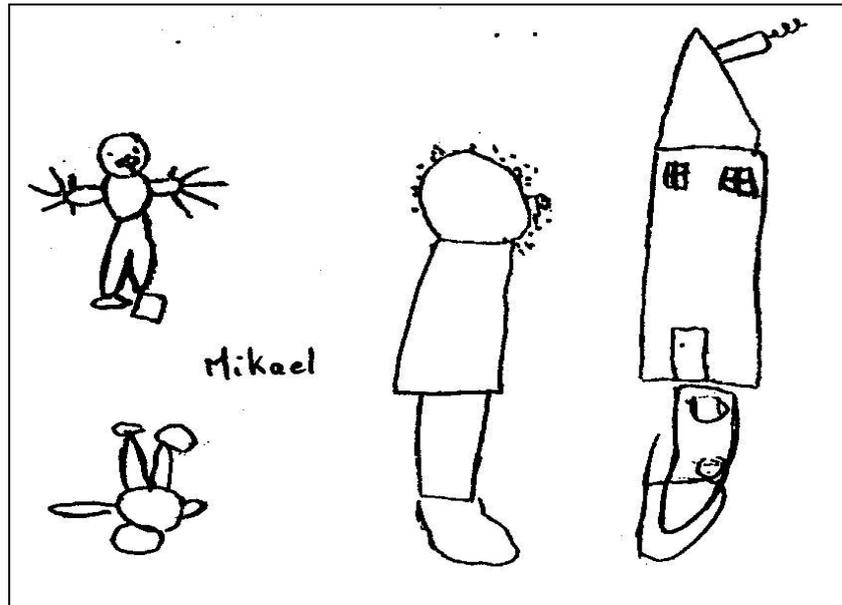


« Je me dessine, moi et mon ombre »

Figure 3 : Dessins réalisés par Hugo (quatre ans) avant et après enseignement



« Je me dessine, moi et mon ombre, je dessine l'arbre et son ombre, la maison et son ombre »-



« Je me dessine, moi et mon ombre, je dessine l'arbre et son ombre, la maison et son ombre. »

Figure 4 : Dessins réalisés par des enfants de grande section de maternelle après la découverte de leur propre ombre

La formation du prototype de l'ombre

Une situation pour prendre conscience de l'ombre de soi

Au cours d'une seule activité, les enfants de quatre ans peuvent prendre conscience de leur ombre. En voici un exemple. Les élèves assis dans la cour, dos au soleil, doivent imiter les gestes de la maîtresse, située derrière eux. Ils ne peuvent pas voir la maîtresse, mais ils ont la possibilité de voir son ombre portée devant eux sur le sol. Pour que son ombre portée soit bien visible par les élèves, la maîtresse est située sur une chaise assez haute au-dessus du sol. L'activité peut être complétée ultérieurement en demandant aux élèves d'imiter les gestes d'un enfant situé derrière eux sur la chaise.

Revenons sur l'attitude des élèves au cours de l'activité. D'emblée, un tiers des enfants reproduit les gestes de la maîtresse. Un deuxième tiers les reproduit avec un fort décalage. Les autres restent immobiles. L'exercice ne dure que quelques minutes. Pourquoi seuls certains élèves imitent-ils la maîtresse ? Comment font-ils pour deviner ses gestes ? Ils ne peuvent pas répondre à cette dernière question (de la maîtresse). « *Je ne sais pas* », « *Je ne vois pas* », « *Je regarde par là* ». Un enfant montre avec sa main dans la direction de l'ombre. « *Là-bas, loin là-bas* ». Il se lève, s'éloigne du groupe. Il va bien au-delà de l'ombre de la maîtresse et montre la direction dans laquelle il regardait. D'autres enfants interrogés donnent les mêmes réponses.

La maîtresse reprend l'exercice. Elle demande aux élèves de l'imiter. Elle commente : « *Ceux qui font les gestes regardent mon ombre sur le sol. Il y a le soleil derrière moi. Il y a une tache noire sur le sol, c'est mon ombre. Lorsque je lève ma jambe, mon ombre change de forme* ». Les enfants ont alors à imiter de nouveaux gestes de la maîtresse, ce qu'ils parviennent tous à faire sans difficulté.

À la suite de cette activité, ils se dessinent eux et leur ombre sans difficulté et sans qu'une quelconque opposition ne se manifeste. Ils ont pris conscience de leur ombre (cf. figure 3 et figure 4).

Découverte des similitudes

D'après les dessins, il apparaît que leur ombre n'est autre qu'une image d'eux-mêmes ou une tache dont le contour est leur **silhouette**. L'enfant charge le trait pour construire le prototype qui lui permettra de penser l'ombre : l'ombre devient une image de soi. Lorsqu'un individu et son ombre sont représentés sur le même dessin, il est difficile de distinguer l'individu de son ombre, l'expression des visages est la même, l'attitude du personnage et celle de l'ombre sont identiques. Les détails les plus divers, chevelure, robe, nœud dans les cheveux, parent l'individu et son ombre. L'ombre, debout, est de même taille que l'individu représenté. Le personnage et son ombre se tiennent par la main, ce qui dénote leur proximité. Ce sont deux jumeaux. **Le prototype de l'ombre est l'individu lui-même**. En règle générale, les élèves privilégient les ressemblances avant de s'intéresser aux différences qui existent entre eux et leur ombre. Mais ce n'est pas toujours le cas. Certains enfants cherchent déjà à rendre compte de certaines différences observables entre eux et leur ombre.

