

Université Tunis (ISEFC) Université Lumière Lyon 2 (UMR ICAR, équipe COAST)
Thèse pour obtenir le titre de DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE TUNIS et L'UNIVERSITÉ LYON II
En Sciences de l'Éducation
Soutenue le 04 avril 2005

par

ACHOURI TACHOUA Njoud

***Interactions enseignant-élèves et
situations d'enseignement-apprentissage
en optique géométrique***

Préparée sous la direction de Nouredine SASSI Institut Supérieure de l'Éducation et
de la Formation Continue (Université Tunis) Et Andrée TIBERGHIEEN et Christian
BUTY Université Lumière Lyon 2, équipe COAST UMR 5191 ICAR
(CNRS/ENS-LSH/Lyon 2)

Jury Nouredine Sassi, Co-Directeur Andrée Tiberghien, Co-Directrice Christian Buty, Co-directeur
Eduardo Mortimer, Rapporteur Habib Bouchriha, Rapporteur Malika Trabelsi Ayadi, Membre

Table des matières

Remerciements . .	1
Résumé .	3
Teacher-students interactions and teaching-learning situations in geometrical optics - Summary . .	5
Introduction générale . .	7
Partie 1 : Cadre théorique .	11
Chapitre 1. Analyse du savoir mis en jeu .	11
I. Quels sont les aspects historiques du développement de l'optique géométrique, et en particulier du concept "image" ? . .	11
II. Rapports entre les concepts fondamentaux de l'optique géométrique .	13
III. la séquence d'enseignement .	16
Chapitre 2. Processus de modélisation et registres sémiotiques .	21
I. Processus de modélisation . .	21
II. Les registres sémiotiques .	25
En conclusion .	26
Chapitre 3. Interactions enseignant-élèves . .	27
I. Approche historique .	27
II Approche socio-constructiviste de l'apprentissage . .	32
III Approche linguistique .	39
Chapitre 4. Les situations didactiques et les pratiques enseignantes . .	42
I. Les situations didactiques . .	42
II. Pratiques enseignantes . .	43
En Conclusion .	46
Chapitre 5. Conceptions et Pratique des élèves en optique géométrique .	47
I Conceptions des élèves en optique géométrique .	47
II Pratiques des élèves .	49
Partie 2 : Problématique et méthodologie .	51

Chapitre 6. Problématique .	51
I Les caractéristiques de la situation d'enseignement . .	52
II. Questions de recherche . .	54
Chapitre 7. Méthodologie .	54
I. Méthodologie de collecte des données .	54
II. Méthodologie de traitement des données .	57
III Méthodologie d'analyse des données .	59
Partie 3 : Analyse des résultats .	65
Chapitre 8 : Analyse .	65
I. Discours et processus de modélisation .	66
II. Utilisation des registres sémiotiques (schématique, symbolique) .	88
III Évolution des connaissances .	92
IV. Synthèse .	99
Conclusion générale .	103
I. Moments de l'enseignement et approches communicatives .	103
II. Evolution du flux du discours .	105
III. Compréhension conceptuelle et approches communicatives .	105
IV. Des résultats produits par une méthodologie qualitative . .	108
V. Les conséquences du choix de la séquence d'enseignement .	108
VI. Quelques perspectives .	109
Annexes . .	111
Annexe 1 . .	111
Annexe 2 . .	111
Références bibliographiques .	113

Remerciements

Il est de tradition qu'une thèse s'ouvre sur des remerciements. Et c'est justice, car un tel travail, s'étendant sur plusieurs années, incorpore forcément les apports de beaucoup de personnes, que le rédacteur de la thèse rassemble et organise. Sa pensée s'est nourrie et s'est modifiée de multiples échanges, souvent informels, et l'énumération qui suit, sans en faire un historique sérieux, essaye d'en garder la trace.

Un remerciement à mes directeurs. Andrée Tiberghien m'a beaucoup aidé. Elle m'a accompagné plusieurs fois pendant les colloques et m'a donné beaucoup de confiance en moi. Elle m'a beaucoup aidé pour mes problèmes de financement tout au long de la thèse. Elle a été toujours disponible pour les discussions du travail. Je lui suis profondément reconnaissant de m'avoir donné en exemple sa modestie, sa minutie, son exigence intellectuelle, son acharnement au travail qui vient d'une véritable passion pour la cause des élèves.

Christian Buty qui, pendant quatre ans, depuis mon DEA, au cours d'innombrables réunions, de centaines heures de discussion entre nous m'a orienté et enrichi pour l'avancement de mon sujet de thèse, il m'a montré ce que c'était que la Didactique scientifique en action. Il m'a offert sans compter à la fois sa précision et sa capacité intellectuelles qui m'ont tellement aidé à progresser et à donner terme à ce travail.

Noureddine Sassi qui m'a beaucoup aidé à échanger et discuter les différentes parties de mon sujet. Il m'a beaucoup aidé à avoir des financements au cours de ma thèse et m'a soutenu comme un vrai père.

Un remerciement aux membres du jury, Habib Bouchriha et Eduardo Mortimer, qui ont bien voulu rapporter sur mon travail. Un grand merci à Malika Trabelsi Ayadi qui m'a beaucoup soutenu tout au long de ma thèse au niveau psychologique et administratif, et m'a apporté beaucoup de conseils, et qui a accepté d'apporter un regard important sur ce travail de Didactique des Sciences en étant présente comme membre de jury.

Je remercie également tous les membres de l'équipe COAST et de l'UMR ICAR, avec lesquels j'ai travaillé et j'ai échangé des discussions qui m'ont largement instruite.

Le groupe d'enseignant a joué un rôle important dans ce travail, puisqu'il a été le lieu de création de la séquence d'enseignement qui le sous-tend. En particulier Marie Paule Strobel, Nathalie Marbouti et surtout Pierre Gaidioz qui a joué un rôle-pivot dans cette création et dans l'expérimentation qui s'en est suivie. Merci à eux de m'avoir accueillie dans leurs classes et d'avoir facilité la prise de mes données.

Un grand merci à ma famille, spécialement mon mari Mounir Achouri, qui a supporté les conséquences de la rédaction de cette thèse. Mes parents qui m'ont toujours soutenu psychologiquement et financièrement ; sans leurs apports ce travail n'aurait pas pu exister. Mes sœurs et mon frère qui m'ont aidée et qui ont suivi ce travail.

Soient donc ici remerciés tous ceux qui ont contribué et aidé à cette thèse.

Résumé

Le domaine de la physique étudié est l'optique géométrique. Le contexte institutionnel est celui de la classe de Première de l'enseignement secondaire, filière scientifique. Le travail porte sur la relation entre les interactions enseignant-élèves et élève-élève et la construction de la compréhension conceptuelle chez les élèves du point de vue de la modélisation et de l'utilisation des registres sémiotiques. La méthode choisie est celle de l'étude de cas dans une classe réelle, basée sur l'enregistrement continu des productions verbales et des gestes d'une paire d'élève et de l'enseignant. Notre principal résultat est que les deux élèves se sont approprié un langage lié à la modélisation et ont réussi l'utilisation l'un des registres qui est le schéma en collaborant ensemble et en interagissant avec l'enseignant. Leurs verbalisations nous ont montré qu'ils ont construit une compréhension conceptuelle de la notion de décomposition en points d'un objet lumineux et de la formation des images à travers une lentille et un miroir.

Teacher-students interactions and teaching-learning situations in geometrical optics - Summary

The studied domain of Physics is geometrical Optics. The teaching sequence takes place at grade 11 (scientific route) of upper secondary school. Our objective is to analyse the nature of the links between teacher-students and student-student interactions and the evolution of students' understanding of Physics concepts. For us an essential aspect of the Physics concepts is their capability to ensure modelling processes and to articulate a representation in various semiotic registers. We chose a case study methodology in a normal class, grounded upon the complete recording of the verbal and gesture activity of the teacher and of two students. Our main result is that students have acquired a modelling language and that they successfully used a given semiotic register (the schematic register) by collaborating each other and with teacher. Their verbalisation shows that they have constructed a conceptual comprehension of the decomposition in elementary points of an object and of image formation through converging lens and mirror.

Discipline : Sciences de l'éducation

MOTS-CLEFS : interactions, construction de la compréhension, optique géométrique, modélisation, registres sémiotiques, séquence d'enseignement

Introduction générale

Les recherches sur la construction des connaissances dans l'interaction sociale, le dialogue coopératif en situation de travail et d'apprentissage, les formes de médiation et d'étayage d'un tuteur ou d'un enseignant se sont développées dans divers champs (psychologie des apprentissages, linguistique et psycholinguistique, ethnométhodologie). Elles se sont imposées progressivement dans les didactiques des disciplines, où beaucoup de travaux sur l'apprentissage prennent en compte la dimension discursive et interactionnelle des acquisitions, la description précise des contextes et des procédures à travers l'analyse des protocoles verbaux recueillis en situation écologique : les travaux en didactique des mathématiques ont été à cet égard pionniers. Les pratiques réelles de ces perspectives en classe ne sont pas davantage étudiées, ainsi que l'articulation entre le verbal et d'autres systèmes sémiotiques.

Une des finalités de l'enseignement de la physique (et la chimie) au lycée est d'expliquer le lien entre certains phénomènes vécus dans la vie quotidienne et les phénomènes observés en classe de physique. Ceci rend le rôle de l'enseignant de plus en plus difficile pour le choix de la manière dont il va présenter un savoir enseigné proche de la réalité. Le sujet apprenant à son tour fait face à plusieurs situations de construction de compréhension où il doit faire appel chaque fois à son modèle propre convenable à la situation physique rencontrée. Ceci explique l'une des préoccupations de la didactique des sciences physiques qui consiste à étudier les rapports que les apprenants entretiennent avec les savoirs lors d'un enseignement donné dans l'objectif de déterminer les conditions et la nature des apprentissages en jeu. En d'autres termes, l'une des vocations de la recherche en didactique est d'élaborer des outils pour favoriser

l'apprentissage des savoirs en jeu dans un enseignement donné en classe.

Dans notre recherche, l'objectif est d'analyser la nature des liens entre le discours de l'enseignant et l'évolution de la compréhension conceptuelle chez les élèves en classe. Ce lien peut être envisagé sous bien des aspects ; nous privilégierons ceux qui font référence aux processus de modélisation et aux registres sémiotiques que les enseignants et les élèves mettent en œuvre en classe de physique, qui est un thème structurant depuis de nombreuses années l'activité de l'équipe COAST.

La perspective de notre recherche se situe dans le droit fil de notre travail de DEA. Dans notre mémoire de DEA nous avons essayé de catégoriser les modes d'intervention de l'enseignant. Nous avons aussi déterminé les activités des élèves pendant des séances de travaux pratiques informatisés en adoptant la méthodologie suivie habituellement dans le laboratoire GRIC (équipe COAST) de l'Université Lyon 2 au sein duquel nous avons effectué notre stage. Notre domaine phénoménologique d'étude est l'optique géométrique. Nous pourrions ainsi réinvestir dans notre thèse les connaissances acquises notamment sur les compréhensions des élèves dans le champ conceptuel de la formation des images.

Nous nous proposons d'étudier les interactions enseignant-élèves et élève-élève. Dans la plupart des travaux de didactique des sciences physiques l'accent a été mis tantôt sur les modes d'intervention de l'enseignant dans sa classe, tantôt sur l'élève (conceptions, activités, résolution de problème) mais non sur l'interaction entre ces deux pôles. Or il s'agit à l'évidence d'une question clef, car les pratiques d'enseignement ne peuvent se concevoir qu'en relation avec l'effet qu'elles ont sur l'apprentissage réalisé par les élèves.

L'opportunité nous a été offerte par ailleurs d'inscrire ce travail dans le cadre d'un projet de recherche soutenu par l'INRP, le projet " Conception et analyse d'activités pour la formation scientifique " (responsables Andrée Tiberghien et Jacques Toussaint). L'objectif de ce projet était de construire des outils utilisables en classe par des enseignants. Il regroupait trois équipes de Lyon, Paris, Grenoble. Dans chaque équipe étaient associés des chercheurs en didactique des sciences et des enseignants en service dans différents lycées, qui ont collaboré pour la construction de séquences d'enseignement et l'élaboration des outils en question. Les enseignants qui participaient à ce projet, avaient l'habitude d'accorder une grande importance aux processus de modélisation ; ils avaient acquis un certain langage de modélisation au moment de la réalisation de ces séquences en classe réelle.

Cette première problématique définit le plan que nous allons suivre. Dans un premier temps (chapitres 1 à 5) nous allons définir le cadre théorique dans lequel nous allons nous placer, et préciser ce que nous retenons des travaux antérieurs dans cinq domaines qui sont énumérés ci-dessous :

- Analyse du savoir mis en jeu en optique géométrique
- Processus de modélisation et registres sémiotiques.
- Interaction enseignant-élèves.
- Situations d'enseignement et pratiques enseignantes.

- Conceptions et pratiques des élèves en optique géométrique.

Cette première partie permettra de formuler de façon plus précise nos questions de recherche (chapitre 6), puis les méthodes de recueil d'analyse des données que nous utiliserons (chapitre 7).

Dans une deuxième partie nous présenterons les résultats et l'analyse de notre travail (chapitre 8), puis les conclusions que nous en tirons sur les processus de modélisation à l'œuvre chez les élèves observés et sur l'apprentissage réalisé.

Partie 1 : Cadre théorique

Chapitre 1. Analyse du savoir mis en jeu

L'analyse du savoir mis en jeu est effectuée par rapport à la construction de la séquence d'enseignement en optique géométrique de première S, vu l'importance des connaissances introduites, y compris les concepts de base introduits au cours de cette séquence.

Nous présenterons un aperçu historique de la naissance du concept « image », puis une étude épistémologique qui illustre les principales notions qui le fondent. Ensuite, nous présenterons ce qui est repris par la séquence d'enseignement de cette analyse et nous donnerons des exemples.

I. Quels sont les aspects historiques du développement de l'optique géométrique, et en particulier du concept "image" ?

Nous mettons notre domaine d'étude, l'optique géométrique, dans son contexte d'évolution au cours du temps. L'histoire de l'optique commence avec les Grecs : le mot optique vient du grec "opticos" c'est-à-dire relatif à l'œil humain. Depuis l'Antiquité, avec Euclide, le concept de rayon lumineux et la propagation rectiligne étaient présents, mais le

problème était dans son interprétation qui prend l'œil comme source d'émission de la lumière ; une de ses définitions (ou axiome) est :

« Supposant que les lignes droites qui émanent de l'œil se propagent à divergence des grandes grandeurs. » (Ver Eecke, 1959, p 1)

Ces estimations étaient relevées d'une explication philosophique basée généralement sur des faits de la vie quotidienne ce qui conduisait à produire des modèles faux et à rendre impossible l'interprétation de certains phénomènes (les déformations de la perspective, la réflexion, la réfraction des rayons visuels ...).

C'est Ibn Al Haytham (965-1039) qui a expliqué la vision comme la réception par l'œil des rayons lumineux. Ibn Al Haytham, en élaborant son "Traité d'optique", a donné à l'optique un nouvel aspect mathématique à la fois démonstratif et expérimental (Simon, p.983). Il défendait l'idée que l'image se forme sur le cristallin ce qui ne lui avait pas donné la possibilité d'expliquer le processus de la vision¹ :

« Si l'organe sensoriel est le cristallin, nous devrions sentir les objets en nous, à l'intérieur de l'œil. Or il n'en est rien. La vision ne réduit donc pas à la sensation pure... Nous concluons que l'objet est hors de nous parce que, quand nous fermons les yeux, nous cessons de le voir » (Simon, 1999, p.984)

Après plusieurs travaux qui ont suivi ceux d'Ibn Al Haytham et qui se sont intéressés aux différents domaines de l'optique, Kepler publiait en 1604 son livre "Les Paralipomènes à Vitellion". Dans ce livre, il avait distingué l'image vue directement et l'image projetée sur l'écran, et leur a donné des noms différents :

« Dans cet ouvrage, Képler assimile définitivement l'œil à un dispositif optique conduisant à la formation d'une image réelle sur la rétine. » (Huygens, 1992, p. 17)

Sa procédure avait donné une nouvelle organisation aux concepts fondamentaux de l'optique géométrique tels que : lumière - image - vision, car ces concepts, surtout les deux derniers, étaient fortement liés même au niveau lexical. L'origine du concept "image" était latin "imago" renvoie à la notion d'imitation (racine im-) et par elle de ressemblance (portrait, ombre d'un mort, reproduction ou représentation d'une chose ou d'une personne). La théorie de Kepler n'a pas pu expliquer l'aspect physique de la lumière.

En 1621, Snell a établi les lois de la réfraction et suite à ses travaux Descartes a publié ses lois qui seront plus tard la base de l'optique géométrique.

Les travaux des deux derniers physiciens ont permis à Fermat d'énoncer son principe (en 1657) concernant le déplacement de la lumière.

À partir du moment où on se pose la question de la nature de la lumière soit au XVIIème siècle, on peut parler d'optique physique (Ronchi, 1956, p. 106).

Deux théories opposées se sont développées : la théorie ondulatoire et la théorie corpusculaire. La première était développée par Huygens suite aux travaux d'Hooke en 1665. Elle a pour idée principale :

« La lumière n'est donc qu'un mouvement ou, plus exactement une tendance au mouvement. » (Huygens, 1992, p. 20)

Cette dernière idée, était complétée dans un premier temps, par Young pour expliquer les

¹ Ce qui sera expliqué plus tard par le renversement de l'image au niveau du cristallin et sa réception sur la rétine.

interférences. Puis, pour un deuxième temps, elle était complétée par Fresnel et Arago (1818) pour montrer que la lumière ne pouvait pas être une vibration longitudinale comme le son, mais qu'elle était transversale de vitesse de propagation $c \sim 3 \cdot 10^8$ m/s (Ronchi, 1956, p.199).

La deuxième était développée par Newton en 1690. Il considère que la lumière est formée d'un flot de corpuscules lancés à grande vitesse à partir de l'objet lumineux dans un milieu "éther" et qui vient frapper l'œil (Ronchi, 1956, p. 160).

La controverse sur la nature de la lumière s'est éteinte avec les travaux de Maxwell (1876) qui interprétaient la lumière comme une onde électromagnétique.

Louis de Broglie (1924), quant à lui, a dépassé la controverse entre les deux natures d'une autre façon en établissant une correspondance entre une onde et un corpuscule. Néanmoins, cette conciliation n'a pas résolu plusieurs problèmes comme les échanges entre les rayonnements et la matière. Ces problèmes n'ont été résolus que dans la seconde moitié du XXIème siècle avec Tomonog, Schwinger et Feynman.

La conclusion de ce tour d'horizon historique pourrait être que :

« Ce modèle très simple [celui de l'optique géométrique] s'est historiquement développé le premier, mais, il est peu performant et n'épuise pas, tant s'en faut, la description des complexités des phénomènes liés à la lumière. » (Léna et Bianchard, 1990, p 22)

On trouvera dans le tableau ci-dessous une récapitulation de l'histoire de l'optique :

Tableau 1 récapitulatif de l'histoire de l'optique :

300 avant J-C	Euclide	Les Éléments, Optiques et Catoptrique
XI ème siècle	Ibn Al Haytham	Optique géométrique expérimentale
1604	Kepler	Livre :Paralipomènes à Vitellion
1621	W Snell	Les lois de réfraction
1637	R Descartes	Lois de l'optique géométrique
1657	Fermat	Principe de Fermat
1665	Huygens	Théorie Ondulatoire : Traité de la lumière
1704	Newton	Théorie Corpusculaire : Optique
XIX ième siècle	Young	Explication des interférences
1818	Fresnel, Arago et Fizeau	Détermination de la vitesse de propagation de la lumière
1876	J C Maxwell	La lumière est une onde électromagnétique
1924	L de Broglie	Dualité Onde Corpuscule
XX ième siècle	Tomonog, Schwinger et Feynman	Électrodynamique quantique

II. Rapports entre les concepts fondamentaux de l'optique géométrique

1. Quels sont les différents concepts physiques qui donnent sens au concept " image " ?

Notre réflexion épistémologique dans cette partie couvre les trois concepts de base tels que : rayon lumineux, faisceau de lumière et image. L'optique géométrique traite le problème de trajet de la lumière et pour cela elle se fonde sur le concept de rayon lumineux. Ce concept peut être présenté comme une approximation de l'optique ondulatoire ce que nous avons précisé ci-dessous.

La théorie ondulatoire présente la lumière en terme de vibration de champ électromagnétique de haute fréquence $\sim 10^{14}$ Hz qui se propage avec une vitesse dans le vide $C = 3 \cdot 10^8$ m/s. Cette théorie est résumée par la formule suivante qui présente l'équation de la propagation de l'onde lumineuse :

$$A \cos(\Omega t - \vec{k} \cdot \frac{\vec{r}}{c})$$

→ A : l'ordonnée maximale qui représente l'amplitude de l'onde

→ Ω = la pulsation ou fréquence angulaire

→ $|\vec{k}|$ est la norme du vecteur \vec{k} onde et λ la longueur d'onde.

→ $\frac{\vec{r}}{r}$ est le vecteur unitaire de la direction de propagation de l'onde.

→ Dans cette formule le produit $(\vec{k} \cdot \frac{\vec{r}}{c})$ permet d'introduire la notion de surface d'onde. C'est une surface équiphasique qui est définie à partir du principe de Huygens qu'on peut énoncer ainsi :

« La lumière se propage de proche en proche. L'ensemble des points d'égal perturbations lumineuses est appelé surface d'onde. Chacun des points de cette surface atteint par la lumière se comporte comme une source secondaire qui émet des ondelettes sphériques dans un milieu isotrope. La surface qui enveloppe ces ondelettes forme une nouvelle surface d'onde » (Pérez, 1996, p. 2)

On appelle onde plane une onde dont les surfaces équiphasiques sont des plans parallèles. Si cette onde plane frappe un diaphragme D, elle ne sera plus plane à la sortie et l'on peut observer la lumière en dehors du cylindre limité par le trou du diaphragme. C'est ce qu'on appelle le phénomène de diffraction. Arrivant à ce niveau, on peut définir le rayon lumineux :

« On appelle rayon lumineux la droite que l'on peut imaginer en réduisant les dimensions du trou, tout en négligeant la diffraction. Le rayon lumineux s'identifie alors à la normale à la surface d'onde. » (Pérez, 1996, p 4)

Par ailleurs :

« Le rayon lumineux est une abstraction géométrique. C'est une ligne entre deux

points de l'espace qui représente le chemin emprunté par la lumière pour aller d'un point à un autre (par exemple, dans un milieu homogène ce chemin est une ligne droite). » (Léna et Bianchard, 1990, p. 43).