Prise en compte des différences

Lorsque la perception de l'ombre s'affine, avec l'âge ou au cours d'activités d'enseignement, les enfants cherchent alors à différencier l'ombre de l'individu en traduisant les différences perceptibles, quitte à charger le trait. Pour noter cette différence, l'enfant peut éventuellement représenter l'ombre éloignée du personnage : elle semble ainsi prendre de l'autonomie. L'ombre peut être aussi représentée par une tache grise qui recouvre l'image colorée du personnage. Le personnage peut être vertical et l'ombre couchée. Il est à remarquer que la déformation des parties du corps n'est jamais traduite dans les dessins, alors qu'elle est souvent observable. Ainsi seules certaines différences sont tolérables, car l'enfant est toujours tiraillé par deux contraintes contradictoires : individualiser l'ombre par rapport à l'individu et dégager des ressemblances pour montrer que **l'ombre appartient toujours à la même catégorie, l'ombre d'un individu donné**. L'enfant s'en tire en représentant l'ombre toujours sous la forme de la silhouette de l'individu.

L'ombre est sur le sol, le personnage apparaît souvent sur les dessins des élèves comme en lévitation au-dessus des épaules de l'ombre. Cet étagement, sur le dessin, du personnage et de son ombre souligne leur opposition. Cette opposition peut être renforcée par les positions symétriques de l'ombre et du personnage. Non seulement l'ombre et le personnage sont l'un en dessous de l'autre, mais ils se font face, pieds contre pieds, dans une confrontation qui maintient le plus éloignés possible leurs visages. Pour marquer encore plus cette différence, l'ombre apparaît en moyenne plus grande que l'individu, car telle est l'intention de l'enfant. Sur leur dessin, les élèves cherchent à **décrire les composants d'une catégorie construite autour d'un prototype**, l'individu lui-même ou sa silhouette. Or, seules certaines ombres observables possèdent cette ressemblance. De nombreuses ombres observées, taches sombres difformes, autres composants de cette catégorie, ne ressemblent plus au prototype. Les différences affectant la forme sont occultées. Mais l'enfant traduit la variabilité de l'ombre, et donc la distance entre l'ombre réelle et cette silhouette, en conservant la silhouette et en modifiant sa position, son orientation, ses dimensions, par rapport à l'individu. Ainsi l'image mémorisée est reconstruite pour constituer une **catégorie**. Cette catégorie n'est pas une catégorie logique,

maison, sans qu'il n'y ait eu ni discussion ni activité sur ce thème, il réalise alors des dessins en tous points comparables à ceux qui sont décrits au paragraphe précédent, concernant l'enfant et son ombre. L'ombre de la maison, par exemple, apparaît alors, soit comme une deuxième maison sombre, plantée à côté de la précédente, adossée à celle-ci, de même dimension qu'elle et de même forme que sa silhouette, soit comme ombre portée, silhouette sombre étendue sur le sol aux pieds de l'objet de grandes dimensions. Les connaissances sur l'ombre de soi servent à penser toutes les autres situations d'ombre. Le schéma ci-dessus (figure 5) précise la réorganisation des connaissances. Il indique ce qui est conservé et ce qui fait l'objet d'une réorganisation.

Réorganisation des connaissances sous contraintes (7-9 ans)

Lorsque les élèves ont découvert leur ombre, pendant de nombreuses années les dessins qu'ils produisent, en réponse à la consigne « Dessine-toi, toi et ton ombre » restent les mêmes. Il y a cinq ou six types de dessins que l'on retrouve tout au long de l'école élémentaire (cf. figure 6). Leur fréquence varie avec l'âge des élèves. Et un même élève, à un âge donné, produit plusieurs types de dessins. Est-ce qu'il n'y aurait pas d'évolution ? Dans ce domaine, les connaissances ne se réorganiseraient-elles pas ? À travers elles, observerait-on les restes « fossilisés » de la pensée enfantine ?

En fait, les connaissances de l'élève se réorganisent pour tenir compte de nouvelles contraintes, mais cela ne transparaît pas sur leurs dessins. C'est ce que nous allons discuter en analysant successivement les réponses des élèves, recueillies au cours de trois activités :

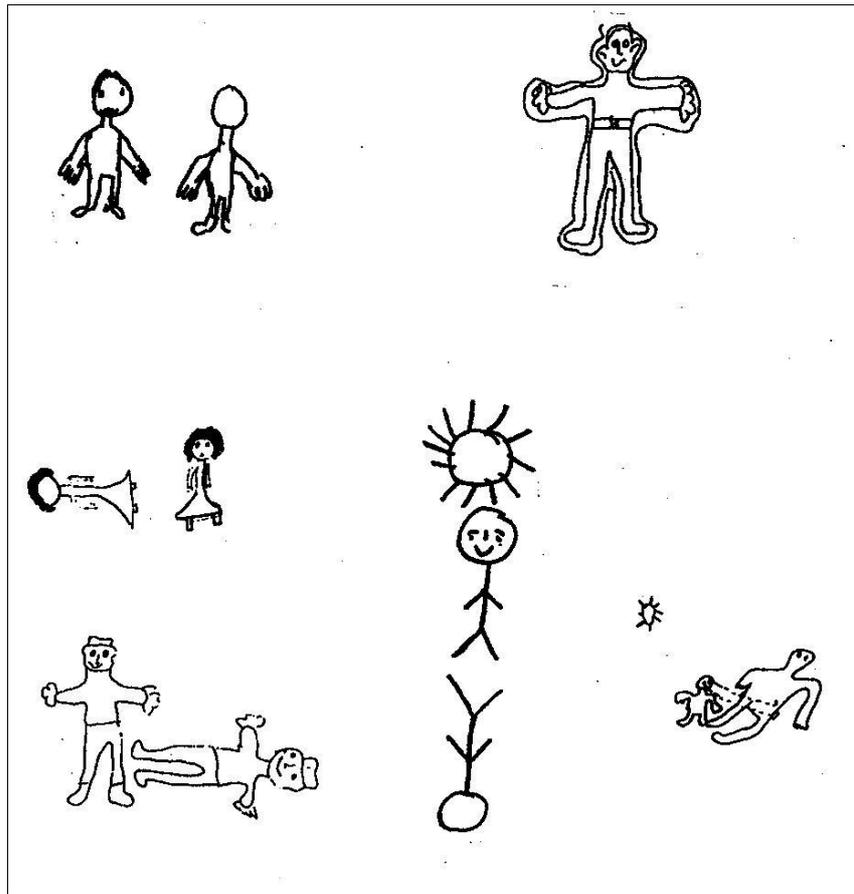
- la réalisation d'un dessin puis d'un texte **expliquant** la formation de l'ombre de soi,
- la **prévision** de figures formées par l'ombre portée de quatre enfants présents en même temps dans une cour ensoleillée,
- la **manipulation** d'une maquette.

Les contraintes prise en compte pour construire une explication

La causalité

L'écoute des enfants de sept/huit ans qui, après s'être dessinés accompagnés de leur ombre, doivent **expliquer comment se forme leur ombre** permet de noter l'émergence d'un discours causal : « *C'est le soleil qui fait l'ombre* », « *Le soleil tape (sur l'individu) et ça fait l'ombre* ». Il n'y a pas d'ombre sans soleil ! Deux composants sont évoqués, le soleil explicitement et l'individu implicitement. Un troisième composant, l'ombre, fait partie de cette situation. L'enfant ne fait pas jouer la même partition à chacun des trois composants. À l'image des baguettes qui frappent le tambour pour en tirer un son, l'individu subit l'action du soleil, et sa présence est indispensable à la production de l'ombre. On peut dire que le soleil est l'agent et l'individu le patient. Cette relation entre ces deux composants, soleil et individu, est dissymétrique. Leurs rôles ne peuvent être inversés (cf. figure 7- 1 et 2).

Sur le plan du discours, la présence du soleil et de l'objet apparaît antérieure à l'apparition de l'ombre car, produite par l'objet, celle-ci sort de lui sous le choc des rayons. La production d'une ombre par l'objet a une autre implication, observable sur les dessins : l'ombre est située au voisinage de l'objet. On retrouve les caractéristiques essentielles d'une relation causale : rôles différents joués par l'agent et le patient, localisation de l'effet au voisinage du patient, antériorité de l'action exercée par l'agent sur l'apparition de l'effet. Elles sont exprimées dans les dessins et à travers le discours des élèves.



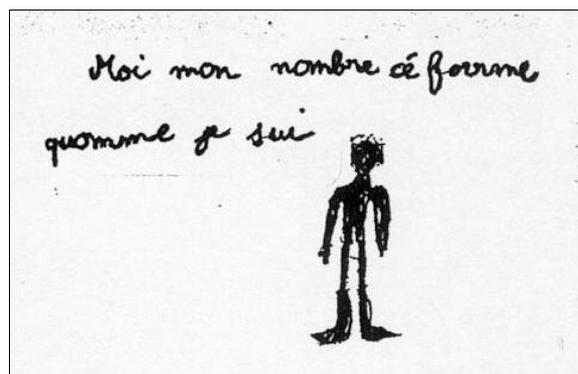
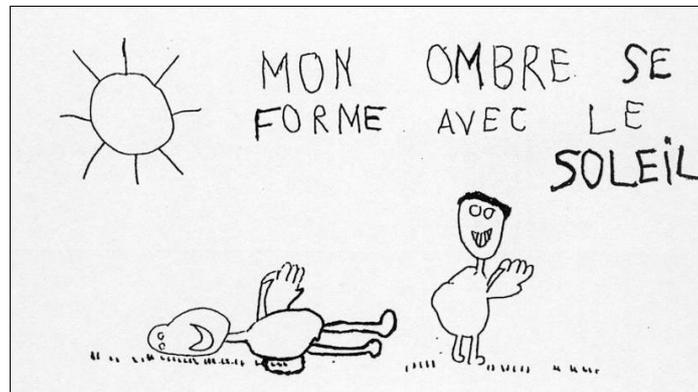
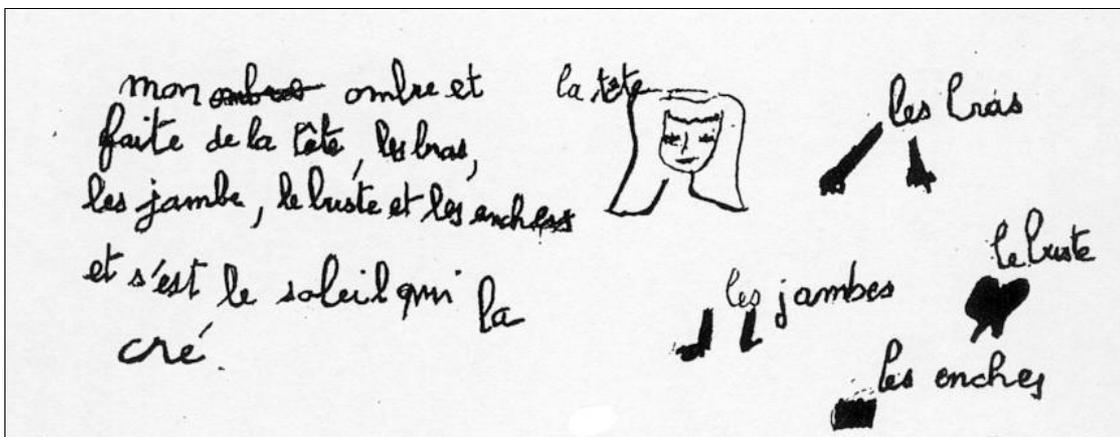
**Figure 6. Similitudes et différences entre soi et son ombre.
Différents types de dessins (élèves de 4 à 11 ans)**

Avec l'âge, dans les dessins, le soleil apparaît de plus en plus souvent. Mais sa présence est souvent implicite, comme peuvent l'être le sol ou de nombreux éléments de repérage. Le choc potentiel du soleil ou de ses rayons sur l'objet est possible quelle que soit la position du soleil, qu'il soit situé en avant de l'objet ou en arrière, de côté ou de face. Ceci n'incite pas à le représenter et, lorsque c'est le cas, le soleil occupe une position très quelconque sur ces dessins. Fortuit, l'alignement soleil-objet-ombre est une possibilité utilisée parce qu'elle traduit mieux que toute autre la succession des opérations qui concourent à la formation de l'ombre, exprimée dans le discours ; mais ce n'est pas la seule disposition possible.