Cette notion des rayons lumineux est fondamentale pour l'optique géométrique :

« Le rayon lumineux est le trajet suivi par la lumière, c'est aussi la courbe suivant laquelle l'énergie transportée par l'onde lumineuse se propage... Cette notion de rayon lumineux est suffisante pour construire des images dans des systèmes optiques. » (Manoubi, 1999, p. 5).

Le deuxième concept important est celui de faisceau de lumière. Le problème fondamental qui se pose alors est celui de l'articulation entre les notions des rayons de lumière et de faisceau de lumière. Le faisceau est l'ensemble des rayons qui passent à travers une surface donnée (Léna et Bianchard, 1990, p. 43).

Revenons donc à l'onde qui sort du diaphragme. Si on note α l'inclinaison maximale (ou ouverture de faisceau) des vecteurs d'onde par rapport au vecteur unitaire de la direction de propagation de l'onde, D l'ouverture du diaphragme et λ_0 la longueur d'onde incidente, la relation $\{\sin \alpha \sim \lambda_0 / D\}$ caractérise la diffraction de l'onde lumineuse et signifie que le sinus de l'angle caractéristique α est de l'ordre du rapport de la longueur d'onde λ_0 et de la dimension du diaphragme. Cette relation nous permet de déduire l'approximation de l'optique géométrique (par rapport à l'optique ondulatoire) et qui se présente pour $\lambda_0 \ll D$:

« L'optique géométrique apparaît donc comme l'approximation aux très faibles longueurs d'onde de l'optique ondulatoire » (Pérez, 1996, p. 5)

L'optique géométrique a utilisé plusieurs autres principes surtout pour le domaine de formation des images comme le principe de Fermat qui couvre les lois de la réfraction, de la réflexion, et la construction de Huygens. Le principe de Fermat est l'un des principes les plus importants car il présente la trajectoire empruntée par la lumière lorsqu'elle se propage dans un milieu donné. La lumière ne se propage pas toujours en ligne droite car cette propagation dépend des propriétés optiques du milieu ainsi que de phénomènes de diffusion. Son principe s'énonce ainsi : *« le trajet emprunté par le rayon lumineux entre deux points A et B comme le temps de parcours de la lumière entre ces deux points est stationnaire. »* (Léna et Bianchard, 1990, p. 45).

Le troisième concept important est un concept complexe, celui d'image. Ce concept est en relation directe avec les précédents et il reste à être précisé car le thème image recouvre dans la science et la technologie moderne une grande variété de significations (Simon, 1999a, pp 491 et 494). Donc l'image est une information reçue par l'œil grâce à la lumière.

Ce concept "image" nous met en face d'autres sous-concepts : le point-source ou le point-objet, le point image, l'image réelle, l'image virtuelle (Provost, 1980 pp. 24-30). La construction de l'image (par points) se fait en décomposant l'objet de départ en points ; l'objet lumineux (spatialement étendu) est donc la superposition des points sources. Ces derniers sont des points géométriques d'où émanent des rayons lumineux. En présence d'un système optique (S) (miroir, lentille, objectif photo, radiotélescope, etc.), tous les rayons issus d'un point source convergent en un autre point appelé image géométrique réelle de la source à travers S. Si ces mêmes rayons divergent en paraissant parvenir

d'un autre point géométrique on dit que ce dernier point est l'image géométrique virtuelle de la source. Ainsi, l'image soit réelle, soit virtuelle, peut jouer pour un observateur situé après S le rôle d'un objet réel ou virtuel. Tous ces sous-concepts forment le domaine de formation des images et l'idée principale à retenir ici est que :

« Les rayons lumineux issus de chaque point de l'objet subissent dans l'instrument une succession de réfractions ou de réflexions et interagissent avec un détecteur (œil, film photographique, barrette CCD, etc ...). Lorsque les rayons issus d'un point objet A_0 émergent de l'instrument en convergeant vers un point A_i , on dit que A_i est l'image conjuguée de A_0 » (Pérez, 1996, p. 20)

La présentation des aspects épistémologiques des concepts fondamentaux de l'optique géométrique nous incite à voir leur application au cours de la séquence d'enseignement de première S.

III. la séquence d'enseignement

1. Présentation

La séquence d'enseignement présentée dans ce travail est construite dans le cadre d'un projet achevé en juillet 2002. C'est une séquence de première S qui a été réalisée en classe réelle au lycée Branly à Lyon avec un enseignant P qui a participé au moment de sa construction. Elle présente le contenu d'enseignement qui servira comme support de l'analyse. L'architecture de la séquence est donnée dans le tableau 2 :

Tableau 2 : séquence d'enseignement de première

Parties	Tâches
1. Des connaissances de départ	Tâche 0 : Distribution et commentaire du texte du modèle auquel les élèves peuvent se référer lors des activités de la séquence
2. Visibilité d'un objet	Tâche 1 Vision d'un objet Tâche 2 Vision de la lumière
3. L'image d'un objet à travers une lentille convergente	Tâche 3 : les deux types de lentilles Tâche 4 : image d'un objet à travers une lentille convergente Tâche 5 : image d'un point et image d'un objet Tâche 6 : la lumière passant par la lentille Tâche 7 : mise au point sur un réticule Tâches 7Bis complémentaires Tâche 8 : modélisation d'une lentille mince convergente Tâche 9 : construction de l'image formée par une lentille mince convergente. Mise en relation du schéma et du montage Tâche 10 : relation de conjugaison et grandissement Tâche 11 : mise au point d'un projecteur de diapositives Tâche 12 : utilisation d'une lentille comme loupe
4. Image par un miroir plan	Tâche 13 : l'image à travers un miroir plan Tâche 14 : fonctionnement d'un rétroprojecteur

L'objectif essentiel que nous assignons à la séquence d'enseignement (tableau 1) est de permettre aux élèves de se construire un modèle clair, bien que partiel, de la formation des images en optique géométrique. Cela implique d'une part de cerner précisément les

connaissances qui s'articulent pour former ce modèle dans l'espace théorique de la physique, d'autre part de tenir compte des conceptions que les élèves ont déjà construites, soit dans une étape antérieure de leur scolarité, soit dans leur vie quotidienne, dans ce domaine des images optiques.

Du point de vue de la physique et de l'analyse épistémologique présentée ci-dessus, les principaux points constitutifs d'un modèle de formation des images nous semblent être les suivants :

- La lumière nous apporte des informations sur des objets, soit parce qu'ils en émettent eux-mêmes, soit parce qu'ils reflètent ou diffusent une lumière venue d'ailleurs.
- Pour qu'un objet soit vu, il faut que cette lumière venue de lui pénètre dans notre œil.
- L'élément théorique élémentaire de description de la lumière est le rayon de lumière.
- Un objet lumineux peut être considéré comme constitué d'une juxtaposition de points lumineux ; de chaque point source part un faisceau de rayons ; tous les faisceaux sont indépendants entre eux.
- Quand une partie des rayons de lumière issus d'un point source traversent un système optique, et sous certaines conditions, ils se concentrent en un seul point de l'espace, appelé point image conjugué du point source à travers le système optique ; pour un observateur situé plus loin, les rayons qui lui parviennent semblent provenir du point image.
- L'image d'un objet est l'ensemble des images des points de l'objet.

Les conséquences pratiques de ces éléments du modèle sont principalement les suivantes :

- Une image est localisée ; si elle est située après le système optique, la lumière y passe réellement, on dit qu'elle est réelle ; si elle est située avant le système optique, la lumière n'y passe pas, mais elle semble en provenir aux yeux d'un observateur qui la reçoit après qu'elle ait traversé le système, on dit alors qu'elle est virtuelle.
- Notre œil ne fait pas de différence essentielle entre une image réelle et une image virtuelle, dont il fait lui-même une image sur sa rétine ; par contre on ne peut observer sur un écran diffusant qu'une image réelle.
- Un écran diffusant situé à l'endroit où se trouve l'image présente un aspect net, qui rappelle l'objet ; chaque point de l'objet apparaît sur cet écran sous la forme d'un point.
- Si l'écran est situé à un autre endroit de l'espace, l'aspect observé sera flou, ce ne sera pas l'image ; chaque point de l'objet apparaîtra sous forme d'une tache plus ou moins grande selon qu'on est plus ou moins écarté de la position où se trouve l'image.

À partir de ces bases de départ, la séquence d'enseignement de première S repose sur un certain nombre de choix qui tiennent compte des conceptions, qui nous ont conduits à ne pas respecter l'ordre du programme officiel, et si nécessaire à créer des tâches

particulières :

- Ne pas considérer comme évident pour les élèves qu'on ne voit pas un objet sauf si la lumière qu'il envoie, arrive dans l'œil de l'observateur ; passer assez de temps sur des tâches élémentaires pour que les élèves tirent toutes les conclusions de ce fait ; expliciter ce qui se passe sur un écran diffusant, qui sera utilisé ensuite comme moyen d'investigation.
- Centrer la séquence sur la correspondance qu'assure un faisceau de lumière entre un point de l'objet et le point image conjugué ; cela implique de faire d'abord l'étude dans le cas d'une image réelle à travers une lentille convergente, parce que c'est dans ce cas qu'on peut le mieux réaliser des expériences mettant en valeur cet aspect central du modèle.
- Étendre ensuite cet aspect du modèle à des situations peut-être plus familières (la loupe, le miroir), mais qui présentent la difficulté de mettre en jeu des images virtuelles, donc moins facilement décomposables et analysables.

La réalisation de la séquence d'enseignement traduit la place prépondérante donnée aux processus de modélisation dans l'enseignement de la physique ce qui explique l'introduction d'un texte spécifique appelé « texte du modèle ». L'objectif de ce texte est d'aider l'élève à apprendre progressivement à distinguer ce qui se passe au niveau des objets et des événements observables de la façon de l'interpréter à l'aide des théories et des modèles. Ce texte reprend des énoncés théoriques de la physique institutionnelle. Il est présenté, formulé ou complété de façon à être compris par l'élève. De plus, il doit constituer un ensemble cohérent qui permet d'interpréter les expériences proposées dans l'enseignement, y compris dans les exercices et d'avoir un domaine de validité plus large dont il faut être conscient.

2. Application au cours de la séquence d'enseignement

Dans cette partie nous nous intéresserons à trois tâches de la séquence d'enseignement de première S. Le contenu global de la séquence sera présenté dans le volume I de l'annexe.

a. Tâche 0 connaissance de départ

La première partie de la séquence est consacrée à expliquer un texte appelé texte du modèle qui introduit des concepts fondamentaux de l'optique géométrique. L'enseignant lit ce texte (voir annexe) et lui donne sens en le reliant aux acquis antérieurs des élèves et en montrant plusieurs expériences (mise en évidence du principe de Fermat sans l'énoncer). Nous citons trois expériences présentées par l'enseignant :

Expérience du LASER

Cette expérience consiste à envoyer un simple faisceau laser dans l'air arrivant sur un écran blanc ou le mur. Cette expérience permet de faire associer les mots donnés dans le modèle à des réalités matérielles (source / laser, milieu / air, récepteur / œil ou

tableau...) et de présenter comme naturelle la modélisation par une portion de droite sans épaisseur.

Expérience de la cuve

L'enseignant illustre ce qui se passe lorsque le milieu de propagation n'est pas homogène en interposant sur le faisceau LASER une cuve contenant une solution saturée en chlorure de sodium. Au voisinage du chlorure de sodium déposé au fond de la cuve, le gradient de concentration est suffisamment élevé pour incurver nettement la trajectoire de la lumière.

Expérience de la pièce au fond du béccher

L'expérience consiste à mettre un écrou au fond d'un récipient en matière plastique vide et à le placer sur la paille de façon à ce que les élèves ne voient pas l'objet mais en déplaçant à peine l'œil ils commencent à voir l'écrou et puis à remplir le flacon délicatement d'eau tout en continuant à le regarder. L'objectif est d'utiliser les notions de rayon et faisceau de lumière, de réfraction, de changement de milieu et d'indice.

b. Tâche 6 la lumière passant par la lentille

Pour mettre en évidence la formation de l'image à travers un instrument d'optique, une des tâches présentes dans la séquence est la tâche 6. Elle porte sur l'image d'un objet à travers une lentille convergente. Elle se déroule en deux parties : *lentille enlevée* et *lentille cachée*. Ces parties ont respectivement pour objectif de montrer aux élèves qu'un instrument d'optique (ici la lentille) est nécessaire à la formation des images et que tous les rayons passant par la lentille participent à la formation de l'image.

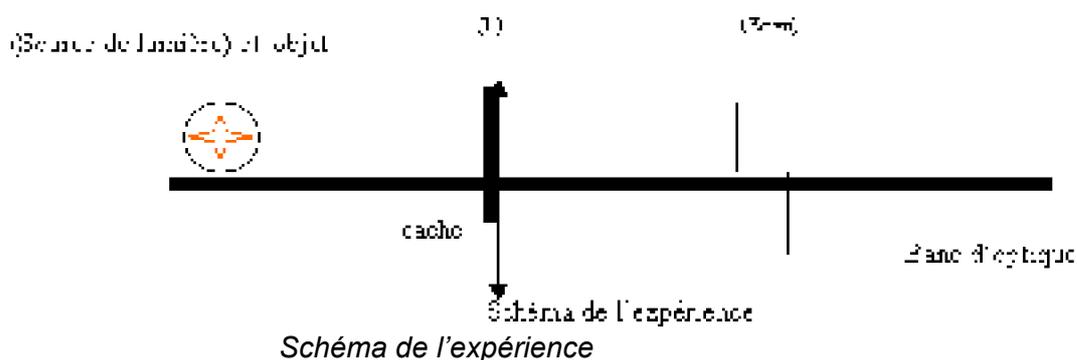
Expérience lentille enlevée

L'expérience de la lentille enlevée fournit d'une part l'occasion d'aider les élèves à distinguer l'expérience et l'observation de sa modélisation. D'autre part (en termes de rayons et de faisceaux de lumière), cette expérience fait fonctionner la formation des images introduite auparavant. Elle rend compte du fait que l'image d'un point est encore un point en affirmant que tous les rayons issus du point objet émergent après la traversée de la lentille en des rayons convergeant en un point. Autrement dit, un faisceau de lumière issu d'un point de l'objet (faisceau divergent) est transformé en un faisceau convergeant au point-image. Le texte du modèle servira d'un outil pour donner la réponse. La consigne consiste à décrire ce qui se passe sur l'écran si on enlève la lentille. En l'absence de lentille, la lumière se propage dans toutes les directions et alors on n'obtient pas d'image. Les élèves rédigent leurs prédictions puis ils font eux-mêmes l'expérience.

Expérience lentille cachée

L'expérience de la lentille cachée consiste à obtenir l'image d'un objet étendu sur un écran et à dire ce qui se passe lorsqu'un cache est placé contre la lentille. Cette expérience est très démonstrative pour les élèves. Elle a pour but de montrer que tous les

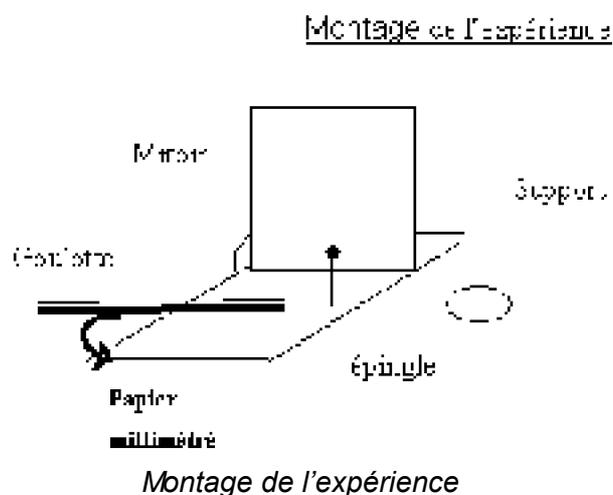
rayons passant par la lentille participent à la formation de l'image. En conséquence, même si on arrête une bonne partie d'entre eux, l'image reste la même (à la luminosité près). Son interprétation intègre l'ensemble des connaissances relatives à la formation des images. Tant qu'un peu de lumière traverse la lentille, tout ce qui a été dit concernant la formation des images fonctionne : un faisceau de lumière issu d'un point objet sera transformé par la lentille en un faisceau convergeant en un point de l'image. La seule différence réside dans le fait que l'ouverture des faisceaux étant réduite, l'image sera moins lumineuse. En revanche, elle ne conserve aucune trace du cache.



c. Tâche 13 l'image à travers un miroir plan

Pour rendre compte de la formation des images virtuelles nous avons introduit la tâche 13. Cette tâche présente la formation d'image à travers un miroir plan, elle énonce la loi de Descartes relative à la réflexion, qui permet aux élèves de se référer à la propagation de la lumière, à la symétrie axiale et à l'utilisation des rayons de lumière pour la formation de l'image

L'expérience consiste à viser une épingle à travers une goulotte posée sur la feuille, à repérer très soigneusement trois positions de cette goulotte permettant d'observer l'épingle par le miroir. Une fois le relevé de ces points terminé, les élèves tracent tous les rayons, y compris les rayons incidents. Cela permettra de vérifier les lois de la réflexion sur le miroir. Ils tracent également le trait sur lequel ils mettront le miroir. Chaque élève doit disposer de son relevé personnel.



Chapitre 2. Processus de modélisation et registres sémiotiques

I. Processus de modélisation

Prendre en compte les processus de modélisation permet d'analyser à la fois le savoir enseigné en physique et le comportement relatif au savoir des élèves en classe de physique (Tiberghien, 1994 ; Tiberghien et Magalakaki, 1995 ; Tiberghien, 1997 ; Walliser, 1977). Cette partie s'inscrit dans deux perspectives : l'une liée au fonctionnement de la physique et l'autre liée aux hypothèses de modélisation chez l'élève.

Nous allons donc examiner quatre questions principales à savoir :

- Comment définir un modèle ?
- Comment modéliser une activité expérimentale de point de vue de la physique ?
- Comment l'élève modélise-t-il une réalité matérielle ?
- Comment le discours de modélisation tenu par l'enseignant agit-il sur la construction de sens par l'élève ?

1. Qu'est-ce qu'un modèle ?

Le terme modèle est un terme équivoque. Il varie suivant le domaine d'étude :

« Dans sa définition la plus large, la notion de modèle recouvre toute représentation d'un système réel, qu'elle soit mentale ou physique, exprimée sous forme verbale, graphique ou mathématique. » (Walliser, 1977, p. 116).

En physique, un modèle peut désigner deux choses : une représentation externe comme

le modèle planétaire de l'atome ou un élément théorique comme le modèle de l'optique géométrique. Un modèle peut ne pas représenter l'ensemble des propriétés du réel mais seulement certaines de ses propriétés comme le cas du modèle de l'optique géométrique qui ne peut pas expliquer la couleur, la diffusion, la propagation et ce qui est expliqué par le modèle de l'optique ondulatoire. Le modèle réduit le temps de travail nécessaire pour résoudre certains problèmes.

Pour présenter convenablement un système ou une réalité donnée, un modèle doit accomplir plusieurs fonctions. Walliser (1977, pp. 189-193) classe ces fonctions suivant le type du modèle. Il en distingue quatre sortes :

- Un modèle cognitif fournit une représentation d'un système existant (modèle explicatif)
- Un modèle prévisionnel sert à prévoir le futur d'une situation connue à un instant donné.
- Un modèle décisionnel donne des informations à un décideur pour éclairer une décision.
- Un modèle normatif a pour but de représenter d'une manière idéale un système à créer (modèle prescriptif).

Il résume ces fonctions en termes d'objet visé par le modèle :

" Tout modèle a pour objet de simuler le comportement d'un système en fonction de certains objectifs et compte tenu de certains moyens. Il peut ainsi servir de support tant à la connaissance de l'objet par le sujet qu'à l'action du sujet sur l'objet. En fait, il met en jeu trois types de rôles sociaux : les constructeurs du modèle, les utilisateurs du modèle et les acteurs éventuels du système décrit." (Walliser, 1977, p. 170)

2. Comment modéliser une réalité expérimentale ?

Les sciences physiques ont besoin pour interpréter le monde, de modéliser certaines réalités. Pour notre recherche, le domaine d'étude est la formation des images en optique géométrique. Dans l'enseignement ce domaine nécessite la réalisation de plusieurs expériences.

Le processus de modélisation met en œuvre trois pôles : la théorie, le modèle et la réalité empirique. Dans la démarche de modélisation, ces pôles sont en interaction. L'enseignant articule l'étude du phénomène dans son champ expérimental et le modèle comme structure théorique cohérente pour expliquer ce phénomène et applique ce modèle avec le champ expérimental à valider.

Dans le domaine particulier de l'enseignement des sciences physiques, Tiberghien (1994) estime que la modélisation est un processus central du fonctionnement de savoir savant en physique. Elle a défendu l'idée que la modélisation chez le physicien se fait en faisant interagir trois principaux acteurs : la théorie du spécialiste, le champ empirique et le modèle construit. L'objectif est de décrire non pas les choses réelles mais les connaissances que les physiciens ont sur le monde matériel. Buty (2000) formule ce

même point de vue sous forme de schéma récapitulatif :

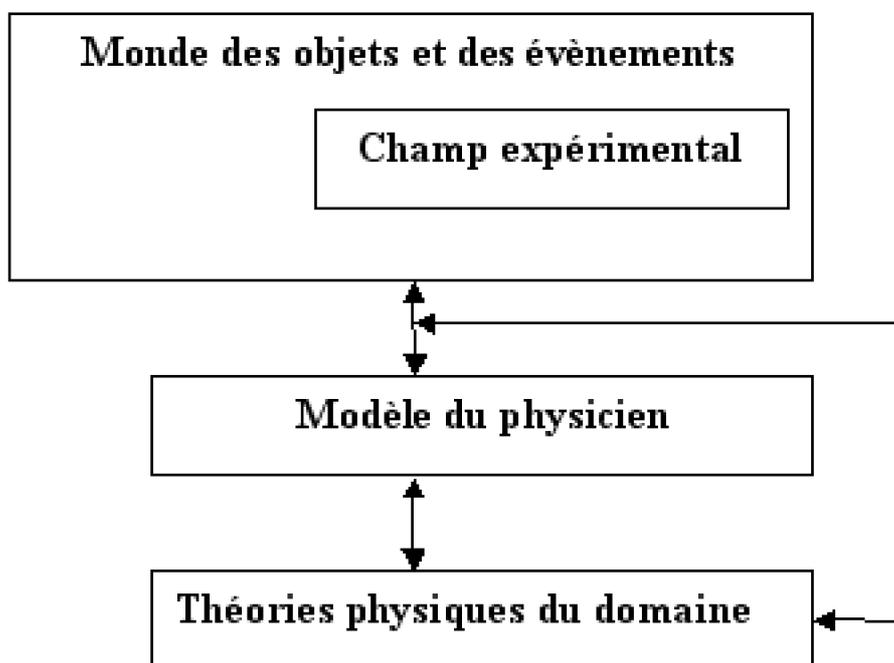


Figure 1 Elaboration d'un modèle en physique

3. Hypothèses de modélisation chez l'élève

Quand l'élève construit son modèle, il ne fait pas référence à une théorie physique, mais il fait appel à une « théorie » du monde matériel qui dépend de son point de vue personnel constitué par son histoire ; cela implique l'utilisation d'un contexte social différent du contexte scientifique (Tiberghien, 1994, p. 75). Cette « théorie » de l'élève est un système explicatif qui n'est pas explicité ; du point de vue d'un physicien elle n'a pas toutes les caractéristiques d'une théorie, mais du point de vue de l'élève elle fonctionne comme telle.

L'élève en classe ou dans la vie quotidienne est face à plusieurs tâches d'ordre physique. Pour atteindre des buts de réalisation des situations rencontrées, il construit son modèle propre. Cette construction est le fruit de plusieurs sources de connaissances : " Ses connaissances antérieures, le dispositif matériel, le discours et les consignes de l'enseignant s'ils existent..." (Buty, 2000, p. 19).

Ce modèle établi par l'élève peut fonctionner (à la limite) pour la situation, mais il ne sera pas pertinent au même point que celui du physicien. Donc, la modélisation de l'élève suit le même schéma général que celle du physicien mais c'est au niveau des théories utilisées qu'on trouve les différences ainsi qu'au niveau des processus de modélisation. De ce fait, on peut adapter la figure 1 avec quelques modifications de fond :

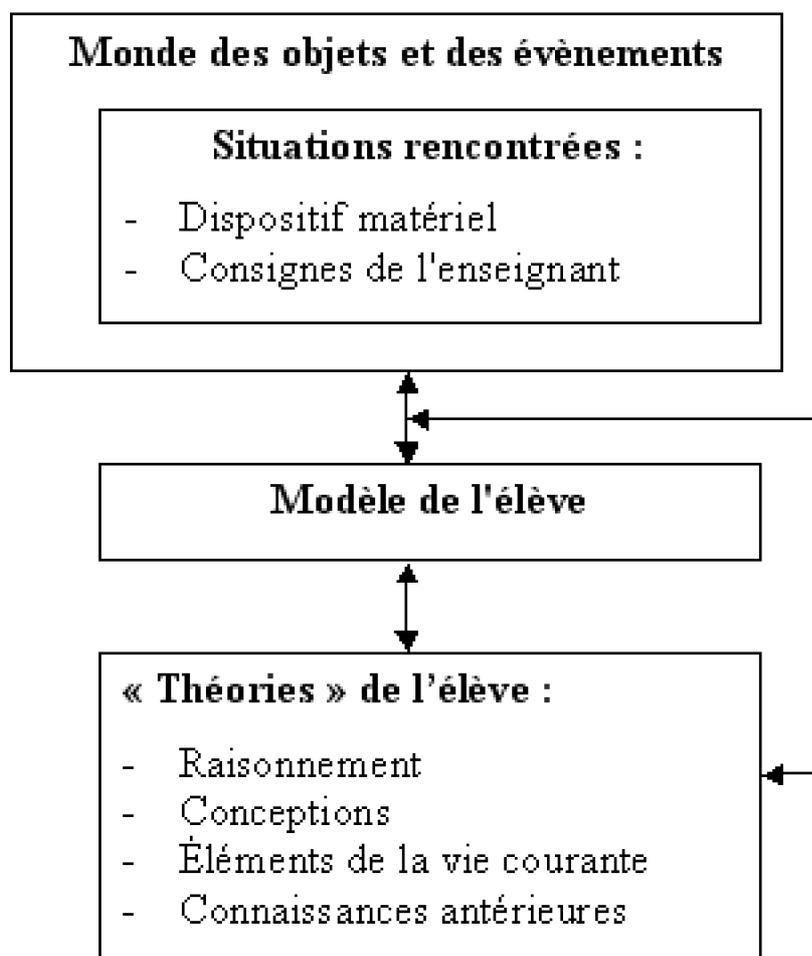


Figure 2 : Processus de modélisation chez l'élève

Ce schéma montre que le modèle de l'élève est créé selon sa « théorie » propre préexistante. Cette « théorie » est basée sur :

- Un système explicatif : c'est-à-dire que l'élève raisonne de la même façon pour plusieurs situations rencontrées, l'exemple le plus fréquent est le raisonnement causal (Tiberghien, 1994) ou certains raisonnements par analogie avec d'autres modèles rencontrés hors de la classe.
- Certaines théories physiques restant d'un apprentissage antérieur par exemple l'imitation d'un modèle donné par l'enseignant pour une autre situation proche de celle rencontrée par l'élève.

La modélisation chez l'élève repose sur son raisonnement propre c'est-à-dire son fonctionnement cognitif. Il peut faire intervenir des analogies mobilisées dans sa connaissance ou encore imite un modèle déjà vécu qu'il a rencontré avec un membre de sa famille, son professeur ou un pair. De ce fait, il sera confronté à deux mondes totalement différents, mais qui sont toujours en interaction : situation expérimentale et son

explication théorique.

Le sujet apprenant est face à plusieurs situations de construction de la compréhension où il doit faire appel chaque fois à son propre modèle convenable à la situation physique rencontrée. Il a une double décomposition du savoir : les situations scolaires enseignées et les situations de la vie quotidienne.

4. Comment le discours de modélisation tenu par l'enseignant agit-il sur la construction de la compréhension chez l'élève ?

L'étude didactique des savoirs s'appuie sur des hypothèses d'apprentissage. Nous faisons l'hypothèse, qu'une pratique de l'enseignant qui habitue les élèves à des activités conscientes de modélisation favorise chez eux la construction du sens des concepts. L'enseignant fait une liaison entre deux mondes différents qui sont le monde des objets / événements et le monde de la théorie / modèle, donc si l'élève arrive à comprendre cette mise en relation, il peut à son tour articuler les deux mondes et construire du sens pour les concepts qui lui sont présentés.

Dans un enseignement basé sur la modélisation trois moments peuvent être présents et distingués : intégrer un nouveau modèle, donner une signification pour aider les élèves à comprendre le nouveau modèle et appliquer cette nouvelle théorie / modèle avec l'élève dans l'interprétation des expériences (Tiberghien & Megalakaki, 1995, p. 370).

Une idée avancée par Tiberghien & Megalakaki (1995, p. 370) est que la construction du sens d'un concept se fait à partir de la mise en relation par l'apprenant entre le niveau du champ expérimental et le niveau de la théorie modèle. L'une des principales difficultés des élèves réside dans ces mises en relation. Dans ce travail nous n'excluons pas les processus de généralisation ou de différenciation pour les différents niveaux de découpage du savoir pour l'enseignant ou pour l'élève mais nous mettons l'accent sur la mise en relation entre les différents éléments du savoir.

II. Les registres sémiotiques

Les activités de modélisation s'accompagnent presque systématiquement d'une représentation symbolique ou autre forme de représentation. Cela peut aller de la schématisation légendée proche des objets que l'élève a sous les yeux à une représentation symbolique beaucoup plus riche incluant des éléments du modèle comme c'est le cas pour un montage du banc d'optique, mais beaucoup plus éloignée de la situation matérielle. Chaque représentation permet de mettre en avant un ou plusieurs aspects du modèle. Ainsi, les changements de représentation, s'ils sont explicités, aident l'élève à prendre conscience des démarches de modélisation.

Dans cette partie, il s'agit de décrire les rapports entre les représentations dans différents registres sémiotiques d'un même concept de physique (ici un concept de l'optique géométrique) et l'activité, soit de l'élève, soit de l'enseignant. La nature même de l'optique géométrique, comme d'autres sous disciplines de la physique, est sa présentation par différentes représentations surtout le registre schématique qui peut jouer un rôle spécial de résolution de problèmes.

Nous faisons ici référence aux travaux de Duval (1995). Il définit les représentations sémiotiques de la façon suivante :

“ Les représentations sémiotiques sont des représentations dont la production ne peut se faire sans la mobilisation d'un système sémiotique : ainsi les représentations peuvent être des productions discursives (en langue naturelle, en langue formelle) ou non discursives (figures, graphiques, schémas...) ”
(Duval, 1995, p. 356)

Il attribue trois fonctions aux systèmes sémiotiques :

- L'objectivation : le sujet prend conscience de la signification d'une idée.
- Le traitement : le sujet exploite l'information au sein d'un même système sémiotique.
- La communication : le sujet utilise différents registres pour communiquer avec les autres.

Les registres sémiotiques permettent de représenter différemment un objet, et chaque représentation apporte des informations bien spécifiques sur un concept. Elles donnent lieu à plusieurs activités de l'apprenant :

“ La spécificité des représentations sémiotiques consiste dans ce qu'elles sont relatives à un système particulier de signes...et qu'elles peuvent être converties en des représentations “ équivalentes ” dans un autre système sémiotique, mais pouvant prendre des significations différentes pour le sujet qui les utilise. La notion de représentation sémiotique présuppose donc la prise en compte de systèmes sémiotiques différents et celle d'une opération cognitive de conversion des représentations d'un système sémiotique à l'autre ” (ibidem, p. 17)

Nous estimons que l'utilisation des différentes représentations sémiotiques joue un rôle important dans la compréhension. Ces représentations sont indispensables à des fins de communication et elles sont nécessaires au développement de l'activité mentale de l'élève. Dans le domaine de notre étude, qui est l'optique géométrique, quatre registres sémiotiques sont présents :

- Le langage naturel : le langage utilisé par l'enseignant ou par l'élève toujours présent dans la réalisation en classe.
- La représentation symbolique : les formules mathématiques ou les équations.
- La représentation graphique : un graphe d'une fonction mathématique ou une représentation informatique (une simulation par ordinateur, voir ici cabri géomètre).
- La représentation schématique : utilisation des schémas de la marche des rayons.

En conclusion

Nous rappelons qu'une difficulté supplémentaire qui s'ajoute à celle de la modélisation est la mise en relation entre les différents registres pour un même concept, qui n'est pas évidente pour l'élève. Nous estimons qu'un moyen qui permettrait d'éliminer ces difficultés et d'assurer la mise en relation est l'étude des interactions sociales. Nous présentons dans le chapitre suivant un aperçu général sur les interactions sociales en classes selon

trois orientations : une approche historique, une approche socioculturelle et une approche linguistique.

Chapitre 3. Interactions enseignant-élèves

Nous présentons ce chapitre comme juxtaposition de trois parties que nous jugeons nécessaires pour les besoins de notre travail. La première partie consiste à présenter un aperçu historique des grilles élaborées en sciences de l'éducation autour des analyses des interactions en classe qui s'orientent dans une tradition de recherche processus-produit, nous montrons les limites de ces travaux. Ceci nous incite à orienter notre travail dans une tradition interprétative tout à fait différente de la première tradition, nous présentons alors une étude des interactions sociales, dans laquelle nous montrons que l'approche socioconstructiviste de l'apprentissage est la plus adaptée pour expliquer les interactions enseignant-élèves et élève-élève. Cette deuxième partie présente « le langage » comme fondamental pour l'apprentissage, ce qui nous permettra de présenter la troisième partie qui est une étude linguistique des interactions et qui nous permettra de dégager la signification des interactions et les mots que nous utiliserons dans notre travail.

I. Approche historique

Dans cette partie l'objectif est de présenter un aperçu général sur les travaux antérieurs en sciences de l'éducation (Flanders, 1970 ; Postic, 1977) autour de l'élaboration des grilles d'analyse des interactions en classe.

1. Aperçu général

Les premières recherches en sciences de l'éducation étaient focalisées sur les compétences de l'enseignant puis il y a eu évolution vers la recherche des critères de l'enseignant en classe. L'acte d'enseignement a été oublié et mis au second plan (Postic, 1977, p. 53)

Postic (1974,1977) présente un bilan historique des recherches portant sur l'analyse des interactions. Cette analyse s'est intéressée à des comportements verbaux de l'enseignant et des élèves en classe. Nous la présenterons sous forme de tableau comportant l'auteur, l'année et le travail effectué (ibidem, p. 67).

Interactions enseignant-élèves et situations d'enseignement-apprentissage en optique géométrique

Auteur	Année	Travail
Anderson	1939	Domination du professeur
John Withall	1949	Interventions verbales de l'enseignant
J.E. Morsh	1956	40 items pour le comportement verbal et non verbal de l'enseignant ainsi que le comportement de l'étudiant
Morris K. Cogan	1956	49 items qui rattachent le comportement des enseignants à une théorie de la personnalité
Hughes M	1959	Analyse des aspects fonctionnels de l'acte d'enseignement. Fonction de contrôle, fonction d'imposition, fonction de facilitation, fonction du développement de contenu, fonctions de réponses personnalisées, fonction d'affectivité positive, fonction d'affectivité négative (l'observation a été faite à l'école élémentaire)
Muriel E et Wright	1959	Recherches sur les aspects cognitifs de l'acte d'enseignement. Classification des attitudes verbales en classe de mathématiques selon trois plans : plan du contenu, plan du développement et plan des attitudes
Virginia H. Proctor	1961	
B. Othanel Smith	1959	
Milton O. Meux et Smith	1964	Recherches sur les aspects cognitifs de l'acte d'enseignement Les catégories qui se présentent : définition, description, désignation, exposé, compte rendu, substitution, évaluation, émission d'opinion, classification, comparaison et opposition, implication conditionnelle, explication, art de diriger et de conduire la classe
<i>Ned A. Flanders</i>	1960	<i>Grille FIAC (Flanders Interaction Analysis Categories)</i>
Hugh Perkins	1964, 1965	Des catégories de comportement du maître et des élèves pour plusieurs types d'activités en classe : discussion avec toute la classe, petits groupes, travail individuel, travail avec un même élève (maître) ou plusieurs élèves (maîtres)
Philip W. Jackson	1965	Trois catégories de communications verbales entre enseignant et élèves (instruire, diriger et assurer le contrôle)
Morton D. Waimon et H. J. Hermanowicz	1965	Un système pour la formation des professeurs à trois catégories de comportements verbaux de professeurs : fixer les buts, établir l'information et évaluer les réponses des élèves et deux catégories de réponses des élèves : adéquation de la réponse, magnitude
<i>Amindon-Hunter</i>	1966	<i>Grille VICS (Verbal Interaction Category System)</i>
Amidon-Hough	1967	Concept du « climat socio-émotionnel » de la classe : degré d'acceptation des besoins et des buts des uns et des autres membres constituant le groupe
Jhon B. Hough	1967	« observationel system for instructional analysis » lié à offrir des possibilités de tester des hypothèses dérivées d'une théorie de l'apprentissage
Landsheere G et Bayer E	1969	Analyse des aspects fonctionnels de l'acte d'enseignement. Un système d'analyse des interactions verbales à trois niveaux : par catégories, par fonctions, et selon le mode de

		chaque fonction. Neuf catégories de fonctions sont définies : fonction d'organisation, fonction d'imposition, fonction de développement, fonction de personnalisation, fonction de feedback positif, fonction de feedback négatif, fonction de concrétisation, fonction d'affectivité positive, fonction d'affectivité négative (observation à l'école élémentaire)
--	--	---

Dans ce qui suivra nous détaillons deux travaux que nous jugeons importants pour l'analyse des interactions tels que la grille élaborée par Flanders (1960) et la grille établie par Amindon (1966). Puis nous présenterons une analyse critique de ces travaux.

2. Exemples particuliers

Dans son livre, Flanders (1960) donne une idée sur l'analyse des stratégies d'enseignement qui dépend de l'objectif de recherche que fixe l'observateur au moment où il effectue l'observation. Il pose le problème du choix des catégories pour l'observation et les symboles respectifs pour chaque catégorie. Le système de l'analyse des interactions comprend quatre étapes (Flanders, 1960, p 29) :

- La catégorisation : chaque catégorie est définie clairement
- La procédure d'observation
- Organisation des données pour décrire l'événement original
- Les applications au moment des observations

Ce système d'analyse des interactions peut combiner des données vidéo ou audio (ibidem, p31). L'auteur a établi des catégories pour l'analyse des interactions en termes d'influence directe ou d'influence indirecte de l'enseignant. Son travail a consisté à produire une grille de catégories de comportement de l'enseignant et de comportement de l'élève et de trouver des liens entre les deux en produisant des corrélations. Il n'a pas essayé de répondre à la question pourquoi et comment l'enseignant réagit en classe, il estime que le rôle de l'enseignant peut changer selon la situation en classe et il a essayé de trouver les composantes ponctuelles de ce rôle. Flanders (Postic, 1977, p.75) a avancé plusieurs concepts pour définir le comportement de l'élève :

- La forte dépendance : les élèves recherchent volontairement des moyens supplémentaires de renforcer l'autorité du professeur.
- La dépendance moyenne : le professeur mène une action pour guider les élèves dans des activités qu'ils n'ont pas sollicités.
- La faible dépendance : les élèves mènent leurs activités sans solliciter constamment des directives de l'enseignant.
- L'indépendance : les élèves mènent leurs activités d'une façon autonome.

Les deux concepts de dépendance et d'indépendance sont fortement liés aux choix que fait l'enseignant pour exercer son influence (ibidem, p77) :

- *L'influence directe* : l'enseignant affirme ses idées, dirige l'activité de l'élève, critique sa conduite, justifie son autorité et l'usage qu'il en fait. L'influence directe accroît la dépendance de l'élève.
- *L'influence indirecte* : l'enseignant sollicite les idées des élèves, encourage leurs participations, accepte et clarifie leurs sentiments.

Un des postulats avancés est que le potentiel d'apprentissage des élèves est inversement proportionnel à leur degré de dépendance.

Le système d'analyse des interactions mis au point contient trois grandes catégories : les actes verbaux de l'enseignant, les actes des élèves et silence ou confusion. Ce système contient 10 catégories qui seront présentées dans le tableau ci-dessous (Flanders, 1960, p. 33) FIAC (*Flanders Interaction Analysis Categories*) :

Catégories		Type d'influence
Comportement verbal de l'enseignant	1. Accepte les sentiments des élèves	Influence indirecte
	2. Fait des éloges ou encourage	
	3. Accepte ou utilise les idées des élèves	
	4. Pose des questions	
	5. Fait un exposé	Influence directe
	6. Donne des directives	
	7. Critique où en appelle à son autorité	
Comportement de l'élève	8. Répondre aux questions	
	9. Prend spontanément la parole	
Silence ou confusion	10. Silence ou confusion	

Le codage dans ces catégories s'effectue au moment de l'observation toutes les trois secondes en colonne. La séquence trouvée est enregistrée dans une matrice 10×10. Les chiffres sont groupés par paires et le premier chiffre est placé dans une rangée et le deuxième dans une colonne. Pour l'interprétation de la matrice, un enregistrement sur une activité homogène est nécessaire. L'interprétation de la matrice s'effectue sur les colonnes qui représentent les interventions du professeur et celles des élèves. Le rapport entre l'influence directe est l'influence indirecte est déterminée par le nombre total des catégories 1,2, 3, 4 par rapport au nombre total des catégories 5, 6, 7. D'autres calculs de pourcentage pourront être fait. L'analyse des aires de la matrice donne les aires qui ont le poids le plus important et permet donc de décrire l'action de l'enseignant.

Un deuxième travail a été élaboré dans la même lignée, celui d'Amidon (1966), qui a élaboré une grille d'analyse «*Verbal Interaction Category System* » des interactions qui s'inspirait de celle de Flanders ; elle est caractérisée par :

- Des catégories de l'enseignant qui sont présentées en termes d'initiation et de réponse.
- Les types de questions de l'enseignant sont dissociés en questions étroites et

questions larges.

- Les réponses des élèves sont dissociées en réponses prévisibles et réponses imprévisibles.
- Les catégories 5 et 6 sont subdivisées en trois sous-catégories acceptation des idées, des attitudes, des sentiments.
- Les catégories 7, 8, 9, et 10 sont devenues propres à l'élève (par rapport à l'enseignant ou par rapport à un autre élève)
- Une catégorie z : confusion qui est enregistrée quand il y a un comportement verbal étouffé ou une rupture de parole brusque.
- Des chiffres en exposant marquent le changement de personne.

Le système *VICS* vient compléter celui de Flanders. Il tient compte des interactions professeur/élève et élève / élève. Ce système spécifie le changement de locuteur dans l'interaction ce qui donnera peut-être plus d'information au moment de l'analyse de la matrice.