L'évocation d'une production globale de l'ombre ne permet pas de dégager un processus pertinent pour en expliquer la formation. Tout au plus, certains élèves peuvent utiliser des images liées à leurs connaissances antérieures pour justifier son apparition. Prenons un exemple. À l'ombre, les couleurs des vêtements apparaissent plus sombres que dans un espace éclairé. Certains élèves intrigués par la variation de la luminosité des vêtements supposent que l'individu est recouvert par son ombre sombre : ce qu'ils traduisent sur leur dessin. Ils supposent également que lorsqu'ils passent de l'ombre au soleil, ils perdent cette enveloppe sombre, comme un serpent pendant sa mue. Et l'ombre, desquamée par le soleil, tombe à leurs pieds...

L'ombre prototypique et sa réification

En l'absence de tout processus permettant de caractériser la transformation qui permet de passer de l'objet à son ombre, l'image construite autour du prototype continue d'être mobilisée. L'ombre doit ressembler à la silhouette de l'objet. C'est la deuxième contrainte à laquelle elle doit satisfaire. De cette ressemblance découle la permanence de sa forme. À travers cette permanence de forme, d'aspect, de couleur, l'ombre est pensée comme un objet auquel l'enfant attribue diverses autres propriétés. Ainsi, l'ombre est inerte. Lorsque l'enfant se déplace, il entraîne l'ombre à sa suite. Elle ne peut le précéder, il la traîne comme un boulet. On dit que **l'ombre est réifiée** (cf. figure 7 - 1, 3 et 4). Elle devient un attribut permanent qui se manifeste lorsque sont réunies des conditions favorables que nous expliciterons au paragraphe suivant. Elle pourrait même acquérir, comme c'est évoqué dans la littérature enfantine, une certaine autonomie. L'ombre est alors un deuxième soi-même. L'animisme enfantin lui donne vie.



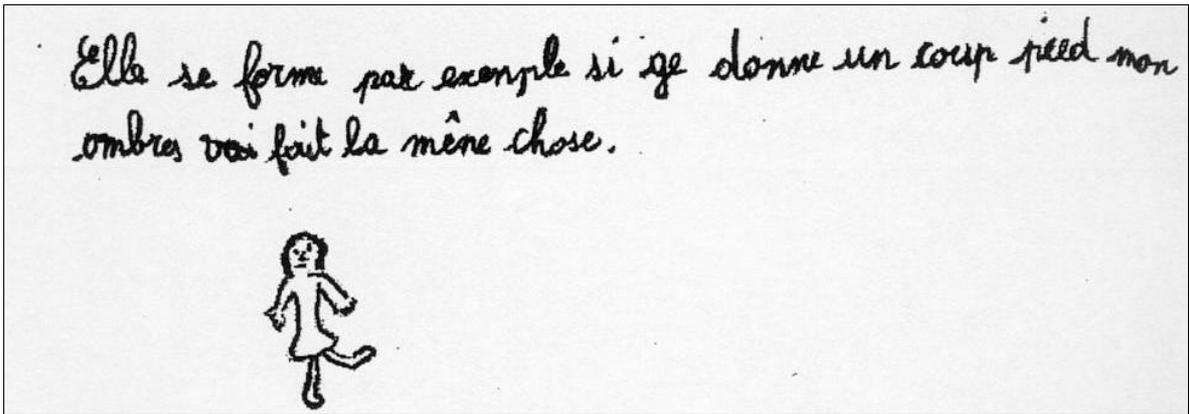


Figure 7 : « Comment se forme mon ombre ? » Réponses d'élèves de 8 ans.

Les contraintes liées aux conditions de vision

Dans les dessins des élèves, l'individu doit pouvoir voir son ombre (cf. figure 8). Il est représenté de face en position d'observateur, il a l'ombre dans son champ de vision, à ses pieds, devant lui ou à côté de lui. Le soleil, lui aussi présent, éclaire l'individu et son ombre.

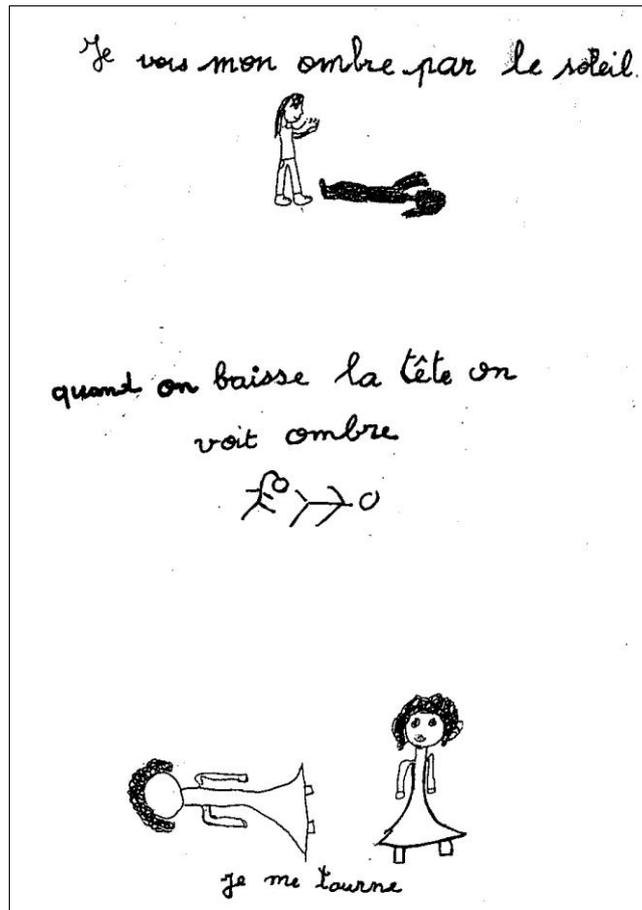


Figure 8 : « Pourquoi je vois mon ombre ? » Réponses d'élèves de 8 ans.