3. Analyse critique

Les catégories présentées dans le système d'analyse des interactions, décrivent les actes respectifs de l'enseignant et de l'élève en classe. Une des critiques concerne le contenu de ces catégories qui se présente sous forme de comportement donc du point de vue pédagogique « *pratiques pédagogiques courantes* » (ibidem, p. 81) applicable à tout enseignement. L'analyse des interactions par ces catégories donnera des conclusions du point de vue « gestion de la classe » et « déroulement pédagogique de la séance de classe » mais ne donnera aucune information sur l'apprentissage de l'élève du point de vue du savoir. Donc pour transférer le travail de Flanders pour des finalités de didactiques des disciplines un travail à effectuer est d'affiner les catégories présentées ci-dessus par rapport au contenu d'enseignement. Un autre point concerne le rôle de l'élève dans les catégories 8 et 9 qui est un rôle réceptif. L'élève ne produit pas ses propres connaissances d'une façon autonome.

En ce qui concerne le système *VICS*, il est limité à un schéma classique qui est le schéma de la question / réponse et pas de production de connaissance pour l'élève. Il ne donne aucune information du point de vue contenu d'enseignement ni sur l'interaction enseignant/classe.

Une deuxième critique est que l'analyse est faite par rapport à une matrice 10×10 par rapport au nombre des catégories qui sont très limitées en savoir. Une possibilité est d'augmenter le nombre de catégories ou de les reclasser selon d'autres objectifs de recherches c'est-à-dire avoir plusieurs classes de 10 catégories suivant la question d'étude posée. Ceci permettra peut-être de voir plusieurs types d'interactions possibles telles que : enseignant/classe, enseignant/élève et élève/élève.

Pour étudier les interactions verbales en classe réelles, les événements réels ne sont pas identiques du point de vue du temps. Donc prendre comme intervalle de temps trois secondes pour enregistrer une catégorie peut limiter les événements ou donner une

information incorrecte de ce qui se passe réellement.

II Approche socio-constructiviste de l'apprentissage

Pour parler de l'interaction, une nécessité est de se référer à l'approche socioconstructiviste de l'apprentissage. Elle est liée à l'étude des interactions entre des novices et des experts (dans notre cas enseignant) et élèves en vue d'apprentissage en milieu scolaire (Vygotsky, 1997 ; François 1999, Leach et Scott 1999, Mortimer et Scott 1999, 2003, Vergnaud, 2000).

Cette approche défend l'idée que l'apprentissage ne résulte pas d'une réponse passive à une action initiatrice mais résulte des interactions entre plusieurs acteurs dans un contexte social et physique. La variété des interactions permet aux apprenants de réorganiser et de structurer leurs connaissances en reformulant ou réinterprétant cette connaissance ou en opposant différents points de vue et testant leurs validités. L'apprenant est donc un acteur actif dans la construction de ses connaissances (Vygotsky, 1978) et l'action de l'enseignant doit se situer dans la « *Zone Proximale de Développement* » de l'apprenant. Vygotsky avance l'idée que l'adulte peut introduire progressivement des notions dans la « ZPD » (le seul bon enseignement est celui qui précède le développement), Vergnaud (2000) résume ceci en affirmant que l'apprentissage ne coïncide pas avec le développement de l'apprenant et la « ZPD » est l'intermédiaire obligé entre les deux concepts.

Dans l'approche socio-constructiviste, l'écrit et le dialogue sont différenciés. Les mêmes mots peuvent être utilisés dans des sens différents : « *L'enfant et l'adulte peuvent communiquer avec les mêmes mots. Ça ne veut pas dire qu'ils pensent de la même façon. Autrement dit le concept n'est pas le nom.* » (Vygotsky, 1978, p. 195). Il y a une opposition entre deux concepts qui servent d'outils pour dialoguer entre l'adulte et l'enfant (dans notre cas entre enseignant et élèves) ce sont le "concept quotidien" et le "concept scientifique". Ce problème est crucial dans une logique d'enseignement puisque sous-tendu par un éventuel conflit entre concepts quotidiens et concepts scientifiques (Vygotski, 1934). Pour Vygotski, c'est à partir de cette expérience sensible quotidienne que l'enfant forge ses concepts quotidiens. Il attribue quatre caractéristiques principales aux concepts quotidiens :

- référence et centrage sur des objets et des événements, à propos de situations particulières ;
- inconscience de leur maniement de la part de l'utilisateur (et donc impossibilité du maniement volontaire) ;
- non-intégration dans une pensée systématique ;
- base du développement des concepts scientifiques.

Il estime que la faiblesse de l'un est la force de l'autre d'où leur complémentarité : « *La faiblesse des concepts quotidiens se manifeste, selon les données de notre étude [étude faite par Vygotski], par une incapacité d'abstraction ... La faiblesse du concept scientifique c'est son verbalisme, qui constitue le principal danger pour son développement, c'est son*

insuffisante saturation du concret » (ibidem, p. 196).

En nous inspirant de la perspective socioconstructiviste et du travail de Mortimer et Scott (1999, 2003), nous adopterons la même approche socioculturelle d'analyse des interactions. Cette méthodologie qui s'inspire de la psychologie vygotskienne et néo-vygotskienne (Bakhtine, 1984), a pour centre d'intérêt principal l'interaction verbale. Un concept introduit dans cette perspective, et que nous utiliserons dans notre analyse, est " *le flux du discours en classe* ". Il est défini comme la réelle unité de communication parlée qui peut exister seulement dans la forme concrète des déclarations des gens individuellement. Il est caractérisé par trois aspects (Mortimer & Scott, 1999, p. 129) :

- Le contenu du discours : la déclaration de l'élève correspond ou non aux attentes de l'apprentissage, l'enseignant peut fixer des buts à atteindre en posant des questions et les réponses des élèves peuvent ou non être conforme aux attentes.
- La forme de déclaration : description (introduit ce qui est directement observable), explication (l'importance dans le modèle ou mécanisme d'un phénomène scientifique), généralisation (expliquer et décrire sans se lier au contexte).
- Les modèles du discours : caractérise la forme typique de la façon de parler qui constitue le discours

Ce discours en classe médiatise le développement de la signification et de la compréhension entre l'enseignant et les élèves. Il se manifeste dans la classe sous forme de deux genres de langages sociaux (le " scientifique " et le " quotidien/ de tous les jours). Ces deux modes de discours caractérisent l'interaction enseignant-élèves (ibidem, p. 128).

Ainsi pour analyser l'interaction enseignant-élèves et élèves-élèves, le travail des deux auteurs (Mortimer & Scott , 2003) a été réalisé sur des élèves de 13-14 ans en Angleterre et sur des élèves de 14-15 ans au Brésil. Ils ont développé une approche socioculturelle basée sur cinq aspects qui sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Outil d'analyse et de planification d'une séquence d'enseignement basée sur les interactions (Mortimer et Scott, 2003, p. 24)

Cible	Objectifs d'enseignement	contenu
Approche	Approche communicative	
Action	Modèles de discours	Interventions de l'enseignant

Ce tableau présente un outil d'analyse des interactions en classe scientifique. L'objectif des deux auteurs est de répondre à une question pour chaque aspect du tableau pour une phase de la séquence d'enseignement et puis établir des corrélations entre les différents aspects. Ces aspects sont présentés ci-dessous (ibidem, pp. 24-45)

Interactions enseignant-élèves et situations d'enseignement-apprentissage en optique géométrique

Aspect	Description	Question à poser
Les objectifs d'enseignement	Ouverture du problème Introduire et développer l'histoire scientifique Guider les élèves à appliquer et à étendre les utilisations des idées scientifiques et avoir la responsabilité de leurs applications Maintenir le développement de la leçon	Quels sont les objectifs de l'enseignement pour cette phase de la leçon ?
Le contenu de l'interaction	quotidien-scientifique description-explication-généralisation empirique-théorique	Quelle est la nature de la connaissance discutée entre l'enseignant et l'élève durant cette phase de la leçon ?
L'approche communicative	Interactive/dialogique Non-interactive/dialogique Interactive/autoritaire Non-interactive/autoritaire	Comment l'enseignant travaille-t-il avec ces élèves pour aborder la diversité des idées présentes en classe durant cette phase de la leçon ?
Les modèles du discours	le modèle en triade I-R-E (Initiation-Réponse-Evaluation) le modèle en chaîne I-R-F-R-F...(Feedback)	Quels sont les modèles des interactions qui sont développés dans le discours de l'enseignant et des élèves en classe ?
Les interventions de l'enseignant	Développer la connaissance scientifique Supporter la compréhension des élèves Maintenir la narration	Comment l'enseignant intervient-il en classe

Nous avons gardé les mêmes aspects d'analyse des interactions en ajoutant un aspect que nous jugeons intéressant. Nous représentons ces aspects avec les modifications que nous avons réalisées en fonction des besoins de notre travail :

- - Organisation de la classe

Étant donné que nous étudions les interactions enseignant-élèves et élève-élève, nous avons décidé d'ajouter un aspect qui décrit l'organisation de la classe :

- - L'enseignant / groupe classe : Pr/Cl
- - L'enseignant / élèves : Pr / EI (quand l'enseignant est avec les deux élèves filmés)
- - Elève / élève : EI / EI
- Les objectifs d'enseignement
 - Introduction de la tâche ou ouverture du problème
 - Développement la progression de la tâche

- Le contenu de l'interaction

Pour le contenu de l'interaction nous trouvons que les catégories présentées par Mortimer et Scott (2003) ne nous donnent pas assez d'information pour l'interprétation de l'analyse d'où nous avons décidé de déterminer le contenu de l'interaction par rapport au savoir introduit chaque fois que nous a semblé nécessaire.

- L'approche communicative

- Interactive/dialogique : (I/D) l'enseignant et les élèves explorent les idées, génèrent des nouvelles significations, osent des questions et des possibilités, s'écoutent et travaillent selon plusieurs points de vue.
- Non-interactive/dialogique : (NI/D) l'enseignant considère plusieurs points de vue, prend le dessus, exploite et travaille dans différentes perspectives.
- Interactive/discours faisant autorité : (I/A) l'enseignant conduit les élèves à travers une série de questions-réponses avec le but de régir un point de vue scientifique.
- Non-interactive/ discours faisant autorité : (NI/A) l'enseignant présente un point de vue scientifique.

Notre choix non interactive correspond :

- soit à un monologue du professeur
- soit à un « quasi monologue » c'est-à-dire une série d'interventions du professeur interrompues par une ou plusieurs interventions d'élève, dont le professeur ne tient pas compte

Nous remarquons que nous n'avons pas gardé le mot autoritaire pour la traduction de l'anglais du mot « authoritative » et nous avons choisi de dire discours faisant autorité.

- Les modèles du discours

- le modèle en triade I-R-E (Initiation-Réponse-Evaluation)
- le modèle en chaîne I-R-F-R-F...(Feedback)

- Les fonctions du discours des interlocuteurs

Nous n'avons pas gardé l'appellation « les modes d'intervention de l'enseignant » car nous trouvons que pour cet aspect l'appellation « les fonctions du discours des interlocuteurs » décrit plus le contenu des catégories que nous présenterons dans ce qui suivra.

Pour cet aspect nous nous inspirons du travail de (Mortimer & Scott, 1999, p. 131). Les deux auteurs estiment que l'intervention de l'enseignant est caractérisée par le terme " narration ". Le terme connote un discours verbal cohérent sur une durée assez longue. Ces deux auteurs classent les fonctions de cette narration en trois grandes catégories que

nous présenterons ci-dessous. Pour notre travail nous avons gardé quelques appellations de certaines catégories en ajoutant d'autres catégories liées à notre point de vue épistémologique de modélisation et de registres sémiotiques (toutes les catégories ajoutées sont en italique et soulignées). Nous présentons ci-dessous la grille qui montre toutes les catégories :

Grille de fonction du discours des interlocuteurs

² Le mot « idée » pour les élèves : représentation intellectuelle, toute représentation élaborée par la pensée correspondant à un mot ou à une phrase (vue approximative élémentaire).

Catégories		Indicateur	Code	
Développer la connaissance scientifique	Développer la ligne conceptuelle	<u>Expliciter les idées</u> ²	L'enseignant demande aux élèves d'expliciter leurs idées ou les élèves demandent d'expliciter leurs idées	EI
		<u>Introduire de nouvelles idées</u>	L'enseignant ou l'élève introduit de nouvelles idées autour de la notion étudiée.	INI
		Mettre en forme les idées	L'enseignant guide les élèves dans les étapes par une explication du sens par une série de questions Les élèves écrivent sur leur compte rendu	MFI
		Sélectionner les idées	L'enseignant sélectionne une intervention de l'élève ou ajoute sur cette dernière et vice versa	SI
		Marquer les idées clés	L'enseignant répète l'intervention de l'élève en insistant sur elle ou l'élève répète une verbalisation de l'enseignant à l'autre élève	MIC
	Développer la ligne épistémologique	<u>Expliciter le monde des objets / événements</u>	L'enseignant ou l'élève tient un objet ou parle d'un événement.	EOE
		<u>Expliciter le monde de la théorie / modèle</u>	L'enseignant tient un discours lié au monde de la théorie / modèle ou il modélise un objet de savoir au tableau. L'élève verbalise les mots du modèle pour l'explication ou l'interprétation ou pour répondre à une question	EMT
		<u>Expliciter le lien entre les deux mondes</u>	Différentes modalités utilisées par l'enseignant ou par l'élève (discours, gestes, artefact)	ERM

² Le mot « idée » pour les élèves : représentation intellectuelle, toute représentation élaborée par la pensée correspondant à un mot ou à une phrase (vue approximative élémentaire).

Interactions enseignant-élèves et situations d'enseignement-apprentissage en optique géométrique

Supporter la compréhension des élèves	<u>Développer la diversification des représentations</u>	<u>Registre symbolique</u>	Utilisation des symboles mathématiques pour l'enseignant ou l'élève	RS
		<u>Registre graphique</u>	Explication de l'utilisation du graphe $1/OA' = f(1/OA)$ par l'enseignant ou l'élève	RG
		<u>Registre schématique</u>	Schématisation par l'enseignant ou l'élève	RSc
		<u>Expliciter le lien entre les registres</u>	L'enseignant ou l'élève explique en utilisant la langue, le schéma et les symboles mathématiques	ERR
	Promouvoir le partage de sens	l'enseignant présente les idées pour toute la classe, porte les idées individuelles ou les trouvailles des élèves à la connaissance de toute la classe, reformule une idée avec un élève pour toute la classe.		PPS
Contrôler la compréhension des élèves	<u>Contrôler la compréhension individuelle de l'élève</u>	L'enseignant contrôle des idées particulières avancées par l'élève	CCI	
	<u>Contrôler la compréhension de la classe</u>	L'enseignant contrôle le consensus dans la classe sur certaines idées	CCC	
Maintenir la narration	<u>Séquence</u>	L'enseignant assure la cohérence de la totalité de la séquence en établissant des lignes de continuité du discours d'une séance d'enseignement à une autre	MNS	
	<u>Séance/ Tâche</u>	L'enseignant assure la cohérence de séance en établissant des lignes de continuité du discours d'une tâche à l'autre pendant une même séance.	MNT	

- Développer la connaissance scientifique
 - Développer la ligne conceptuelle : l'enseignant introduit des idées scientifiques

disponibles pour les élèves, ceci inclut :

- Développer la ligne épistémologique : l'intervention de l'enseignant destinée à introduire les aspects de la nature de la connaissance scientifique. Dans notre perspective, cette introduction de la nature de la connaissance scientifique est l'articulation du monde de la théorie/modèle et du monde des objets/événements.
- Supporter la compréhension des élèves
 - Développer la diversification des représentations : l'enseignant utilise différents registres pour un même concept qui aiderait les élèves à la construction de sens d'un concept. Nous ne tenons pas compte du registre linguistique car il est quasiment toujours présent pendant le déroulement de la séquence.
 - Contrôler la compréhension des élèves : l'enseignant doit contrôler la clarification des idées introduites par les élèves.
- Maintenir la narration
 - Maintenir la narration : l'enseignant vérifie les buts et les objectifs de la prochaine partie de la narration, revoit s'il peut anticiper, vérifie la progression dans la narration, anime la narration.

Ces catégories peuvent servir pour déterminer comment l'enseignant travaille avec ses élèves pour introduire une nouvelle connaissance et quelle influence cela a sur les activités des élèves dans un but d'aboutir à une construction de la compréhension 'satisfaisante' par les élèves des concepts scientifiques.

En Conclusion

Nous reprenons dans notre travail d'analyse qui sera présenté dans le chapitre 8 l'idée fondamentale que le langage guide l'apprentissage et que l'apprenant est actif dans la construction de ces connaissances. Nous adoptons la perspective socioculturelle pour déterminer le « flux du discours en classe », nous nous basons aussi sur la détermination de l'articulation entre les « concepts scientifiques » et les « concepts quotidiens » au cours de la réalisation de la séquence. Nous gardons la même procédure d'analyse des interactions basée sur les aspects déjà introduits en insistant sur les points de vue épistémologiques introduits dans le chapitre 2 : la modélisation et les diversifications des registres sémiotiques.

Nous complétons cet étude socioculturelle par de points de vue de la linguistique et de la didactique des langues et qui donne une grande importance au discours dans l'interaction et des éléments qui composent les actions langagières.

III Approche linguistique

Plusieurs travaux antérieurs de linguistique et didactique des langues se sont intéressés à l'étude des interactions entre pairs (Bakhtine, 1977, 1984 ; Goffman, 1981; Roulet, 1987 ; Kerbrat-Orrechioni, 2001 ; Bouchard, 1981, 1998, 1999 ; Bouchard & Rolet, 2003). Un point commun essentiel de tous ces travaux est de donner une grande importance au discours dans l'interaction. La structure du discours est déterminée par les contraintes de l'interaction verbale « *le discours est le produit de l'interaction de deux individus socialement organisés* » (Bakhtine, 1977, P. 123)

Bakhtine (1977, 1984) estime que l'interaction entre adulte et enfants [enseignant et élèves] se réalise dans le contexte social. Cette interaction se base surtout sur le verbal et tend vers la compréhension qui est définie comme une forme de dialogue : « *comprendre c'est opposer à la parole du locuteur une contre-parole.* » (François, 1999, p. 198). Il met l'accent sur l'utilité d'utiliser plusieurs modes du discours tels que les " langages sociaux " et " les façons de parler ". Ces modes de discours permettent à celui qui parle de produire des déclarations pour faire avancer son interaction avec les autres (Leach & Scott, 1999, p.8).

Goffman (1981) s'est intéressé à l'interaction face à face qui est soumise à des *contraintes communicatives* (transmission de message) et *des contraintes rituelles* (respect de la face de l'interlocuteur).

Roulet introduit l'idée de la structure du discours comme négociation : « *Toute négociation a sa source dans un problème qui donne lieu à une initiative du locuteur ; cette initiative appelle une réaction qui peut être favorable ou défavorable, de l'interlocuteur* » (Roulet, 1987, p.15). Les interactions verbales sont caractérisées par le " discours ", ici entre l'enseignant et les élèves ou le discours entre élèves (questions, réponses, discussion, gestion de la classe...). L'aspect interactionnel du discours apparaît dans l'implication des destinataires ainsi que la répartition dans les tours de parole.

La structure du discours est déterminée par trois éléments primordiaux : l'échange, l'intervention et l'acte du langage. Ce découpage se présente dans le travail de Bouchard & Rolet (2003) sous forme de découpage structural du discours. Les deux auteurs ont présenté une méthodologie générale pour l'étude des interactions didactiques qui montre la complexité des phénomènes interactionnels caractéristiques d'une classe (polylogue, évènements oralo-graphiques, mélange organisé d'actions langagières et non-langagières...). Ils définissent les actions réciproques des intervenants dans l'interaction : des « actions langagières » combinaison entre système de signes vocaux et système de signes graphiques (registres symboliques) et des « actions non-langagières » qui comportent la position en classe et les gestes de communication (ibidem, p.2).

En ce qui concerne les actions « non langagières » il y a les gestes, les mimiques, la position en classe. L'interaction en classe peut être médiatisée par les gestes provenant soit du professeur soit de l'élève. Plusieurs études (Roth 1996, 2000, Roth & Bowen, 1999) ont montré l'importance de l'utilisation des gestes pour la communication. Les gestes de l'élève (respectivement de l'enseignant) ne peuvent pas être dissociés des connaissances intellectuelles qu'il possède. L'élève (respectivement l'enseignant) utilise donc des gestes pour expliquer (un graphe, un schéma, une expérience...). Pour

connaître le rôle des gestes dans l'enseignement, Roth et Lawless (2002) ont étudié les gestes des élèves pour des finalités de conversation en classe. Ils estiment que ces gestes constituent un lien entre le monde des expériences et le monde conceptuel.

En ce qui concerne les « actions langagières », Bouchard & Rolet (2003) précisent les trois éléments qui constituent l'interaction : l'échange (un ou plusieurs tour(s) de parole), l'intervention (changement de locuteur ou de sujet) et l'acte (changement d'objectif d'interaction). Ils définissent l'échange ternaire (comporte généralement trois interventions) et l'échange binaire (comporte deux interventions la première contraignant l'autre cela correspond à deux actions liées la première provoquant la deuxième ou la deuxième répondant à la première). Ce que Roulet (1987, p.23) définit par *l'incursion* « une interaction verbale délimitée par la rencontre et la séparation de deux interlocuteurs ». L'incursion est formée par trois types d'échanges :

- un échange subordonné à fonction d'*ouverture*
- un échange principal à fonction de *transaction*
- un échange subordonné à fonction de *clôture*

L'échange peut être confirmatif (ouverture, clôture) ou réparateur (transaction) (Goffman, 1973). Ces actes sont reliés entre eux par des fonctions interactives. L'échange est formé par plusieurs interventions. L'intervention est formée par :

- un acte subordonné facultatif
- un acte principal (acte directeur)
- un acte subordonné facultatif

Une autre approche des pratiques langagières en didactique des langues basée sur le discours en classe est celle présentée par Bernier (2002). L'auteur avance la notion de la « communauté discursive » qui est un lieu de stabilisation d'une manière d'agir (ibidem, p. 78). Il estime que l'apprenant reprend les rôles discursifs (initiation, réponse...) des divers participants à l'interaction (le savoir et le savoir-faire). Bernier insiste sur la co-construction de savoirs scientifiques et d'une manière d'agir-penser-parler scientifique pour garantir la cohérence de l'assimilation d'une notion. Il distingue trois phases dans la construction de la communauté discursive (idem, p. 83) :

- Prendre la position d' « *énonciateur scientifique* » : amener les élèves à prendre des distances par rapport à leurs fonctionnements quotidiens pour s'interroger (dans notre cas le contexte et la situation jouent un rôle important)
- « *Production d'énoncés collectifs stabilisés* » par chaque élève par des propositions « détachées » du raisonnement en langage sans formel.
- Établir des « *poches de cohérence* » : amener chaque élève à la formulation individuelle (surtout écrite) d'un point de vue organisé, tenant compte des acquis, ce que nous appellerons « *stabilisation des connaissances* » au cours des analyses. Cette stabilisation des connaissances présente un pas important pour la construction de la compréhension conceptuelle chez les élèves. Les « *poches de cohérence* »

mettent au premier plan le rôle de l'enseignant sans tenir compte des activités des élèves pour les établir. La « stabilisation des connaissances » couvre à la fois le rôle de l'enseignant, l'activité de l'élève et les interactions entre ces deux pôles.

En conclusion

Nous retenons de tous les travaux présentés ci-dessus que le processus d'enseignement peut fonctionner comme un travail interactif d'ajustement, de négociations, de transactions et de compromis permanent entre les acteurs en situation (dans notre cas les acteurs sont les élèves et l'enseignant). Nous utiliserons les types de déclarations introduites au moment de la réalisation de la séquence d'enseignement du point de vue de la modélisation et des registres sémiotiques. Nous garderons dans ce travail, la même structure du discours en nous limitant aux deux premières unités : l'échange et l'intervention. Nous utiliserons les « actions langagières » et « les actions non-langagières » au moment de l'analyse pour déterminer les interactions enseignant-élèves et élève-élève.

Chapitre 4. Les situations didactiques et les pratiques enseignantes

La quatrième partie de notre cadre théorique réinvestit dans l'enseignement-apprentissage de la physique les apports théoriques de la didactique française des mathématiques, en particulier les concepts de milieu didactique et de situation didactique ; il s'agit à la fois de prendre en compte l'objectif théorisé par Brousseau (1986) que l'enseignant est considéré comme régulateur d'un certain nombre d'interactions de l'élève avec un milieu, et d'inclure le point de vue institutionnel de l'anthropologie des savoirs (Chevallard, 1995). Dans cette même direction, nous reprenons les analyses des pratiques enseignantes en classe comme pratiques professionnelles (Robert, 1999 ; Sensevy, 2001).

I. Les situations didactiques

Dans notre travail, les situations d'enseignement occupent un statut important dans le processus enseignement-apprentissage. Pour définir la notion de " situation ", nous faisons référence aux travaux de Brousseau (1986, p.95) qui s'est intéressé à l'étude des contraintes internes à une réalisation d'une situation à travers trois catégories emboîtées hiérarchiquement qui sont :

- L'action : un échange d'informations non codées, en particulier sans langage.
- La formulation : un échange d'informations codées dans un langage.
- La validation : un échange de jugements.

La « situation » décrit les interactions qu'un enseignant organise entre l'élève apprenant et un milieu auquel il est confronté. Ce milieu comporte l'ensemble des dispositifs matériels et pédagogiques auquel l'élève a recours dans la résolution des tâches qui lui sont confiées. Entre le milieu et l'élève circule en permanence un certain nombre d'informations, mais par les rétroactions qu'il est susceptible de produire, le milieu est aussi un élément antagoniste pour l'élève. Brousseau (1986, p.97) distingue trois catégories de connaissances qui s'expriment pendant les interactions de l'élève avec le milieu : des connaissances en actes, des connaissances énonçables par le sujet et les connaissances justifiables par le sujet.

Il décrit les interactions qu'un enseignant organise entre l'élève et un milieu. Il définit l'interaction de l'enseignant avec le système élève /milieu par le contrat didactique. Il estime que le rôle de l'enseignant est de faire approprier aux élèves un savoir constitué ou en voie de constitution.

Il définit deux types de situations (ibidem, pp. 49-50) :

- “ Les situations a-didactiques ” : où l'enseignant n'intervient pas au cours de la situation pour faire progresser le temps de la classe, mais intervient au début pour mettre l'élève face au problème et à la fin de la situation pour faire l'institutionnalisation.
- “ Les situations didactiques ” : où l'enseignant pose un problème et accompagne l'élève dans sa résolution à travers un système d'interactions avec le milieu.

Une remarque importante est que l'intervention de l'enseignant doit laisser place à la dévolution. Il y a dévolution quand les apprenants prennent en charge le problème, le font leur, indépendamment de toute volonté de se conformer à ce qu'ils pensent que l'enseignant attend d'eux, indépendamment de toute inscription dans une perspective scolaire et institutionnelle (Buty, 2000, p. 41).

La fonction professorale présentée par Brousseau est en liaison directe avec les pratiques de l'enseignant en classe qui sont définies du point de vue professionnel.

II. Pratiques enseignantes

Dans cette partie nous présentons l'enseignant comme un professionnel en classe et nous faisons la juxtaposition de ce point de vue à celui de l'approche anthropologique présentée par Chevallard.

Aline Robert (1999) a effectué un travail sur des enseignants de mathématiques de l'école primaire. Son travail est basé sur la théorie des situations de Brousseau. Elle fait la liaison entre le discours en classe et les pratiques enseignantes : “ *Les discours des enseignants sont un des lieux privilégiés d'échange en classe, et c'est en leur sein que vont étre dégagées d'autres variables pouvant traduire des choix en matière de médiation.* ” (Robert, 1999, p. 144).

Ce discours caractérise donc l'action de l'enseignant en temps réel proprement dit. Cette action se base sur quatre pôles complémentaires (ibidem, p.144)

- - “ la fonction du discours ” : le lien entre le savoir et le mode de présentation de ce savoir. La fonction du discours peut être une fonction informative, explicative, argumentative ou encore analytique.
- - “ L’objet du discours ” : le lien que fait l’enseignant entre le savoir contextualisé et décontextualisé.
- - “ La teneur du discours ” : le type du langage utilisé scientifique ou quotidien.
- - “ Les questions ” : pour l’enseignant ou l’élève, c’est déterminer la forme, la nature, la portée de la sollicitation et l’exigence de la réponse.

L’enseignant gère la classe en exposant, organisant, et réorganisant les connaissances en jeu d’un point de vue magistral, en essayant de faire fonctionner les connaissances à travers les tâches qu’il propose aux élèves et en planifiant les formes de travail des élèves en classe. Sa pratique en classe est définie ainsi : “ *Le terme “ pratiques en classe ” désigne tout ce que dit et fait l’enseignant en classe, en tenant compte de sa préparation, de ses conceptions et connaissances en mathématiques et de ses décisions instantanées. Toutefois nous nous restreignons aux décisions conscientes ou préconscientes de l’enseignant, celle qu’il peut décrire, éventuellement après-coup.* ” (ibidem, p. 128).

L’ensemble des enseignants a beaucoup de choses en commun dans sa pratique mais ce qui est différent c’est l’apport propre de chacun d’entre eux. Aline Robert présente ceci en termes :

- *D’accord pour les lignes d’actions* : tout ce qui est d’ordre théorique et de préparation.
- *De diversité au niveau de la singularisation* : l’apport personnel de chaque enseignant au moment réel de l’enseignement. La pratique de l’enseignant en classe est considérée comme une pratique professionnelle ; l’enseignant introduit des nouvelles connaissances scientifiques en tenant compte de connaissances déjà existantes pour les élèves et manifeste tantôt une expertise disciplinaire (ici les sciences physiques), tantôt une expertise pédagogique (comportement en classe). Le dosage qu’il effectue entre les deux formes d’expertise constitue une partie de son apport personnel à son enseignement. De ce point de vue l’enseignant peut (ibidem, p. 145) :
 - Exposer, organiser, et réorganiser les connaissances en jeu, de façon magistrale.
 - Essayer de faire fonctionner les connaissances à travers les activités qu’il propose aux élèves.
 - Planifier les formes de travail des élèves en classe.

Pour déterminer l’action de l’enseignant en classe, Aline Robert présente “ *des typologies des tâches des enseignants* ” ou modalités de transmission des savoirs pratiques et théoriques en classe (ibidem, p. 132)

- Trouver les diverses sources (manuels, vieux cours, etc...)
- Choisir l’organisation d’exercices et d’éléments du cours.

- Elaborer le texte de savoir en respectant le programme (cohérence).
- Réaliser en classe (discours de l'enseignant en classe : fonction, l'objet et la teneur).

La quatrième modalité qui est la réalisation en classe fait intervenir l'expertise disciplinaire et l'expertise pédagogique de l'enseignant. Aline Robert s'est intéressée à la description de ce qui se passe à l'extérieur de la classe. Mais nous allons voir dans ce qui suit d'autres travaux (Chevallard, 1995, Sensevy, 2001) qui se sont intéressés à la pratique de l'enseignant à l'intérieur de la classe.

Pour déterminer la fonction professorale en classe, Chevallard (1995) développe un modèle théorique de quatre niveaux (tâches, techniques, technologies et théories) où il modélise l'activité de l'enseignant au moment de la présentation et la réalisation de la tâche aux élèves.

L'activité de l'enseignant en classe est guidée par un système de tâches “ *des activités relativement bien circonscrites, qui se découpent dans le flux de la pratique* ” (Chevallard, 1995, p. 85). Chevallard distingue deux types de tâches accomplies par un individu (ibidem, p. 85-89) :

- Les tâches routinières ne posent pas de problème, les individus possèdent déjà un savoir-faire (écrire sur un cahier, mettre le plan au tableau...)
- Les tâches problématiques : posent un certain nombre de difficultés pour accomplir la tâche (résoudre un problème, utiliser un nouveau dispositif expérimental...)

Ces tâches suscitent une coopération entre différents acteurs (élèves ou enseignant). A chaque tâche l'enseignant met en œuvre une technique : “ *une technique, c'est un ensemble réglé de gestes que l'on accomplit dans un certain dispositif* ” (ibidem, p. 87)

Une tâche est routinière ou problématique selon qu'on accomplit ou pas une technique pour l'accomplir. L'idée avancée par Chevallard est qu'une technique peut-être à son tour une tâche à accomplir et que pour une seule tâche nous pouvons utiliser différentes techniques (ibidem, p.88).

A chaque technique Chevallard associe une technologie : “ la technologie c'est le discours qui rend compréhensible la technique utilisée par l'enseignant ” (ibidem, p. 90).

Et à chaque technologie il associe une théorie : “ La théorie c'est la justification de la technologie à l'ordre de la noosphère de l'institution ” (ibidem, p.91).

Ces quatre niveaux ainsi présentés permettent de déterminer le mode de fonctionnement de l'enseignant en classe. Sensevy (2001) se réfère à la théorie des situations de Brousseau. Il avance l'idée que l'action professorale est guidée par plusieurs concepts didactiques comme le “ contrat didactique ” qui est un système d'attentes entre l'enseignant et les élèves : “ Agir pour le professeur ou pour l'élève, va toujours consister à s'inscrire d'une manière déterminée dans un contrat didactique. Cela signifie que l'action du professeur ou de l'élève ne pourra s'expliquer indépendamment des attributions de sens, concernant les objets de savoir, qu'ils effectuent sans cesse au sein de ce contrat ” (ibidem, p. 208-209).

Cette action professorale dépend du milieu où elle est réalisée :

“ Dans le processus didactique, les objets de savoir relatifs à une organisation de connaissance forment un milieu, qui peut être matériel ou symbolique ” (ibidem, p.210).

Sensevy définit les pratiques enseignantes en termes d'action professorale qui se caractérise par quatre éléments fondamentaux (ibidem, p. 215) :

- - “ *Définir* ” : ce que le professeur fait pour que les élèves sachent précisément à quel jeu ils doivent jouer.
- - “ *Réguler* ” : ce que le professeur fait en vue d'obtenir, de la part des élèves, une stratégie gagnante.
- - “ *Dévoluer* ” : ce que le professeur fait pour que les élèves prennent la responsabilité de leur travail.
- - “ *Institutionnaliser* ” : ce que le professeur fait pour que tel ou tel comportement, telle ou telle assertion, ou telle ou telle connaissance, soit considérés comme légitimes, vrais, et attendus, dans l'institution.

L'action peut-être modélisée par l'identification de disposition des techniques au sens de Chevallard (Sensevy, 2001, p. 207).

En Conclusion

Dans notre travail nous tenons compte de la notion de « niveau de singularisation » pour l'enseignement que nous étudions, nous faisons la fusion de la définition du discours données dans l'approche linguistique et dans l'approche professionnelle de l'enseignement, nous déterminons quelques techniques routinières de l'enseignant qui auront un effet sur l'étude des interactions.

Tous les travaux que nous avons présentés nous permettent d'avancer la conclusion que les pratiques en classe sont soumises à plusieurs contraintes qui limitent leurs modes de fonctionnement et qui créent des problèmes que l'enseignant doit surmonter en classe. Ces contraintes sont intégrées dans l'action de l'enseignant en classe lors de la présentation des contenus à enseigner (diversité sociale de la classe, contenus enseignés, hétérogénéité des élèves au niveau cognitif, temps réel de l'enseignement...).

Nous remarquons que d'autres facteurs interviennent lors de l'analyse des pratiques enseignantes auxquels nous ne faisons pas référence tels que : les conceptions des enseignants sur un savoir donné. Un problème à poser est l'applicabilité de tous ce que nous venons de présenter pour un enseignant de mathématiques à un enseignant de physique ; par exemple est-ce que la fonction du discours est la même pour les deux enseignements ?

De ce fait, l'étude des pratiques des enseignants n'est pas toujours facile à réaliser car elle fait intervenir plusieurs pôles en interaction. Dans sa pratique en classe, l'enseignant doit présenter la situation en tenant compte des conceptions des élèves et de leurs pratiques effectives en classe au moment de la réalisation des tâches, ce que nous présentons dans le chapitre suivant.

Chapitre 5. Conceptions et Pratique des élèves en optique géométrique

Dans le présent chapitre, nous présentons les conceptions des élèves et leurs pratiques effectives en classe. Nous voulons déterminer la construction de la compréhension conceptuelle qui est déterminée par les idées a priori des apprenants dans le domaine phénoménologique considéré, d'où la nécessité de présenter un aperçu sur les conceptions étudiées dans le champ de l'optique géométrique, puisque la séquence d'enseignement porte sur ce sujet et tient compte de certaines de ces conceptions (chapitre I du cadre théorique). Nous postulons que les activités des élèves dans une même situation sont régies par les conceptions préexistantes, donc un travail à faire est de déterminer les types d'activité des élèves ; nous avons choisi alors d'appeler tous ces types d'activité les pratiques des élèves, de la même façon que nous avons défini les pratiques de l'enseignant en classe dans le précédent chapitre.

I Conceptions des élèves en optique géométrique

Dans la première partie de notre cadre théorique, nous avons traité le processus de modélisation chez le physicien et chez l'élève. Nous avons vu que nous pouvons rencontrer des difficultés d'apprentissage qui peuvent être attribuées à la contradiction qui pourrait exister entre les connaissances enseignées et les conceptions des élèves. Un des facteurs intervenant lors de l'apprentissage d'une notion donnée est la présence des conceptions antérieures des élèves. Ces conceptions sont parfois dotées d'une certaine stabilité et sont résistantes à l'enseignement (Moscovici, 1984, p. 16).

Nous présentons dans ce qui suit quelques conceptions pour le domaine de l'optique géométrique et précisément dans le domaine de la formation des images.

1. Qu'est-ce une conception ?

Une conception est une construction théorique de la didactique liée à certaines situations ; elle se présente comme un ensemble d'idées, de connaissances, de processus mentaux. Elle est censée avoir de fortes probabilités d'expliquer et de prévoir le comportement observable d'un élève dans des situations de résolution de problème (Buty, 2000, p. 52).

2. Analyse des conceptions en optique géométrique

Depuis trente-cinq ans, les didacticiens des sciences physiques ont travaillé sur les conceptions antérieures des élèves, en particulier dans le domaine de l'optique géométrique. Dans ce domaine, les conceptions se déroulent autour des trois concepts de base suivants : " lumière ", " image " et " vision ". La lumière est un concept de base pour introduire les différentes notions au niveau de l'enseignement d'optique. C'est un

phénomène rencontré en permanence dans la vie quotidienne des individus. Les travaux qui se sont intéressés aux conceptions de la lumière et de la vision en optique géométrique sont multiples (Tiberghien 1983, Guesne 1985, Goldberg et MacDermott 1986 et 1987, Kaminski 1991, Galili 1993, Vosniadou 1994, Viennot 1996, Galili et Hazan 2000, ...). Ces travaux ont montré que l'élève construit ses propres idées sur la lumière à partir des expériences vécues quotidiennement et des connaissances véhiculées dans son entourage.

Les principales conceptions mises en évidence chez des élèves de toutes cultures, avec une fréquence d'apparition variable suivant leur âge, par les travaux antérieurs en didactique de l'optique géométrique sont les suivantes :

- « le bain de lumière » : la lumière est un état du monde, elle baigne la totalité des objets visibles, ce n'est pas un phénomène de propagation.
- « le feu visuel » : l'œil voit parce qu'il envoie des rayons visuels palper les objets qui sont à sa portée, et en retire ses informations.
- « le point de vue holistique de l'objet lumineux » : un objet est un tout, qui émet globalement de la lumière envisagée comme un tout ; on peut représenter cette lumière émise et mener des raisonnements sur elle à partir d'un endroit quelconque de l'objet.
- « l'image voyageuse » : un objet émet une image, qui voyage le long du faisceau de lumière émis par l'objet, traverse les systèmes optiques en subissant éventuellement certaines transformations, et peut être observée n'importe où après le système optique en portant la trace de ces transformations (Viennot, 1996 ; Buty, 2000).

3. Évolution des conceptions

Tous les travaux montrent la difficulté de faire évoluer les conceptions en cours d'enseignement. C'est pourquoi on se propose de donner quelques éléments déjà mis en lumière pour favoriser l'évolution des conceptions.

D'après Galili (1996, p. 848) pour assurer une évolution des conceptions il faut voir tout d'abord la structure de l'apprenant c'est-à-dire ce que nous avons présenté en terme de conceptions antérieures puis trouver le moyen le plus pertinent pour pouvoir changer ou juste insérer le plus possible des nouvelles conceptions scientifiques. En ce qui concerne le domaine de l'optique géométrique, l'évolution des conceptions est difficile à réaliser car les notions utilisées ont plusieurs sens dans différentes disciplines par exemple les concepts "lumière" ou "vision" sont évoquées dans plusieurs disciplines telles que la biologie, la physiologie, la psychologie, d'autres domaines des sciences physiques mais avec des sens différents(Galili, 1996, p. 848).

Si nous voulons caractériser davantage l'évolution des conceptions, nous pouvons dire que c'est une interaction entre les connaissances formelles de l'institution scolaire et les connaissances propres de l'apprenant. L'objectif général est de transformer les conceptions d'une notion donnée qui cohabitent dans la tête de l'élève(ibidem, p. 847).

Comme conséquences de ce qui vient d'être présenté nous pouvons introduire les

moyens de résoudre partiellement ces difficultés :

- -Donner de l'importance au processus de la vision dans l'enseignement de l'optique.
- -Présenter l'image comme une information qui circule et non comme une entité matérielle.
- -Insister sur le fait que tous les rayons émergents issus d'un même point objet passent par un seul point image.
- -Donner la validité de la conception commune par exemple l'image « aérienne » et l'image « optique ».
- -Essayer d'éliminer les effets didactiques pour le concept d'image (par exemple le rôle des rayons spéciaux) (Buty, 2000, p. 53).

Nous avons présenté dans le premier chapitre du cadre théorique la façon dont la séquence d'enseignement prend en compte les conceptions des élèves.

II Pratiques des élèves

Les pratiques des élèves se caractérisent par leurs modes de fonctionnement en classe et leurs activités au moment de réalisation des tâches. Nous insisterons sur la coopération et la classification des différents types d'activités des élèves.

1. Le rôle de la coopération

De nombreux travaux de recherche montrent que la construction des connaissances est favorisée par la possibilité d'échanger et d'argumenter à propos de la situation présentée. En classe, différents types de situations communicatives peuvent exister : l'élève peut travailler seul, par paire, ou participer à une discussion globale avec le reste de la classe, où l'enseignant joue un rôle spécial dans l'interaction. En particulier pour le travail de petit groupe, très souvent l'oral et l'écrit sont imbriqués. Par exemple une réponse qui paraissait bonne dans la discussion orale est remise en cause dès le début de la rédaction, ce qui relance le débat. En effet, la rédaction nécessite de faire des choix, d'articuler logiquement des énoncés et finalement de structurer les savoirs énoncés par les élèves sur la situation. Bien sûr, cette phase de rédaction à deux nécessite de laisser beaucoup de temps aux élèves pour leur permettre de tâtonner et d'essayer de s'approcher de ce qui leur paraît la meilleure formulation. Il est donc possible que le fonctionnement cognitif d'un élève soit régi par l'échange qu'il effectue avec les pairs ou avec l'enseignant à travers plusieurs ressources : tierce personne (enseignant ou élève), feuilles de consigne, manipulation (dispositif expérimental), schéma, calculatrice, matériel, tableau noir, manuel scolaire...

2. Activités des élèves

Bernier (2002) estime que : « *tout enfant devient écolier en construisant un ensemble de représentations relatives à l'univers scolaire et ses conduites sont interprétables en bonne part comme réponse à des contextes sociaux : c'est en fonction de la signification qu'il*

leur attribue qu'il s'organise cognitivement à l'intérieur de la tâche et mobilise telle ou telle procédure » (Bernier, 2002, p. 81). Cette citation présente la construction de connaissances pour un enfant à l'école, nous supposons que la même procédure est suivie pour apprenant de tout âge. L'apprenant ici est responsable de l'organisation des connaissances qu'il reçoit. Nous estimons que ceci peut s'effectuer à travers ses pratiques au moment de la réalisation des tâches.