Cette configuration, comme il a déjà été dit, satisfait une première approche causale. Elle permet de satisfaire également aux conditions de vision de tout objet réel ou réifié :

- l'observateur fait face à l'objet à voir : sur le dessin, l'observateur est face à son ombre ;
- l'objet est à proximité de l'observateur. Sur le dessin, l'ombre est aux pieds du personnage à une distance qui n'excède pas la taille de ce dernier ;
- il n'y a pas de corps opaque entre l'observateur et ce qu'il y a à voir, ce qui est le cas pour l'ombre ;
- l'objet est situé dans une zone éclairée. La présence implicite ou explicite du soleil permet de satisfaire cette condition sur le dessin de manière automatique ;
- il y a un contraste entre l'objet et son environnement. L'ombre est toujours immergée dans un espace ensoleillé. Sur le dessin, le contraste est grand entre une zone sombre et une zone lumineuse.

Telle qu'elle est perçue, l'ombre réifiée est une surface sombre où il n'y a pas de lumière. Mais pour être **visible**, l'ombre réifiée doit être recouverte de lumière. On a là une source potentielle de contradictions.

Le dessin doit rendre compte non seulement de la formation de l'ombre mais aussi de sa vision. Tous les composants ont donc plusieurs fonctions. Ainsi, le personnage est la cause matérielle de l'ombre ; il est aussi l'observateur. Le soleil est la cause efficiente de l'ombre ; il est aussi ce qui éclaire l'ombre et la rend observable. L'ombre est le résultat de l'action du soleil sur l'individu, c'est aussi une réalité visible.

La question de la permanence des types de dessins

Comme l'adulte non expert, l'enfant fait donc référence au domaine de la vision pour interpréter les phénomènes d'ombre. Ne pouvant imaginer et maîtriser la transformation qui lui permet de passer de l'objet à son ombre portée, il fait référence à une catégorie construite très tôt dont le prototype unique devient un composant permanent de la situation d'ombre. Ainsi, le dessin qui transcrit l'organisation catégorielle des connaissances des jeunes enfants est conservé puisqu'il prend encore en compte les contraintes qui se sont imposées ultérieurement pour expliquer la formation et la vision de l'ombre : ce type de dessin reste adapté pour traduire une nouvelle organisation des connaissances de l'enfant.

Les contraintes prises en compte dans une activité de prédiction

Les mêmes contraintes interviennent-elles lorsque l'élève doit mobiliser ses connaissances ? On va les voir en œuvre dans une situation où l'on propose à des élèves de CE2 **d'effectuer des prévisions**.

Les élèves sont dans la classe où ne pénètre pas la lumière du soleil. Ils doivent s'imaginer par groupes de quatre, jouant debout dans la cour par une journée ensoleillée, leur ombre portée étant visible sur le sol. L'enseignant leur propose de s'intéresser à des positions particulières de ces ombres. Il demande : « *Quelles figures peuvent former sur le sol ces quatre ombres, lorsque chaque ombre de la tête d'un des enfants touche l'ombre des pieds d'un autre enfant ?* » et précise : « *Une ombre peut toucher deux autres ombres au plus* ». Pour produire leurs réponses, les élèves disposent de quatre figurines Léo avec yeux, mains et pieds, représentant les quatre enfants.

Des prévisions en accord avec les explications

Les figures proposées sont des rectangles, des lignes brisées, des segments de droite (cf. figure 9). (En fait, c'est l'orientation des figurines qui détermine de manière univoque la

nature de la figure prévue !). Les contraintes sont devenues règles. Les trois sortes de propositions satisfont aux règles qui fonctionnent dans les explications analysées plus haut. D'après les élèves, de manière implicite, les enfants dans la cour sont dans un espace éclairé. Les conditions sont réunies pour que l'ombre se forme par action (causale) du soleil sur l'enfant. L'ombre est supposée être sur le sol, devant l'enfant, en face de lui, dans un espace éclairé. Ces conditions assurent une parfaite visibilité de l'ombre.

On retrouve des ombres de forme identique à celle des figurines ; certains enfants dessinent même la silhouette de l'ombre en suivant le contour d'une figurine. Le prototype de l'ombre est encore la silhouette de la figurine.