Pour élaborer les pratiques des élèves nous nous inspirons du travail de Sabah et al (1999). C'est un travail commun entre deux équipes, l'une de psychologie/didactique (Grèce) et l'autre de linguistique/informatique (France), en mécanique élémentaire. Le but de la collaboration est de trouver un nouveau champ d'analyse du dialogue enseignant-élèves. Le centre d'intérêt général est la structure du dialogue et les rôles fonctionnels de l'enseignant dans l'interaction avec ces élèves. Ce travail présente deux types d'analyse du dialogue : une analyse structurale et une analyse fonctionnelle. L'analyse des déclarations de l'enseignant et des élèves est associée à des rôles fonctionnels :

- Rôle fonctionnel de la déclaration de l'enseignant (ibidem, p. 244) : questions de l'enseignant, intervention cognitive (explication, clarification, description) fournir des informations, gestion de l'interaction en classe.
- Rôle fonctionnel de la déclaration des élèves (ibidem, p. 256) : réponses aux questions de l'enseignant, rôles fonctionnels des élèves pour la gestion de l'interaction.

Dans le travail présenté ci-dessus, le rôle de l'élève se limite à une position de récepteur qui n'est pas producteur de ses connaissances propres. Cette position contredit ce qui a été présenté dans le découpage du savoir par rapport à des hypothèses d'apprentissage où l'élève est soumis à une double décomposition du savoir (les sciences physiques et les situations de la vie quotidienne). L'élève est invité à produire des connaissances en faisant les différentes mises en relation entre le monde de la théorie / modèle et le monde des objets / événements. L'étude des activités des élèves est limitée aux réponses données à l'enseignant et dans l'objectif de pointer les difficultés et les conceptions erronées ou dans l'objectif de déterminer la réussite des interventions des élèves. Les types d'activité des élèves se résument en trois volets :

- **Les activités fonctionnelles** (Sabah et al, 1999) : sont celles qui se déroulent pendant la résolution de la tâche par l'élève et qui ont comme fonction de faire avancer la séquence (ou la séance).
- **Les activités cognitives** : explication, interprétation, anticipation, explicitation. Ces types d'activités font intervenir les conceptions et les connaissances antérieures. Elles peuvent être limitées à deux aspects (la modélisation, les présentations sémiotiques).
- **Les activités de contrôle** (Rolet, 1999) : l'élève interprète, vérifie, ou revoit ces résultats (auto-évaluation).

Partie 2 : Problématique et méthodologie

Chapitre 6. Problématique

Au terme de l'exposé du cadre théorique tel qu'il vient d'être mené, nous pouvons reformuler notre question initiale, la préciser, et la détailler.

Nous étudions dans notre travail les interactions sociales en classe et leur répercussion sur la construction de la compréhension conceptuelle chez les élèves. Il s'agit d'analyser la nature du lien entre le discours de l'enseignant et l'évolution de la compréhension chez les élèves. Ce lien peut être envisagé sous deux aspects : les processus de modélisation que les enseignants et les élèves mettent en œuvre en classe de physique, et l'utilisation des différentes représentations sémiotiques. Nous présenterons deux hypothèses de travail liées à ces aspects :

- Les interactions enseignants-élèves qui favorisent la construction de la compréhension conceptuelle chez les élèves sont guidées par la mise en relation par l'enseignant ou par l'élève entre les différents niveaux de savoir (le monde de la théorie / modèle et le monde des objets / événements) et la mise en relation entre les différents représentations sémiotiques. Autrement dit, l'explicitation par l'enseignant de processus de modélisation et la mise en relation entre les registres à travers les

interactions sociales faciliteraient l'apprentissage des concepts par les élèves.

- La construction des connaissances serait favorisée par la possibilité d'échanger entre les élèves. Autrement dit, le travail coopératif favorise l'appropriation et l'intégration des connaissances.

L'étude des interactions pour l'enseignement de la physique pose deux problèmes : l'un lié à la variation des interlocuteurs (dans notre cas les élèves et l'enseignant) et aux types d'échanges menés entre ces interlocuteurs et l'autre lié à l'interpénétration de plusieurs paramètres dans la réalité des événements qui se déroulent dans la classe et permettent d'analyser le comportement langagier des élèves. Le discours de l'enseignant est l'un de ces paramètres. Mais il faut aussi prendre en compte les documents et supports divers dont disposent les élèves pour accomplir les tâches qui leur sont fixées ; les interactions qu'ils nouent entre eux (particulièrement importantes dans des situations impliquant un travail par paires, comme c'est souvent le cas en classe de physique) ; l'insertion dans une institution scolaire dont l'existence surdétermine en permanence le discours de l'enseignant par un effet de contrat didactique.

Nous détaillons dans ce qui suivra les caractéristiques de la situation d'enseignement suivant les choix épistémologiques pris en compte dans la construction de la séquence (le texte du modèle, les représentations sémiotiques) et les interactions entre enseignant-élèves et entre élève-élève (travail coopératif, réalisation en classe) et nous énonçons nos questions de recherches.

I Les caractéristiques de la situation d'enseignement

Comment la réalisation de la séquence d'enseignement traduit-elle la place prépondérante donnée aux processus de modélisation dans l'enseignement de la physique et met en avant les interactions enseignant-élèves et élève-élèves ?

1. Fournir un texte du modèle

En premier lieu, pourquoi fournir un texte du modèle ? Comment ce texte est introduit pour les élèves par l'enseignant ? Autrement dit est-ce que ce type de texte facilite le lien entre ce qui se passe au niveau des objets et des événements observables et leur interprétation à l'aide des théories et des modèles ?

En second lieu, du côté des élèves, une question essentielle qui se pose est celle de la prise en compte du processus de modélisation. Quels sont les effets que le texte du modèle a sur le comportement et les constructions de sens des élèves ? Nous nous limiterons à la production langagière en classe : quel effet a un tel texte sur la production langagière des élèves au cours de la séquence d'enseignement ? Un problème essentiel est l'éventuel conflit entre « concepts quotidiens » et « concepts scientifiques » (Vygotski, 1934). Ainsi, un point particulier intéressant est d'étudier un tel conflit à travers le langage. Il s'agit de savoir si l'écart entre deux types de langages « quotidien » et « scientifique » chez l'élève est réduit au profit d'un langage « scientifique ». Donc surtout de voir si l'intégration d'un « langage scientifique » (le langage du texte du modèle) a été effectuée

au cours de la réalisation de la séquence et quel était son effet sur la compréhension conceptuelle chez l'élève.

2. Diversifier les représentations sémiotiques pour l'élève

Il faudra se demander si la diversification des représentations sémiotiques (schématique, symbolique, graphique...) favorise la compréhension de certains concepts chez les élèves. Comment l'enseignant varie-t-il l'utilisation des représentations sémiotiques et les explicite-t-il pour les élèves ? Comment les élèves tiennent-ils compte de ces représentations et changent à leur tour de représentation pour la réalisation d'une même tâche au cours de la séquence d'enseignement ? Autrement dit est-ce que l'utilisation des représentations sémiotiques, spécifiquement le registre schématique, aide l'élève à prendre conscience de la démarche de modélisation ?

3. Coopération

Une question à poser ici : « est-ce que la coopération a été réalisée au cours de la séquence ? ». Il s'agit de voir comment le travail coopératif des deux élèves mène à une stabilisation et une construction des connaissances. Comment l'enseignant contrôle-t-il l'interaction et le travail des deux élèves ? Est-ce que ce travail coopératif permet aux élèves de prendre en charge la responsabilité de la construction de leurs connaissances ? Donc y a-t-il eu dévolution ?

4. Mise en scène du savoir à enseigner

Comme nous l'avons présenté dans le cadre théorique, plusieurs orientations peuvent être prises pour la mise en scène du savoir à enseigner. Nous nous intéressons à celle diversifiant les approches communicatives³ en classe de physique (Mortimer et Scott, 2003). La question principale est de voir comment les interactions en classe sont considérées par le chercheur comme porteuses d'apprentissage. Comment permettent-elles la construction et l'appropriation des connaissances à travers la médiation et la collaboration entre enseignant et élève et entre élèves ?

Dans cette mesure, nous nous demandons si la variation des approches communicatives en classe permet aux élèves l'appropriation de nouvelles connaissances. Donc il s'agit de voir quel type d'approche communicative facilite l'intégration du flux du discours⁴ ou encore la construction de la compréhension conceptuelle chez les élèves. Dans quelle mesure la variation des approches communicatives en classe peut-elle nous déterminer le profil d'enseignement suivi au cours de cette séquence d'enseignement ?

Nous préciserons dans les chapitres suivants les indicateurs (lexicaux, gestuels ou topographiques) que nous utilisons pour caractériser les approches communicatives suivies par l'enseignant et par les élèves pendant la situation d'enseignement.

³ Ces approches communicatives sont présentées dans le chapitre 3 du cadre théorique et dans le chapitre 7 de la méthodologie.

⁴ La définition du flux du discours est donnée dans le chapitre 3 du cadre théorique.

En conclusion

De ce qui vient d'être présenté nous remarquons que l'objectif à atteindre est l'étude des types d'interactions enseignant-élèves et élève-élève au moment de la réalisation d'une situation d'enseignement particulière basée sur la construction des modèles en sciences physiques pour prédire et interpréter le comportement des réalités expérimentales et ainsi pour faciliter à l'élève l'apprentissage de la physique. Nous essayons alors de confirmer ou infirmer le point de vue selon lequel la construction conceptuelle pour l'élève se fait avec sa capacité de mettre en relation deux niveaux de savoir (celui de la théorie et du modèle et celui des objets et des événements). La façon dont les élèves mettent en relation ces niveaux peut guider les chercheurs à voir les difficultés que les élèves ont rencontrées.

Un autre point que nous avons évoqué est de réduire l'écart entre les connaissances quotidiennes ou déjà enseignées et les connaissances enseignées ou à enseigner. Il s'agit de montrer que l'enseignement de certaines connaissances ne vient pas remplacer totalement ce qui existait dans la tête de l'élève.

II. Questions de recherche

Pour réduire le nombre de questions qui vient d'être présentées autour de la situation d'enseignement, nous formulons trois séries de questions de recherche :

- Comment caractériser les situations d'enseignement/apprentissage, du point de vue des interactions, dans le domaine de la formation des images en optique géométrique ?
- Comment les interactions en classe faciliteraient-elles l'intégration du processus de modélisation et l'utilisation des registres sémiotiques ?
- Comment les interactions favoriseraient-elle l'évolution de la compréhension conceptuelle chez les élèves pendant la réalisation des tâches ?

Chapitre 7. Méthodologie

Ce chapitre s'organise suivant trois parties : la méthodologie de prise des données, la méthodologie de traitement des données et la méthodologie d'analyse des données.

I. Méthodologie de collecte des données

1. Recueil de données en classe

Notre recherche est une étude de cas dont l'approche est qualitative. Nous avons effectué

un enregistrement vidéo en classe réelle, en utilisant deux caméras. Les élèves ont été filmés avec une caméra enregistrant leurs actions (en plan fixe), l'autre caméra étant destinée à enregistrer principalement les actes de l'enseignant (caméra mobile). Puisque nous nous intéressons aux interactions suscitées dans la classe, l'enregistrement de l'activité de l'enseignant et des événements publics de la classe est nécessaire. Mais nous voulons étudier aussi quelles répercussions ces événements et ces interactions ont sur l'activité cognitive des élèves ; voilà pourquoi l'enregistrement d'une paire d'élèves est nécessaire.

La répartition des tâches au cours des séances de la séquence d'enseignement est la suivante :

Séance	Type de séance	Durée (min)	Tâches traitées	Date
1	Cours 1	00 : 22 : 35	tâche 0	05/03/02
2	TP 1	01 : 43 : 42	tâches 0 (suite), 1, 2, 3	06/03/02
3	Cours 2	00 : 35 : 52	tâche exercice associé à la tâche 1 et 2, tâche 3 (suite)	07-03-02
4	TP 2	01 : 42 : 26	tâches 4, 5, 6, 7	13/03/02
5	Cours 3 (non filmé)	00 : 01 : 30	tâche 3 (institutionnalisation), tâche 4 (institutionnalisation)	14/03/02
6	Cours 4	00 : 49 : 36	tâche exercice associé à la tâche 3, tâche 4 (institutionnalisation suite), tâche 5 (institutionnalisation), tâche 6 (institutionnalisation)	19/03/02
7	TP 3	01 : 48 : 12	tâche exercice associé à la tâche 3 (suite), tâche 6 (institutionnalisation suite), tâche 7 (institutionnalisation suite), tâche 7 Bis complémentaire	20/03/02
8	Cours 5	01 : 10 : 19	tâche 7Bis complémentaire (suite), tâches 8, 9	21/03/02
9	Cours 6	00 : 44 : 19	tâche 10, tâche exercice associé à la tâche 8,9 et 10	26/03/02
10	TP4	01 : 41 : 42	tâches 11, 12, 13	27/03/02
11	Cours 7	01 : 18 : 49	tâche 12 (suite), tâche exercice associé à la tâche 13, tâche 14	28/03/02

2. Dépouillement de données vidéo

Vu la nature de notre corpus (données vidéo enregistrées par deux caméras numériques), nous avons filmé l'enseignant avec une caméra mobile en utilisant seulement le micro de la caméra qui nous a permis d'entendre les paroles de l'enseignant. La dyade d'élèves était filmée par une caméra fixe attachée avec deux micro-cravattes (sans fils ou avec fils). Un enregistrement peut durer de 90mn à 2h selon les séances (travaux pratiques ou cours en classe entière). Nous avons récupéré des cassettes mini DV numériques non exploitables directement sur ordinateur c'est pour cela que nous avons eu recours à des

numérisations et des compressions de ces bandes.

Le montage de numérisation et de compression comporte un ordinateur de haute performance, un disque dur externe, un câble fire-wire et la caméra, ainsi qu'un logiciel de numérisation qui est i-movie (sur macintosh). Le câble sert pour la connexion entre la caméra et l'ordinateur. Une fois le film compressé, il est transféré sur un CD-ROM afin d'être exploité sur un ordinateur. La durée de la numérisation est la même que celle de la bande vidéo et la durée de compression est à peu près le double de la durée réelle par exemple pour une mini DV de 2h la numérisation prend 2h et la compression prend 4 h ou plus.

La qualité du film compressé est moyenne mais pour un travail très fin de numérisation il y a des paramètres très précis à suivre au moment de la compression qui donneront une image et un son à peu près synchrones et de bonne qualité avec une taille de fichier très importante : par exemple pour deux heures d'enregistrement avec des paramètres sophistiqués on risque de ne pas pouvoir mettre tout le film compressé sur un CD-ROM.

3. Organisation générale des prises et de traitement de données

Nous avons pris des données vidéo qui ont servi comme support pour l'analyse. Nous avons aussi collecté les productions écrites d'élèves lors des TP. Nous avons effectué nos prises de données avec un même enseignant dans une classe de Première S (en optique) dans un lycée de l'agglomération lyonnaise. L'enseignant en question a participé au groupe collaboratif de chercheurs et d'enseignant pour élaborer une séquence d'enseignement selon le programme de Première scientifique et il a l'habitude de travailler avec ces types de séquences construites.

a. Année universitaire 2001-2002

Au cours de l'année universitaire 2001-2002, nous avons effectué un enregistrement vidéo de 17 heures (4 séances de TP et 8 séances de cours) réalisé en février -mars 2002 en Première S. La durée totale de l'enregistrement est de 34h pour l'enseignant et pour la dyade d'élèves. Le nombre total des élèves dans cette classe est de 29 élèves. Pour les séances de travaux pratiques le nombre pour chaque groupe est de 14 et 15 élèves. La disposition spatiale des deux élèves filmés a changé pendant la séance de TP ou la séance du cours et suivant la salle de classe où se déroule l'enseignement.

b. Année universitaire 2002-2003

Au cours de l'année universitaire 2002-2003 nous avons fait le traitement des données et nous avons établi la méthodologie d'analyse pour les données traitées. Ce que nous présenterons dans les deux derniers paragraphes.

c. Année universitaire 2003-2004

Au cours de l'année universitaire 2003-2004 nous avons effectué l'analyse des données traitées et nous avons commencé à recueillir les résultats et les interprétations de ce qui

était analysé.

Tout au long du traitement et de l'analyse des données nous avons fait l'aller retour vers les bandes vidéo pour déterminer une action langagière ou non langagière, voir l'organisation de la classe et /ou prendre d'autres types d'informations.

II. Méthodologie de traitement des données

Nous avons élaboré deux traitements des données à partir des données vidéo : le texte de périodisation, les transcriptions.

1 Production de textes de périodisation

Pour exploiter les heures d'enregistrement vidéo nous avons procédé à un découpage qui donne du sens aux événements. Ce découpage était fait à partir de l'écoute et du visionnement direct des bandes vidéo après synchronisation (bande enseignant et bande élèves). Nous avons distingué plusieurs niveaux de découpage : Les tâches, les phases, les épisodes et les étapes.

Nous avons déterminé dans la séquence d'enseignement de Première S 15 activités que nous appelons dans le découpage « tâches ». Nous faisons la distinction entre l'utilisation du mot « activité » et « tâche ». Dans le texte de la séquence d'enseignement le mot activité est utilisé pour des raisons de cohérence avec le programme (le mot activité est utilisé dans le programme officiel) et le fonctionnement habituel des enseignants qui utilise ce mot. Dans le découpage de la séquence le mot « activité » est remplacé par le mot « tâche » pour des raisons théoriques par référence à la théorie de l'activité, et ce pour éliminer toute confusion de l'utilisation des deux significations.

Une tâche est définie par rapport au contenu d'enseignement qu'elle met en jeu. Elle est prévue, écrite par des chercheurs et un groupe d'enseignants avant la réalisation de la séance : le passage d'une tâche à une autre est assuré par l'enseignant. *Une tâche* peut être réalisée dans une même séance ou durant plusieurs séances dans des buts bien précis ou faute de temps. Elle peut être divisée en plusieurs « phases ». Une *phase* peut être une expérience dans une même tâche ou un moment de réalisation de la tâche. Le passage d'une phase à une autre est toujours contrôlé par l'enseignant. Une *phase* qui occupe une durée assez importante, peut être constituée de plusieurs parties appelées *épisodes*, dont l'homogénéité tient à ce que chacun a un but bien précis dans la progression de la séance d'enseignement. Les épisodes peuvent ne pas être définis avant la séance, car en cours de la séance la structuration des épisodes peut varier en fonction du retour que la classe fournit à l'enseignant. Le passage d'un épisode à un autre est fait par l'enseignant seul ou en tenant compte des réactions du groupe d'élèves.

Un épisode donné peut lui-même être subdivisé en étapes qui traduisent mieux le fonctionnement des élèves observés. A l'intérieur d'une *étape*, l'activité des élèves est assez homogène, ils ont une certaine initiative pour changer de fonctionnement. Pour bâtir l'activité de l'élève nous ne pouvons pas nous appuyer sur des clôtures langagières car les élèves ne verbalisent pratiquement pas leur passage d'une étape à une autre. Nous prenons comme indicateurs pour déterminer le passage d'une étape à une autre le

fait que les élèves soient forcés de changer d'activité par l'intervention de l'enseignant (changement brusque) ou sinon un changement de locuteur ou d'artefact.

La succession des tâches traduit la progression du savoir mis en jeu dans la séquence. La succession des phases, et des épisodes à l'intérieur d'une même phase reflète la façon dont l'enseignant réalise son enseignement. La succession des étapes dans un même épisode traduit la façon dont l'élève traite en temps réel ce qu'on lui demande de faire.

Nous appelons ce descriptif écrit « texte de périodisation », puisqu'il traduit une décomposition temporelle du fonctionnement de la classe. Le décalage entre la bande professeur et la bande élève est marqué en gras au début de tableau dans la première cellule de la colonne professeur ou élève. La présentation de ces textes de périodisation est la suivante :

Périodisation : séance x

Date : jj/mm/aaaa

Durée : hh : mm : ss (par rapport à la bande vidéo professeur)

Lycée : X

Professeur	Elèves	Début

Ces textes de périodisation vont nous permettre de délimiter les étapes pertinentes pour la transcription et l'analyse.

2. Transcription

Le découpage temporel en « textes de périodisation » nous a permis de choisir des moments que nous jugions intéressants pour la transcription ⁵. Nous avons transcrit le dialogue entre l'enseignant et les élèves présentés sous forme d'un tableau :

Numéro du tour de parole	Temps (min)	Locuteur	Récepteur(s)	Dialogues	Actions non langagières
x	0	00	A	M	
x	
x	n	21	Pr	NI	

1^{ère} colonne : numéro de la tâche x et numéro du tour de parole (de 0 à n), un numéro pour chaque changement de locuteur

2^{ème} colonne : temps (en minutes) : temps indiqué au minimum toutes les minutes,

⁵ Nous n'avons pas transcrit : la tâche 3 suite à un problème technique, la totalité de la tâche complémentaire 7 bis car l'un du binôme filmé était absent, et l'expérience série de mesure pour la tâche 4 car la salle était noire et suite au déplacement des deux élèves il y a eu un problème de son.

00 :00 : 00 pour le tour de parole 0.

3^{ème} colonne : Locuteur : chaque locuteur a un nom ou un acronyme par exemple A, M etc. Si on ne sait pas qui est le locuteur de ce tour de parole, on indique NI dans cette colonne.

4^{ème} colonne : Récepteur(s) : Les notations sont identiques à celles utilisées dans la colonne précédente. Quand le locuteur s'adresse à un ou plusieurs récepteurs en même temps, on a défini des notations (Cl pour classe entière, Els pour plusieurs élèves, El pour un seul élève, Ob pour observateur, Pr pour l'enseignant, A pour l'un des élèves filmés, M pour l'autre).

5^{ème} colonne : Dialogues (transcriptions).

6^{ème} colonne : Actions non langagières : les paroles prononcées au moment où le geste (voir la position en classe) est effectué sont indiquées en gras.

On pourra éventuellement avoir des colonnes supplémentaires pour des compléments d'analyse.

La transcription nous permettra de faire l'analyse qualitative des interactions enseignant-élèves et la construction de la compréhension des concepts chez les deux élèves enregistrés.

III Méthodologie d'analyse des données

Nous avons élaboré deux niveaux d'interprétation des données : l'analyse des tâches transcrites et les scripts.

1. Analyse des tâches transcrites

Nous avons adopté la même méthodologie d'analyse développée par Mortimer et Scott (2003) (approche socioculturelle d'analyse) présentée dans le chapitre 3 avec quelques modifications qui seront précisées dans ce qui suit. Nous présenterons les aspects des analyses puis un exemple de l'analyse proprement dite.

a. Méthodologie d'analyse des tâches transcrites

Cette méthodologie d'analyse est basée sur les six aspects que nous avons présentés dans le chapitre 3 du cadre théorique et qui déterminent l'interaction enseignant-élèves et élève-élève :

- - Organisation de la classe
- - Les objectifs d'enseignement
- - Le contenu de l'enseignement
- - L'approche communicative
- - Les modèles du discours
- - Les fonctions du discours des interlocuteurs

En ce qui concerne l'aspect déterminant l'approche communicative, le caractère interactif ne peut s'apprécier parfois qu'en faisant un retour à la vidéo et non seulement sur la transcription. Comme par exemple le cas de l'étape 1.1.2.3 (1/47-57), le caractère interactif de l'approche communicative est déterminé à travers le comportement de l'enseignant (dans la colonne action non langagière) et sur la vidéo, donc la transcription à elle seule n'a pas pu nous renseigner sur ce caractère.

Au moment de l'application des six aspects présentés ci-dessus, nous avons utilisé le texte de périodisation comme support pour le découpage de l'analyse. Nous avons rencontré le problème d'étape ou épisode très courts (qui nous n'informent pas sur l'homogénéité de ce qui se passe réellement), c'est pourquoi nous avons regroupé parfois plusieurs étapes ou épisodes afin de garder la signification et l'homogénéité des activités des élèves et de la classe ce que nous appelons « unités de sens »⁶. Nous avons déterminé les six aspects pour un épisode, ou pour une étape selon les unités de sens. Nous avons présenté la partie de transcription correspondante en une seule étape ou en plusieurs étapes ou pour un épisode puis nous avons décrit le déroulement des échanges en explicitant le contenu du savoir et les début de stabilisation de connaissances pour les élèves ; puis nous avons énuméré les six aspects de l'analyse socioculturelle de l'interaction. Nous donnerons à titre d'exemple une étape de la tâche 6. La totalité de l'analyse des tâches transcrites est en annexe volume II.

Tâche 6 : Lumière passant par la lentille

Episode 6.2.1 (6/44-52)

Etape 6.1.1.2 (6/42-45)

Etape 6.2.1.1 (6/46-48)

N° d'ordre	T (mn)	Loc	Recp (s)	Dialogue	Actions non langagières	
6			Pr	CI	vous êtes tous à l'expérience deux (?)	
6			A	Pr	ouais / la théorie du cerveau	
6	01 : 21 : 24	Pr	CI	regardez / je dis ce que votre camarade a remarqué avec beaucoup de finesse je reprends l'expérience précédente mais il y a la lentille cette fois dans la première on a enlevé la lentille comme on l'a enlevée c'est qu'elle y était au départ donc je reprends cette situation là / je mets un cache sans petit trou sans rien □	Pr prend à la main le cache, la lentille et le support Pr montre le cache	
6		M	A		donc on verra la moitié de la –la moitié	
6		Pr	CI	c'est pas cette partie là / et puis je- je cache une partie de la lentille la moitié le tiers les deux tiers (inaud.)	Pr cache une partie de la lentille	

⁶ Une unité de sens groupe les interventions (actions langagières) de deux ou plusieurs étapes (voire épisodes) ce qui nous facilitera l'analyse et permettra d'avoir une interprétation qui décrit ce qui se passe réellement de point de vue du savoir pour la classe ou les élèves.

L'échange se fait entre l'enseignant et le groupe classe avec une intervention de Mathieu qui commence les prévisions et estime que quand il cache la lentille il verra la moitié (6/47). L'enseignant intervient par feedback suite à l'incompréhension de la consigne par Mathieu et gère le collectif en expliquant la différence entre l'expérience de la lentille enlevée et l'expérience de la lentille cachée en ajoutant quelques informations supplémentaires (6/46-48)

- **Organisation de la classe** : professeur / groupe classe, élève / élève
- **L'objectif de l'enseignement** : développement du déroulement de la tâche 6
- **Le contenu d'enseignement** : L'enseignant demande aux élèves de réfléchir à la tâche 6
- **L'approche communicative** : non interactive / discours faisant autorité : l'enseignant s'adresse à toute la classe et explique l'expérience de la lentille cachée, interactive / dialogique pour les élèves
- **Le modèle de l'interaction** : gestion du collectif
- **La fonction du discours des interlocuteurs** : maintenir la narration par rapport à toute la tâche (MNT), contrôler la compréhension de toute la classe (CCC).

2. Scripts

Pour décrire les unités de sens qui regroupent une étape ou un épisode et pour réduire le nombre énorme d'informations que nous avons déterminées dans le texte de périodisation et dans le texte de l'analyse des tâches transcrites, nous avons élaboré un troisième niveau d'analyse des données à savoir les scripts. Nous présentons dans ce qui suit un modèle des scripts et le contenu de chaque colonne :

1^{ère} colonne : temps de début de l'unité de sens en minute.

2^{ème} colonne : organisation de la classe soit Pr / Cl, Pr / El ou El / El.

3^{ème} colonne : les numéros extrêmes des interventions des locuteurs.

4^{ème} colonne : la ressource utilisée par l'enseignant ou par l'élève tel que : le schéma, le tableau, la feuille de consigne, le matériel, l'expérience, le discours, etc... Nous admettons que le discours existe toujours et pour des raisons d'encombrement dans le tableau nous ne le mettons que s'il n'y a que lui comme ressource utilisée. Nous faisons la différence entre matériel et expérience car il y a des moments de prévision ou les élèves utilisent le matériel sans faire l'expérience.

5^{ème} colonne : description du déroulement.

6^{ème} colonne : l'approche communicative entre l'enseignant et les élèves ou entre les élèves : I/D, NI/D, I/A, NI/A.

7^{ème} colonne : les moments de déroulement de la séquence : introduction, prévision, réalisation et institutionnalisation.

8^{ème} colonne : nous mettons dans cette colonne les indices qui permettront de

déterminer la stabilisation de connaissances ou la construction conceptuelle chez les élèves, ainsi que l'appropriation du processus de modélisation et des représentations sémiotiques.

Pour la 7^{ème} colonne nous donnons ci-dessous les critères de choix de chaque moment. Nous avons déterminé quatre moments clés dans l'évolution et le déroulement de la séquence d'enseignement : l'introduction, la prévision, la réalisation et l'institutionnalisation.

- Le moment de l'introduction consiste à introduire la totalité de la tâche une phase ou encore un exercice.
- Le moment de prévision consiste à prévoir le déroulement des expériences par les élèves suite à la demande de l'enseignant sans faire l'expérience proprement dite.
- Le moment de réalisation consiste à réaliser les expériences d'une même tâche ou à faire un exercice ou de façon plus particulière à commenter le texte du modèle introduit au cours de la tâche 0.
- Le moment de l'institutionnalisation consiste à faire le bilan de la tâche ou de la phase ou d'une expérience, ou à corriger un exercice ou encore à introduire des connaissances comme la relation de conjugaison, le grandissement, la vergence...

Au moment de l'élaboration des scripts nous avons associé plusieurs étapes parce que nous avons trouvé que ce regroupement permet de garder un sens au déroulement réel et ainsi qu'une continuité des connaissances introduites. Nous avons pu élaborer un dénombrement des approches communicatives au cours de la réalisation de la séquence pour chaque unité de sens. C'est ce qui nous a permis de réaliser notre analyse dans le chapitre suivant.

Dans une unité de sens une des approches communicatives peut être prédominante, c'est pourquoi nous avons classé l'unité dans cette approche. C'est le cas de l'unité de sens suivante :

Épisode 5.1.7 (5/210-226) : L'échange entre l'enseignant et un élève est non interactif / discours faisant autorité car les interventions des élèves sont extrêmement limitées et ponctuelles. Les questions de l'enseignant sont assez largement rhétoriques et ne demandent qu'une réponse possible (5/210-223). C'est de façon dominante non-interactive. Par contre l'échange de 215 à 223 est dialogique. Bien que l'élève parle d'un point de vue scientifique, il apporte quelque chose de nouveau car il élabore une anticipation sur la tâche 6 à partir de ce que l'enseignant dit sur la tâche 5. Par ailleurs la partie interactive/dialogique dont on vient de parler est complètement enchâssée dans une plus grande unité de sens, qui est non interactive et discours faisant autorité (l'échange se trouve dans l'annexe volume 2 p. 195).

Nous précisons que les scripts établis sont différents des textes de périodisation. Ils sont produits à partir d'une combinaison entre les textes de périodisation et les analyses des tâches transcrites. Ils ne donnent pas le détail de ce qui se passe réellement en classe mais donnent quelques observations que nous jugerons intéressantes pour l'analyse et qui nous permettra d'avoir une vue globale de la séquence. Le découpage

des textes de périodisation était basé sur la cohérence de l'activité de l'enseignant ou l'activité des élèves en tenant compte des interactions. Le découpage des scripts est fait par rapport à la cohérence du savoir et produit des unités de sens plus globales que celles produites pour les textes de périodisation.

En conclusion

Nous avons élaboré trois niveaux de traitement et d'analyse des données : le texte de périodisation, l'analyse des tâches transcrites et les scripts que nous résumons dans le graphe suivant :

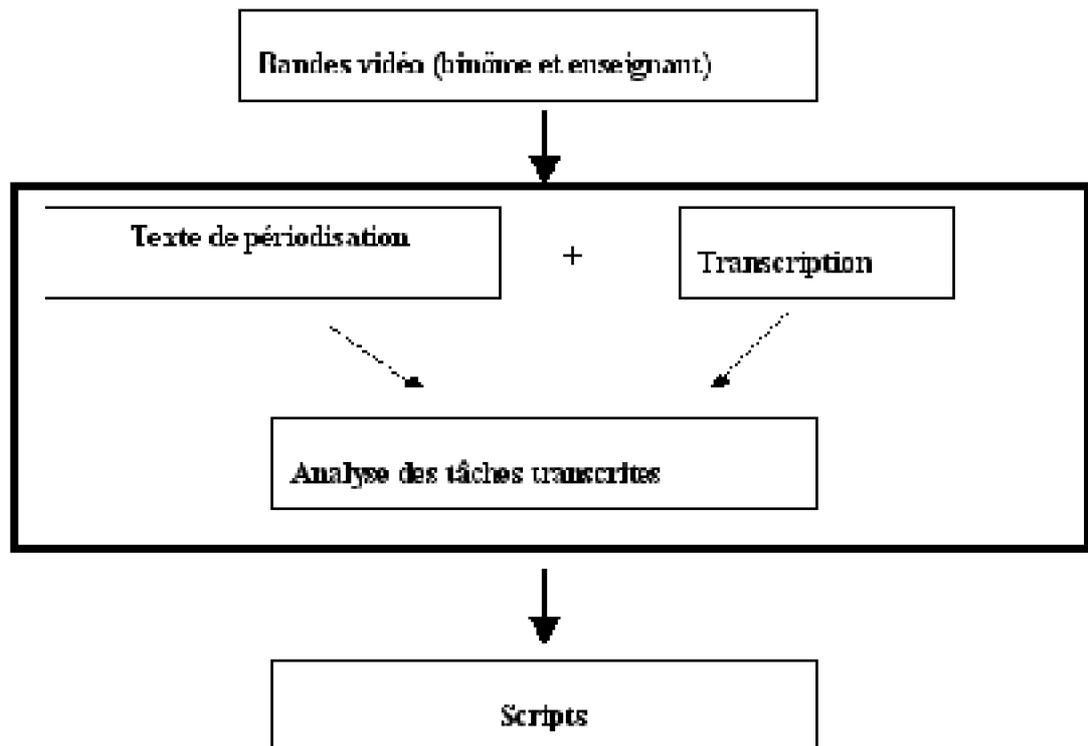


Diagramme de méthodologie de traitement et d'analyse des données

Partie 3 : Analyse des résultats

Chapitre 8 : Analyse

Nous nous intéressons dans le présent chapitre à nos questions de recherche avec un outil, l'analyse qualitative à partir des textes de périodisation et des transcriptions et des scripts, qui fournira des exemples plus riches du déroulement des processus de modélisation et l'utilisation des registres sémiotiques et leur relation avec les approches communicatives. Il s'agit d'une recherche qualitative (une étude de cas) qui vise à la compréhension et à l'interprétation de phénomènes complexes d'enseignement et d'apprentissage.

Ce chapitre a pour but d'examiner la construction de la compréhension conceptuelle remplie à travers les interactions en classe et selon la modélisation et l'utilisation des registres sémiotiques. Il s'agit de voir si les connaissances que les élèves ont construites de l'image en optique, se sont au cours de la séquence d'enseignement rapprochées des concepts correspondants de la physique enseignée.

Nous présenterons dans ce chapitre comment l'intégration du processus de modélisation et l'utilisation des registres sémiotiques est réalisée en classe, nous montrerons les caractéristiques des situations d'enseignement/apprentissage, du point de vue des interactions et d'utilisation des approches communicatives en classe et nous

préciserons comment les interactions ont favorisé l'évolution de la compréhension conceptuelle chez les élèves pendant la réalisation des tâches.

I. Discours et processus de modélisation

L'originalité essentielle de la séquence d'enseignement qui a été réalisée est qu'elle est basée sur un point de vue de modélisation faisant la différence et le lien entre deux mondes pour interpréter la physique enseignée : le monde de la théorie / modèle et le monde des objets / événements. Nous montrerons dans ce qui suivra la manière dont l'enseignant présente ce point de vue pour les élèves et la façon dont les élèves ont pris en charge ce processus de modélisation. Nous présenterons aussi l'effet du discours de modélisation véhiculé par l'enseignant sur le comportement langagier des élèves durant la réalisation de séquence d'enseignement d'optique. Nous nous intéresserons plus particulièrement à l'utilisation du texte du modèle⁷.

1. Utilisation du texte du modèle

Dans cette partie l'objectif est de voir la façon dont l'enseignant et les élèves utilisent le texte du modèle au niveau de la verbalisation. Nous avons déterminé que ce texte du modèle joue trois fonctions pour l'élève et pour l'enseignant : la fonction de prédiction, la fonction d'interprétation et la fonction d'explication. Nous montrons dans ce qui suivra si ces trois fonctions ont été mises en œuvre et comment.

a. Utilisation par l'enseignant

Nous déterminons dans ce paragraphe l'utilisation du texte du modèle par l'enseignant en nous référant aux analyses des tâches transcrites, aux textes de périodisation et aux scripts. L'enseignant introduit le texte du modèle qui comporte plusieurs alinéas. En commentant ce texte, il fait la correspondance entre les alinéas du modèle et l'expérience réalisée en classe ou l'inverse entre l'expérience et les alinéas du modèle. Il demande explicitement au cours de la réalisation des tâches de faire le lien avec l'alinéa du modèle, il demande de faire un schéma et une phrase. Il utilise les alinéas du modèle pour faire le bilan des expériences.

L'enseignant introduit les six premiers alinéas du texte du modèle qui serviront comme références aux élèves pour prédire et interpréter les expériences, au cours de la réalisation de la tâche 0 « *Distribution et commentaire du texte du modèle* ». Il complète l'introduction du texte du modèle au fur et à mesure de l'évolution de la séquence d'enseignement. L'institutionnalisation de la tâche 1 « *visibilité d'un objet étendu* » est faite en introduisant les alinéas 7 et 8 du modèle. L'introduction des alinéas 9 et 10 a eu lieu au moment de l'institutionnalisation de la tâche 2 « *vision de la lumière* ». Le modèle des lentilles minces convergentes est introduit au début de la partie 3 « *l'image d'un objet à travers une lentille convergente* », précisément pendant la tâche 8 au moment de l'institutionnalisation. Ceci ne contredit pas le fait que l'enseignant utilise les alinéas du

⁷ Le contenu du texte du modèle est donné dans le volume I de l'annexe.

modèle au cours de la séquence d'enseignement pour expliquer, interpréter ou évaluer.

Nous prenons comme premier exemple à partir de l'analyse a posteriori des tâches transcrites un moment d'introduction et de commentaire du modèle. Pendant la première séance au cours de la tâche 0 « *Distribution et commentaire du texte du modèle* », l'enseignant expose les alinéas du modèle. Cette introduction permet à chaque élève de disposer de divers éléments de connaissances nécessaires pour la suite. Pour aider les élèves à donner du sens aux alinéas du modèle l'enseignant fait plusieurs expériences. Le commentaire se fait par le choix d'un concept « *principal* » de l'alinéa et son explication en demandant aux élèves s'ils connaissent ces mots et puis de faire le lien de ce concept avec l'expérience ou en utilisant un registre schématique.

En ce qui concerne le moment de l'introduction du texte du modèle, l'enseignant présente de nouvelles connaissances qui n'ont pas encore de signification pour les élèves. Son rôle est alors de guider les élèves à construire cette signification et pour faire le lien entre l'expérience et le texte du modèle, il suit une approche communicative interactive / discours faisant autorité où il procède par question-réponse et oriente les élèves à introduire et verbaliser les mots du modèle.

L'enseignant aide les élèves à donner du sens aux alinéas du modèle. Il fait fonctionner un laser dans l'air et demande aux élèves de décrire la situation en utilisant les termes de l'alinéa 1 (voir volume I des annexes).

Episode 0.3.1 (0/51-68)

Interactions enseignant-élèves et situations d'enseignement-apprentissage en optique géométrique

N° d'ordre	T (mn)	Loc	Recp (s)	Dialogue	Action non langagière
0		NI	CI	la lumière se propage d'une source / de lumière à un récepteur à travers un milieu transparent /elle véhicule de l'énergie de la source au récepteur	
0		Pr	CI	est-ce que c'est clair (?)	
0		NI	Pr	non [
0	00 : 13	Pr	CI	[alors regardez / je prends un exemple de- de lampe particulière qui est / un LASER / j'aurais pu faire ça avec une lampe du plafond / le LASER / je projette la lumière qu'émet le LASER sur le tableau / d'accord (?) dans cette expérience (2s) dans cette expérience très-très simple (inaud.) dis-moi (?)	Pr montre le LASER sur sa paillasse
0		NI	Pr	(inaud.)	
0		Pr	NI	reprends l'alinéa numéro 1 (2s) reprends l'alinéa numéro 1 et tu me dis que ce LASER / on va l'appeler de quel nom avec le modèle (?)	
0		NI	Pr	(inaud.)	
0		Pr	CI	non / source de lumière (.) ensuite (2s) quel est le-l'autre élément de l' expérience qui-int-qui est cité dans-dans l'alinéa numéro un (?)=	Pr montre le montage de l'expérience
0		NI	Pr	le récepteur	
0		Pr	CI	récepteur / le récepteur c'est quoi ici (?)	Pr montre le tableau
0		CI	Pr	le tab-le tableau	
0		Pr	CI	le tableau (.) / également votre œil pa'c'que si vous voyez de la lumière c'est qu'il y en a aussi qui vient dans votre œil / et il reste un élément qu'on n'a pas cité / et qui est cité dans le-l'alinéa (?) (inaud.) dis-moi (inaud.)	
0		NI	Pr	de l'énergie (inaud.)	
0		Pr	NI	oui / on verra ça plus tard / mais d'abord[
0		NI	Pr	milieu transparent	
0		Pr	CI	milieu transparent / et ici le milieu transparent c'est (?)[
0		M	Pr	[l'air	
0	00 : 14	Pr	CI	l'air / pas de problème (?) donc / cette situation qui est là sous vos yeux / soit on la modélise de point de vue énergétique (inaud.) le LASER aurait quelle fonction d'un point de vue énergétique (?)	Pr montre le LASER

L'interaction entre l'enseignant et la classe entière se fait suivant une méthode interactive pour l'introduction de certains mots scientifiques. L'enseignant demande à un élève de lire et de relire l'alinéa du modèle (0/51/56). Il présente une expérience LASER

pour donner signification au modèle introduit (0/54). Il fait ensuite le lien entre l'expérience (le monde des objets/événements) et l'alinéa 1 du modèle (le monde de la théorie / modèle) (0/51-54). Il fait la correspondance entre certains mots du modèle et les objets constituant l'expérience (0/56-67). Il attribue donc à « *source de lumière / l'objet LASER* » (0/56/58), « *le récepteur / l'objet tableau ou l'œil* » (0/60-61-62) et « *milieu transparent / l'objet air* » (0/ 66-67).

Pour l'épisode 0.3.2 (0/79-105), l'enseignant demande à un élève de lire le texte du modèle relatif à la notion de la propagation rectiligne de la lumière (0/79) puis il suppose que le mot « *homogène* » est connu par les élèves (0/80), il leur demande s'ils connaissent le mot « *isotrope* » (0/82) et donne la définition en faisant référence au LASER (0/84) puis reprend la même procédure pour le concept de « *rayon de lumière* ».

Un deuxième exemple que nous prenons est un moment d'institutionnalisation au cours de la tâche 8 « *modélisation d'une lentille mince convergente* » où l'enseignant demande à un élève de lire le modèle des lentilles minces et commente en même temps cette lecture en montrant le transparent du schéma correspondant et en demandant la position de l'image « *à l'infini sur l'axe* » et les caractéristiques du faisceau émergent « *parallèle à l'axe principal de la lentille* » (8/476-503).

Nous retenons qu'en introduisant les alinéas du modèle l'enseignant fait le lien entre les deux niveaux de savoir le monde des objets / événements et le monde de la théorie modèle, il habitue les élève à donner une signification à un niveau théorique en faisant la correspondance avec les différents éléments de l'expérience.

b. Utilisation par les deux élèves

Pour les deux élèves l'utilisation du texte du modèle se fait en lisant les alinéas à la suite de la demande de l'enseignant au moment de l'introduction du modèle. Ils utilisent les mots du modèle au moment des prévisions à la suite de la demande de l'enseignant ou pour répondre aux questions d'explication après réalisation de l'expérience. Au moment de la réalisation de l'expérience ou de l'explication de résultat les deux élèves utilisent les mots du modèle spontanément ou selon la demande de l'enseignant ; par exemple pour les tâches 3-4-5-6 le recours au texte du modèle n'est pas demandé dans les questions des travaux pratiques dans la feuille élève, or on observe un recours spontané de la part les élèves. Au moment de l'institutionnalisation les élèves utilisent les mots du modèle en répondant aux questions de l'enseignant ou en complétant une verbalisation de l'enseignant.