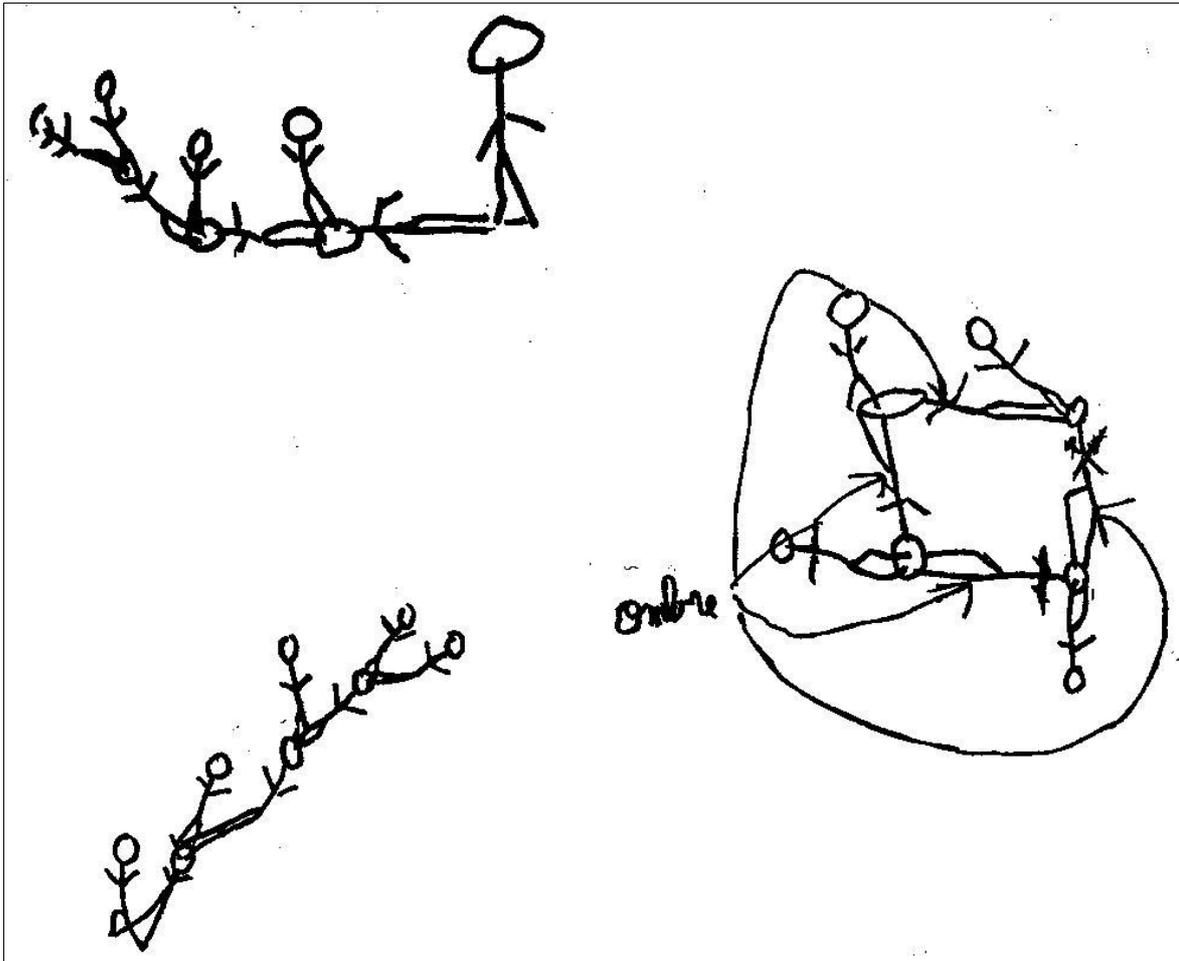


Figure 9 : « L'ombre de quatre personnages ».

Types de propositions d'élèves utilisant la même représentation des personnages

Du prototype construit autour de la silhouette à un système prototypique ombre-objet

Bien entendu, l'utilisation de telles règles est complètement implicite. À l'organisation catégorielle précédente, construite autour de la silhouette, se substitue une nouvelle organisation, construite autour du couple personnage-ombre, ensemble de deux composants liés entre eux par des liens rigides qui les maintiennent dans une position fixe. Le personnage est vertical ; l'ombre horizontale est allongée sur le sol, devant lui, en face de lui. Ce n'est plus seulement la forme de l'ombre qui constitue le prototypique mais aussi les positions relatives. Situé derrière le personnage et permettant de suggérer un alignement direction de l'ombre-personnage-soleil, le soleil vient éventuellement compléter cette scène. Une structure simple, l'alignement, permet d'organiser la situation.

Elle est en conformité avec la séquentialité du discours. L'enfant peut aussi traduire par un éloignement maximum l'opposition entre le soleil lumineux et l'ombre sombre...

Enrichissement du système prototypique par le composant « soleil »

Cet éloignement maximum, probablement sans lien avec la propagation rectiligne de la lumière, traduit l'opposition entre le soleil lumineux et l'ombre sombre. Il va permettre à des élèves d'explicitier la variabilité des positions de l'ombre par rapport à l'individu : « *Si le soleil est à gauche, l'ombre est à droite, si le soleil est devant, l'ombre est derrière* ». Avec l'âge, le nombre de positions prototypiques (ombre-personnage) s'accroît. Il passe de deux à quatre, comme l'a exprimé cet enfant.

On peut connaître avec plus de précision ce que pensent les élèves en utilisant une **maquette**. On donne aux élèves une maquette constituée par trois types de composants : une figurine, des silhouettes de différentes tailles qui en représentent les ombres, une ampoule éteinte. On demande : « *Placer l'ombre lorsque le soleil tourne de manière continue autour de la figurine* » (en fait, pour différentes positions de la source lumineuse qui tourne de 15° en 15°). On observe que l'ombre se maintient dans la même position pour plusieurs positions différentes du soleil, puis qu'elle change de position tout à coup, tout en restant dans cette nouvelle position pour plusieurs autres positions successives du soleil. L'ombre n'occupe d'abord que quelques positions privilégiées par rapport à la figurine et saute de l'une à l'autre. Tout se passe comme si certains élèves, pour tenir compte de la variabilité de l'ombre, pensent que l'ombre peut varier légèrement tout autour de ces quelques positions. La variabilité de la position de la source induit le plus souvent le choix d'ombres de dimension, de forme ou de couleur variées.

Ce n'est que plus tard que les élèves prennent en compte un éloignement maximum pour toute position du soleil. Ceci les conduit à placer soleil et personnage selon la direction de l'ombre. Et ce, quelles que soient les positions relatives du soleil et de la figurine. La prise en compte du soleil et de son éloignement maximum ordonne alors les composants, conditionne leur position et leur orientation relatives, sans qu'un point du corps opaque et l'ombre de ce point ne soient mis en relation, comme le montrent les explications des élèves de dix ans analysées dans le paragraphe suivant.

Prise en compte de la variabilité de l'ombre et recherche d'une explication du contraste (10 ans)

Les principes qui président à l'organisation de la connaissance évoluent lentement avec l'âge. Nous allons en voir un exemple avec **l'élargissement de la catégorie prototypique**. La prolongation des principes antérieurs et la recherche d'une nouvelle cohérence ouvre la voie à une réorganisation possible des connaissances vers l'âge de dix ans. Pour discuter cette réorganisation, nous analyserons les explications proposées par les élèves en réponse à la consigne : « *Explique comment se forme ton ombre* », proposée aux élèves après la manipulation d'une maquette semblable à celle qui a été décrite dans le paragraphe précédent.

Élargissement de la catégorie prototypique

Dans toute catégorie construite autour d'un prototype, avec l'âge, les enfants prennent conscience de la diversité des composants constituant la catégorie (par exemple, de la diversité des fruits regroupés sous un même vocable de pomme). Il en va ainsi pour la variabilité des ombres d'un même objet. Pour rendre compte de cette évolution, on a demandé aux deux cent cinquantes élèves d'un grand groupe scolaire de réaliser un **dessin**

où sont représentés un enfant et son ombre. On s'intéresse à la valeur moyenne du rapport entre la taille de l'individu dessiné et la longueur de son ombre. Il est possible de déterminer également l'écart quadratique de ces longueurs. Avec l'âge, des élèves, la moyenne évolue peu, elle augmente très légèrement tout en restant quasiment égale à l'unité. L'écart quadratique, lui, ne fait que croître.

Les enfants traduisent par la variation de la longueur relative de l'ombre, sa variabilité potentielle. La catégorie ombre regroupe autour du prototype, la silhouette de l'individu, des ombres très différentes de ce dernier par leur dimension et par leur forme.

Prolongement des principes associés aux conditions de vision

Nous notions ci-dessus qu'il pouvait y avoir contradiction entre la perception d'une ombre sombre, créée par le choc de la lumière sur les objets, et la nécessité de la recouvrir de lumière, pour qu'elle soit visible. Le conflit potentiel entre la nécessité de présenter la formation de l'ombre de manière causale et celle d'expliquer sa vision est à l'origine de deux questions implicites. Par quel processus une zone sombre peut-elle se former près de certains objets éclairés ? D'où vient la couleur sombre de l'ombre, à l'origine du contraste entre la zone d'ombre et la zone éclairée ?

Les explications de la formation de l'ombre par les élèves permettent d'identifier les règles implicites antérieures mobilisées. Nous allons en rendre compte au travers d'une **activité**.

Pour conduire les élèves à **proposer une explication** de l'ombre, le maître leur propose de **réaliser une maquette** d'une situation d'ombre, où l'ombre serait engendrée par une source lumineuse ponctuelle, une ampoule.

Au cours de l'activité, les élèves ont successivement à :

- réaliser par découpage un rectangle en carton qui puisse tenir verticalement ;
- dessiner la forme supposée de l'ombre sur une feuille de papier ;
- placer l'ampoule éteinte, l'objet opaque et son ombre dessinée, de telle sorte que l'ombre réelle pourrait recouvrir l'ombre dessinée, si l'ampoule était éclairée ;
- schématiser la situation mise en maquette ;
- donner une explication de la formation de l'ombre.

*Les rayons de lumière ont transpercé le carton et ils reproduisent le rectangle en ombre. Plus la lumière est basse, plus l'ombre est carrée.
Plus la lumière est haute, plus l'ombre est rectangle.*

Le rayon en tapant dans le carton transforme la lumière en ombre, la source lumineuse est de l'autre côté que l'ombre.

*La lumière crée l'ombre en se reflétant sur le carton.
Suivant la position de la lumière, l'ombre change.*

*L'ombre est l'endroit où il n'y a pas de lumière.
La couleur des choses devient noire sans lumière.*

La lumière part de droite et va à gauche, donc l'ombre se forme grâce à la lumière qui ne peut pas passer à travers le carton.

Figure 10 : Exemples d'explications de la formation de l'ombre

La variété des explications proposées par les élèves

Il apparaît une grande variété d'explications (cf. figure 10). Certaines sont construites à partir d'un faisceau de lumière issu de la source qui se dirige sur l'objet opaque et qui l'évite. Au terme d'une trajectoire complexe, le faisceau parvient sur le sol. La lumière, telle de l'eau, s'écoulerait autour du corps opaque, solide, immobile. D'autres explications s'intéressent à un faisceau de lumière qui change de nature à la traversée de l'objet, où il se chargerait de substance sombre. D'autres explications présentent le faisceau de lumière comme réfléchi par le corps opaque. Enfin, des explications mettent en relation l'évolution conjointe de certains paramètres et propriétés de la situation. Par exemple, des ombres qui s'allongent si la source descend.

Il faut mettre de l'ordre dans ces réponses qui sont construites sur trois schémas, fruits d'une mobilisation des connaissances et des principes antérieurs.

L'opposition entre source lumineuse et ombre

Certaines explications font référence à des données primitives, celles de l'opposition entre le soleil et l'ombre, entre le soleil lumineux et la zone sombre. Elles prolongent un raisonnement de type catégoriel qui insiste sur l'organisation, la position et l'orientation relatives des trois composants sélectionnés pour penser la situation d'ombre (soleil, objet, ombre). On a déjà rencontré ce type de réponse chez des enfants plus jeunes : « *Si le soleil est à gauche, l'ombre est à droite, si le soleil est devant, l'ombre est derrière* ».

Une relation d'ordre supérieure

Les élèves peuvent charger le trait et transposer cette opposition pour qu'elle affecte des paramètres caractérisant la position de la source ou les dimensions de l'objet : « *Plus le soleil est haut, plus l'ombre est courte* ». Pour montrer l'opposition source-ombre, la hauteur de la source varie en sens inverse de la longueur de l'ombre. Cette explication est peut-être construite par analogie avec une relation du type : plus on met des pommes dans un panier, plus il devient lourd. La variation de l'une des deux quantités implique la variation de l'autre. Une telle relation d'implication implicite est dite d'ordre supérieur. On retrouve régulièrement ce type d'explication chez les élèves.

Un raisonnement multi-causal

Certaines explications sont le fruit de l'affinement du raisonnement causal cité précédemment. Les trois composants (source, objet, ombre) sont sélectionnés pour représenter la situation. L'affinement ne porte pas sur les composants sélectionnés, il porte sur le rôle qu'ils jouent. La source, l'agent, n'a plus d'action directe. C'est un intermédiaire qui est à l'origine de l'action sur l'objet, la lumière par exemple. L'objet, lui, devient un agent qui modifie la trajectoire ou la nature de la lumière qui le traverse. C'est une multi-causalité qui se met en place, impliquant deux agents aux propriétés différentes, la source de lumière, et l'objet perméable ou imperméable au flux lumineux. S'il est opaque, le flux lumineux va le contourner. S'il est transparent, la composition de la lumière va être modifiée à la traversée de l'objet. Il y a mise en relation de l'effet avec les propriétés supposées des objets.

En suivant la lumière dans son déplacement de sa source jusqu'à l'écran, l'élève, tout en évoquant les interactions de ce flux avec la matière, décrit une suite d'événements et les ordonne. Il insiste ainsi sur l'aspect séquentiel de la formation de l'ombre. Pour impliquer les deux agents, l'histoire très finalisée décrit un flux lumineux qui part de la source, qui entre en contact avec l'objet, qui le traverse ou le contourne. Il n'y a pas de comparaison

entre les flux lumineux qui arrivent sur l'objet et ceux qui passent autour, sans interaction avec lui. L'explication est construite autour d'une chaîne unique d'événements, et non autour de deux chaînes dont on comparerait les effets pour dégager l'idée de contraste. Les champs de l'optique et de la vision ne sont pas encore mis en cohérence.

L'agent qu'est la lumière se déplace en ligne droite lorsqu'elle a une tâche précise à accomplir, aller percuter l'objet par exemple. Ce trajet est fortement finalisé. Au voisinage des objets, il devient ensuite plus hésitant. La lumière entre par les fissures de la table, glisse sur cette dernière si elle est lisse, se disperse en volutes invisibles... Enfin, on peut également noter que, comme les objets, la lumière réifiée tombe. Elle s'échappe de la source et rejoint le sol en suivant une trajectoire en partie rectiligne.

L'une des explications (une lumière qui change de nature à la traversée de l'objet, sans changer de trajectoire) permettrait mieux que les autres d'établir une relation entre la forme de l'objet et celle de l'ombre. Toutefois, ces problèmes de projection sont trop complexes pour que la mise en relation ombre-objet puisse être ainsi pensée. Aussi, les élèves utilisent-ils leurs connaissances prototypiques antérieures pour choisir la forme et la position de l'ombre.

Exprimer la simultanéité de deux événements

Les enfants sont mûrs pour franchir une nouvelle étape avec l'aide de l'enseignant. Ils s'intéressent maintenant à l'histoire des rayons issus de la source. Au terme d'activités structurées, il conviendra de systématiser une propriété des rayons utilisée par les élèves, la propagation rectiligne de la lumière, et de comparer divers trajets de la lumière. Ultérieurement, on utilisera ces propriétés pour mettre en relation les caractéristiques de l'ombre d'un objet de forme simple avec la position de la source, celle de l'objet, et ses dimensions.

Le travail sur la propagation rectiligne peut s'effectuer par l'étude de la formation d'une image dans un instrument d'optique simple, celle de la formation d'une image dans une chambre noire ou par l'utilisation d'un ou plusieurs miroirs pour éclairer une surface située dans une zone sombre. Dans chaque cas, les élèves devront « suivre pas à pas » le chemin de la lumière pour se familiariser avec ses trajectoires rectilignes. Pour les matérialiser, ils pourront faire passer entre leurs jambes la lumière du soleil, réfléchi sur un miroir. Ils pourront également chercher à faire passer de la lumière issue d'une source ponctuelle à travers des ouvertures pratiquées dans des caches opaques. Pour préparer l'interprétation du phénomène d'ombre, il sera toujours pertinent de suivre deux trajets observables en même temps et de décrire leur progression simultanée.

Conclusion

Les études précédentes montrent le besoin qu'ont les élèves, à tout âge, d'organiser leurs connaissances sur les ombres pour leur donner une cohérence. Cette cohérence, différente de celle qu'établit l'adulte, dépend de règles que nous avons explicitées. Comme ces règles se transforment avec l'âge des enfants, l'organisation de leurs connaissances est en perpétuelle mutation. Avec l'âge, tout change : les règles d'organisation, l'organisation des connaissances elle-même, le nombre de composants sélectionnés pour représenter la situation d'ombre, le rôle joué par chacun des composants.

Cela a-t-il des implications sur le plan pédagogique ? Oui, et elles sont importantes. Certains problèmes, à certains âges, n'ont pas de sens ; par exemple, expliquer la formation

de l'ombre à des élèves de l'école maternelle. Mais à cet âge, d'autres problèmes ont du sens. Si on pose à ces élèves les questions : « *Comment as-tu montré, sur ton dessin, que ton ombre est différente de toi ? Comment as-tu montré sur ton dessin que ton ombre est pareille que toi ?* », chacun a quelque chose à répondre. Un dialogue peut s'établir dans la classe. Et des propositions variées peuvent apparaître. En revanche, à la question : « *Comment se forme ton ombre ?* », la plupart des enfants de cet âge n'ont rien à répondre. Ils le feront savoir en s'agitant sur leur banc...

Cet article vise essentiellement à aider l'enseignant à adopter un point de vue moins dépendant des connaissances d'adultes. Nous considérons que l'enseignant est d'abord le témoin privilégié et bienveillant des organisations de connaissances qui se succèdent. Mais il n'est pas un témoin passif car il cherche à accompagner prises de conscience et évolutions. Le but des activités dont nous avons rendu compte n'est pas prioritairement de vouloir substituer un contenu adulte aux connaissances de l'enfant. Il est de faire prendre conscience à l'enfant de ses connaissances et de leur organisation. En fin d'école élémentaire, celles-ci permettent, dans des situations particulières, de glisser vers une connaissance adulte et une organisation adulte. C'est alors, seulement, que les contenus d'enseignement sont liés à cet impératif.