Nous prenons comme premier exemple un moment de prévisions au cours de la tâche 1 « *vision d'un objet* ». Alexandre commence l'appropriation du langage du texte du modèle de la propagation rectiligne de la lumière, il discute avec Mathieu et insiste sur le fait que la lumière se propage en ligne droite (1/80-84). Mathieu avance l'idée que la diode n'est pas assez forte pour être vue (1/89). Alexandre dit que le support (1/90-94) n'absorbe pas la lumière et il la renvoie. Mathieu dit que le support envoie un peu de lumière (1/95) et Alexandre dit que c'est une lueur (1/96). En interagissant les deux élèves échangent des idées autour de la propriété du support et commencent à les construire à partir de leurs connaissances antérieures (d'où l'utilisation des mots du langage quotidien)

et leurs connaissances enseignées antérieures ou du texte du modèle.

Le deuxième exemple que nous présentons est un moment d'institutionnalisation où les élèves répondent à la question de l'enseignant quels sont les alinéas du modèle qui expliquent le résultat de l'expérience observation d'une source de lumière étendue (1/462). Mathieu dit « *la propagation rectiligne* » (1/463) (alinéa quatre) et Alexandre dit que « *la lumière vient toujours en ligne droite* » (1/472) et ajoute « *le milieu* » et l'alinéa un (1/474-476). En répondant à l'enseignant, les deux élèves donnent les numéros des alinéas du modèle tel qu'ils étaient présentés au début (de 1 à 6) mais ils ne font pas le choix du ou des alinéas les plus pertinents pour expliquer l'expérience car ils n'ont pas encore les connaissances suffisantes pour faire ce choix.

La construction de la séquence fait que dans les feuilles élèves le recours aux alinéas du modèle est demandé dans les deux premières tâches seulement et pas dans les autres tâches. Au moment de la réalisation des tâches, les élèves répondent à la question dans la feuille des élèves de type « *Précisez les énoncés du modèle auquel vous vous référez plus particulièrement pour cette situation* » pour expliquer les prévisions ou le résultat de l'expérience. A partir de la tâche trois le recours aux alinéas du modèle par les élèves se fait en répondant à la demande de l'enseignant ou spontanément.

2. Approche communicative et utilisation des mots du modèle

Dans le présent paragraphe nous déterminons la relation entre l'approche communicative suivie par l'enseignant et l'intégration des mots du modèle par les deux élèves.

a. Description générale

Nous avons construit un tableau récapitulatif des approches communicatives au cours de chaque tâche et au cours de la totalité de la séquence d'enseignement. Nous avons compté le nombre des approches communicatives pour chaque tâche à partir des scripts ainsi que le nombre d'unités de sens. Nous avons déterminé aussi le temps, l'organisation de la classe et l'observation à partir de texte d'analyse des tâches transcrites et de texte de périodisation. Ce tableau contient cinq colonnes :

- La première colonne présente le numéro de la tâche de 0 à 14
- La deuxième colonne comporte quatre colonnes présentant les différentes approches communicatives
- La troisième colonne présente la somme des approches communicatives pour une même tâche
- La quatrième colonne présente le nombre d'unités de sens (défini dans le chapitre 7) dans une même tâche
- La cinquième colonne « autres » comporte les unités de sens que nous n'avons pas dénombré dans le comptage dans différents moments. C'est le cas par exemple de la gestion pure de la classe (moments d'introduction) ou les instants où les élèves parlent d'autre chose, ou les épisodes qui sont trop courts pour que leur caractérisation apporte quelque chose, ou les épisodes où le sens est

incompréhensible par suite de l'usage trop fréquent de déictiques ou de schémas.

- L'avant dernière ligne du tableau présente le total de toutes les lignes d'une même colonne
- La dernière ligne du tableau présente le pourcentage de chaque approche communicative par rapport au nombre total.

Nous précisons qu'une ligne est remplie en une seule approche. Une partie des données n'est pas disponible pour la tâche 3 (les deux types de lentilles) à cause d'un incident technique.

Tableau 1 : Les approches communicatives au cours de la séquence d'enseignement

N°tâche	Approche communicative				Total	Unité de sens	Autres
	NI/A	NI/D	I/A	I/D			
0	5	0	7	3	15	19	4
1	3	0	10	11	24	25	2
2	5	0	4	2	11	12	0
3	0	0	0	0	0	1	0
4	2	0	5	4	11	10	0
5	2	0	8	4	14	9	1
6	3	0	3	9	15	18	1
7	2	0	2	1	5	6	1
8	5	0	10	2	17	20	2
9	1	0	3	2	6	7	1
10	1	0	4	0	5	5	0
11	0	0	12	10	22	22	0
12	5	0	8	2	15	16	1
13	3	0	13	5	21	22	1
14	5	0	3	4	12	12	2
Total	42	0	92	59	193	182	
	22	0	48	30	100		

À la lecture du tableau ci-dessus (1), le phénomène le plus marquant est que l'approche non interactive / dialogique est absente au cours de la séquence. On peut apporter deux explications à ce fait. D'une part la rareté de cette approche a été constatée en général par Mortimer et Scott (2003). Dans une des séquences qu'ils ont étudiées, ces deux auteurs ont trouvé peu d'occurrences où l'enseignant suit une approche non interactive / dialogique pour faire la différence entre les connaissances scientifiques introduites et les idées initiales des élèves, et ont discuté un seul exemple. D'autre part le type de fonctionnement que cet enseignant particulier instaure dans sa classe, est le plus souvent à base d'interactivité.

Nous remarquons que l'approche non interactive / discours faisant autorité se présente pour toutes les tâches (22) mais de manière différente selon les tâches et correspond surtout à des moments d'introduction ou d'institutionnalisation par l'enseignant. L'approche interactive/ discours faisant autorité se présente bien plus

souvent (48) que l'approche précédente, c'est cohérent avec ce que nous avons dit précédemment de l'enseignant observé. Nous remarquons aussi que pour presque toutes les tâches trois des quatre approches communicatives sont présentes : NI/A, I/A, I/D sauf pour la tâche 11. et ceci est peut être dû à la méthode de présentation de la tâche qui est sous forme de cours magistral. Nous remarquons aussi qu'au cours de la totalité de la séquence d'enseignement toutes les organisations de la classe sont présentes donc nous pouvons dire que l'organisation de la classe qui groupe l'enseignant, le groupe classe et les deux élèves (dite mixte) caractérise la séquence selon les trois dernières approches communicatives sus indiquées.

Un tel tableau peut permettre de caractériser un profil d'enseignement. Évidemment ce profil doit tenir compte des caractéristiques des situations : recherche, construction de la séquence disciplinaire....

Dans ce qui suivra, nous présentons un exemple pour chaque type de moment précis que nous avons déterminé à partir de l'analyse a posteriori de la séquence d'enseignement tel que : le moment d'introduction, le moment de prévision, le moment de réalisation et le moment d'institutionnalisation.

Pour la détermination de ces quatre moments au cours de la séquence d'enseignement nous nous sommes référés aux scripts présentés dans le chapitre 7 de la méthodologie. Nous avons établi pour chaque tâche les moments correspondants puis nous avons dénombré les approches communicatives pour chaque moment. Nous avons présenté ceci sous forme de tableau de sept colonnes présentant les numéros des tâches, les approches communicatives, les sommes des nombres trouvés ainsi que l'organisation de la classe⁸. Nous avons trouvé pour toute la séquence d'enseignement :

- - 21 moments d'introduction
- - 9 moments de prévision
- - 23 moments de réalisation
- - 20 moments d'institutionnalisation

Nous précisons que pour les quatre moments le nombre des moments ne correspond pas au nombre des tâches car la tâche en elle-même peut contenir plusieurs phases qui présentent ces différents moments. La durée de ces moments est variable. Par exemple au cours de la tâche 1, nous avons deux moments d'introduction : un premier moment où l'enseignant introduit la totalité de la tâche 1 et un deuxième moment où l'enseignant introduit l'expérience de l'objet étendu.

b. Moment d'introduction

Pour les 21 moments d'introduction, nous récapitulons les approches communicatives suivant le tableau ci-dessous :

⁸ L'organisation de la classe se fait en classe entière concernant le professeur / groupe classe, en petits groupes (ou travail individuel) concernant la combinaison professeur / groupe classe et / ou professeur / élèves et / ou élève / élève, ou mixte concernant professeur / groupe classe, professeur / élèves et élève / élève.

Tableau 2 : Les approches communicatives au cours des moments d'introduction

App Com	N°Tâche	NI/A	NI/D	I/A	I/D	Somme	Autres	Organisation de la Classe
0		1	0	0	0	1	2	Classe entière
1		2	0	2	0	4	2	
2		2	0	0	0	2	0	Petit groupe
3		0	0	0	0	0	0	
4		2	0	1	0	3	0	Classe entière
5		1	0	2	0	3	0	Mixte
6		1	0	1	0	2	1	
7		1	0	0	0	1	1	Petit groupe
8		0	0	2	0	2	0	Mixte
9		0	0	0	0	0	1	Petit groupe
10		0	0	0	0	0	0	
11		0	0	2	0	2	0	Mixte
12		1	0	1	0	2	0	Classe entière
13		1	0	1	0	2	1	
14		1	0	1	0	2	1	
Somme		13	0	13	0	26	9	
		50	0	50	0	100		

Nous remarquons que l'organisation de la classe au cours des différentes tâches varie en restant en majorité en classe entière. Pour les tâches (0-1-4-12-13-14), les moments d'introduction se font en classe entière. Pour les tâches (5-6-8-11), les moments d'introduction se font selon l'organisation mixte, l'interaction entre les interactants se fait autour de la consigne (explication, incompréhension, schématisation). Pour les tâches (2-7-9), les moments d'introduction se font selon des petits groupes ou travail individuel des élèves vu la difficulté de la consigne ou de l'énoncé de l'exercice.

Du point de vue des approches communicatives, ces moments d'introduction reposent sur deux d'entre elles seulement, à égalité : non interactive/faisant autorité ou interactive/faisant autorité.

L'enseignant utilise la même approche communicative non interactive / discours faisant autorité pour plusieurs tâches où il utilise comme modalité d'expliquer la consigne à la classe entière en utilisant la feuille de consigne et le matériel. L'enseignant utilise l'approche communicative interactive / discours faisant autorité pour certaines approches où il groupe les élèves autour de sa paillasse pour regarder l'expérience, il explique en interagissant avec quelques élèves (petit groupe) ce qui est observable et demande au groupe classe de faire des prévisions de l'expérience.

L'approche communicative est donc fréquemment interactive / discours faisant autorité entre l'enseignant et les élèves. Nous donnons un exemple de la tâche 2.

Étape 2.2.2.1 (2/14-25)

2	01 : 09 : 00	Pr	Cl	c'est bon (?) / vous écoutez bien / pa'ce'qu'après vous comprenez mal de quoi il s'agit / tout à l'heure / j'vais vous distribuer une diode jaune / je pense que vous en aviez tous une d'ailleurs / évitez d'utiliser une rouge / j'vais vous en donner une plus lumineuse / tout l'heure on va faire l'expérience / d'abord les prévisions / comprenez bien l'opération (inaud.) la porte cochère étant là / j'vous demande lisez bien la feuille / la fiche que j'vous ai donnée / vous allez éclairer la diode à l'ouverture là en déplaçant la diode de bas en haut ou de haut en bas comme vous voulez / une fois elle est trop basse / une fois elle est à la hauteur de l'ouverture / une fois en haut	Pr montre la diode aux élèves Pr montre la procédure sur la boîte
2		M	Pr	en haut	
2	10 : 00	Pr	Cl	ce j'vous demande c'est qu'est-ce que vous allez observer sur le fond / que:: j'ai appelé le fond de la boîte / le fond de la boîte c'est la première colonne de votre tableau / ça signifie sous entendu horizontal / vous pouvez ajouter horizontal (inaud.) / qu'est ce que vous pensez voir de la lumière que va émettre la diode jaune qui est plus lumineuse que la rouge / hein / plus lumineuse peu importe sa couleur / qu'est-ce que vous pensez voir sur le fond noir et sur le fond blanc (?) / et puis qu'est-ce que vous pensez voir de l'autre côté / sur le fond / sur le côté de la boîte c'est-à-dire le côté vertical / d'accord (?)	Pr montre la boîte Pr regarde la feuille de consigne
2		M	Pr	oui	
2		Pr	Cl	qui est blanc pour la plupart de vous / et qui sera blanc pour vous aussi pa'ce'que vous (inaud.) / d'accord (?) / vous faites des prévisions et puis tout à l'heure seulement vous faites l'expérience (inaud.)	
2		A	Pr	la diode on la met où (?)	
2		Pr	A	[...]	
2		M	A	(inaud.)	
2		NI	A	sur le côté	
2		Pr	Cl	la diode vous la tenez à la main	
2		NI	Pr	du coté eu::	
2		Pr	NI	du côté vertical [...]	

Au cours de l'introduction de la tâche 2, l'enseignant explique la procédure de l'expérience en utilisant la boîte comme support d'explication (2/14-16). Il demande aux élèves de faire des prévisions avant de faire l'expérience (2/18). L'intervention d'Alexandre qui a mal compris la consigne (2/19) ainsi que la réponse de l'enseignant

(2/23-25) sont ponctuelles et limitées. L'enseignant tient compte de l'intervention d'Alexandre (2/23-25) d'où l'approche communicative utilisée est interactive / discours faisant autorité.

c. Moment de prévision

Pour les 9 moments de prévision, nous récapitulons les approches communicatives suivant le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Les approches communicatives au cours des moments de prévision

App Com N°Tâche	NI/A	NI/D	I/A	I/D	Somme	Autres	Organisation de la Classe
0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	1	1	2	0	Petit groupe
2	0	0	2	0	2	0	Classe entière
3	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	2	2	0	Mixte
5	0	0	0	3	3	1	
6	0	0	0	5	5	0	
7	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	
Somme	0	0	3	11	14	1	
	0	0	21	79	100		

D'après ce qui était prévu dans le texte de la séquence d'enseignement, les 9 moments de prévision⁹ se répartissent sur les tâches de 1 à 7. Nous avons trouvé que le nombre de moments de prévision (9) est conforme à ce qui est prévu dans la séquence d'enseignement au départ.

L'organisation de la classe pour les moments de prévisions se caractérise par le mixte ou l'enseignant interagit avec toute la classe (par exemple demande de faire les prévisions), avec le binôme (demande d'explicitier les prévisions) ou les deux élèves interagissent ensemble pour effectuer les prévisions.

L'approche communicative est essentiellement (dans près de 80 % des cas) interactive/dialogique. Cela vient certainement du fait que ce qui est codé dans ces moments est principalement le discours des élèves, et que justement ces moments de

⁹ Nous appelons prévisions des moments avant la réalisation de l'expérience que ce soit demandé par l'enseignant ou réalisés par les élèves.

Interactions enseignant-élèves et situations d'enseignement-apprentissage en optique géométrique

prévision sont les moments privilégiés où les élèves ont l'occasion de confronter des points de vue souvent opposés.

L'approche communicative est donc très majoritairement interactive / dialogique entre l'enseignant et les élèves ou entre les élèves. Nous prenons deux exemples au cours des prévisions de la tâche 6 :

Le premier exemple concerne l'interaction élève / élève. Les deux élèves prévoient ce qui se passe quand la lentille est cachée :

Episode 6.2.2 (6/53-111)

6			A	M	oui en gros / oui en fait si tu caches en bas / enfin je veux dire que si tu caches en bas non	
6			M	A	tu ne verras pas la partie haute	
6			A	M	tu ne verras pas cette partie là	A montre sur le schéma la partie
6			M	A	ah oui-oui (!) on verra ah ouais (!)	
6			A	M	tu vois en fait le cache tu verras la lumière mais à la hauteur du cache	A cache avec sa main la lettre F et fait un geste de va et vient horizontal entre la lettre et l'écran au même niveau
6			M	A	donc on verra le haut du F	
6			A	M	on verra le-lee	
6		01 : 23 : 24	M	A	on verra la partie correspondante	
6			A	M	on verra le haut (2s) fais un schéma	A montre avec une main le haut de la lentille et cache avec l'autre main la lettre F

Au cours de ce moment de prévision les deux élèves discutent et font les prévisions de l'expérience lentille cachée. Mathieu interagit avec Alexandre, son intervention (6/78) montre qu'il a changé de point de vue par rapport à l'intervention (6/74) en discutant avec Alexandre que la lumière sera à la hauteur du cache, en tenant compte de la réponse d'Alexandre (6/77). Il y avait bien deux points de vue en présence, il y a dialogisme. D'où l'échange se fait suivant une approche communicative interactive / dialogique.

Le deuxième exemple concernant l'interaction enseignant / élèves. L'enseignant explicite les prévisions de l'expérience lentille enlevée à toute la classe :

en vertu de la loi du droit d'auteur.

Episode 6.2.3 (6/112-152)

6			Pr	Cl	est-ce que je peux vous demander allez vite oralement / est-ce que vous avez fini (?)	
6			A	M	nous les scientifiques pensons	
6			M	A	avec un stylo on verra (inaud.)	
6			Pr	NI	Ma par exemple dis-moi qu'est-ce que t'as prévu (?)	
6			A	M	non-non (inaud.)	
6			NI	Pr	pour l'expérience une	
6			Pr	Cl	voilà on enlève la lentille c'est-à-dire on a une image sur l'écran comme tout à l'heure un F bien net et on enlève la lentille qu'est-ce t'as prévu (?)	
6		01 : 25 : 24	NI	Pr	ben on observera la lettre F à l'endroit / et nette	
6			Pr	Cl	nette / est-ce que vous aviez mis autre chose que ça (?)	
6			Cl	Pr	non	
6			Pr	Cl	rien d'autre (?) il faut pas vérifier vos points de vue maintenant certains sont de l'avis de Ma (?) non (?)	
6			M	Pr	il sera flou un petit peu flou	
6			Pr	M	dis-moi	
6			M	Pr	un petit peu flou	
6			Pr	Cl	un petit peu flou mais on verra le F (?)	
6			A	M	ah (!) oui / de quoi il parle là (?)	
6			NI	Pr	il sera retourné	
6			Pr	Cl	il sera retourné (.)	
6			M	Pr	il sera pas retourné il n'y a pas de lentille	
6			NI	Pr	il va se rapprocher / il sera à l'endroit (inaud.)	
6			Pr	Cl	à l'endroit on verra un F mais à l'endroit (?)	
6			A	Pr	à l'endroit mais très-très diffus	
6			M	Pr	ouais grand beaucoup grand beaucoup plus grand	M fait un geste avec ces deux mains verticalement en élargissant la distance entre les mains
6			A	Pr	beaucoup	

En classe entière, l'enseignant obtient quatre points de vue différents sur ce qui ce passe quand on enlève la lentille. L'enseignant demande à toute la classe d'explicitement oralement ce qu'ils ont prévu (6/112-115). La première explication est que (6/119) « la

lettre F à l'endroit / et nette », l'enseignant reformule la réponse à toute la classe (6/120) et leur demande s'ils sont d'accord avec ce que dit l'élève (6/121-124). Mathieu donne une deuxième explication (6/123-125) « il sera flou un petit peu flou » ; l'enseignant reformule la réponse de Mathieu pour toute la classe (6/126). Un élève intervient et donne une troisième explication (6/128) « il sera retourné ». Un autre élève exprime une quatrième explication (6/131) « il va se rapprocher / il sera à l'endroit », l'enseignant reformule alors cette idée en ajoutant plus d'information (6/132) « à l'endroit on verra un F mais à l'endroit (?) », Alexandre répond alors (6/133) « à l'endroit mais très-très diffus ». D'où l'échange entre l'enseignant et le groupe classe se fait suivant une approche communicative interactive / dialogique.

Le moment de prévision est un moment important pour la stabilisation des connaissances des élèves, il permet aux élèves d'explicitier les idées qu'ils ont de l'expérience en utilisant le langage quotidien et le langage scientifique et de se préparer pour confronter ces idées avec la réalisation de l'expérience.

d. Moment de réalisation

Pour les 23 moments de réalisation, nous récapitulons les approches communicatives suivant le tableau ci-dessous :

Tableau 4 : Les approches communicatives au cours des moments de réalisation

App Com N°Tâche	NI/A	NI/D	I/A	I/D	Somme	Autres	Organisation de la classe
0	3	0	6	3	12	2	Mixte
1	0	0	2	8	10	0	
2	1	0	0	1	2	0	
3	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	2	2	4	0	
5	0	0	1	1	2	0	
6	0	0	2	4	6	0	
7	0	0	2	1	3	0	
8	2	0	8	2	12	1	
9	0	0	3	2	5	0	
10	0	0	0	0	0	0	Mixte
11	0	0	5	8	13	0	
12	0	0	5	2	7	0	
13	1	0	8	3	12	0	
14	3	0	2	3	8	0	
Somme	10	0	46	40	96		
	10	0	48	42	100		

L'organisation de la classe pour les moments de réalisation se caractérise par une organisation mixte uniquement vu la richesse de ces moments (ce qui confirme la définition que nous avons pris pour ces moments dans le chapitre 7 de la méthodologie)

du point de vue des connaissances introduites au cours des tâches.

Pour les 23 moments de réalisation, les deux approches communicatives les plus prépondérantes sont l'interactive/discours faisant autorité (46%) et l'interactive / dialogique (40) qui comporte les échanges de l'enseignant avec le binôme ou avec toute la classe ou les échanges entre les deux élèves. Nous trouvons que l'utilisation des approches communicatives non-interactives / discours faisant autorité (10) est moins importante.

Les approches communicatives sont majoritairement : interactive /dialogique et interactive / discours faisant autorité. Nous donnons un exemple pour chaque type d'approche au cours de la réalisation de la tâche 6 :

Le premier exemple montre les deux élèves qui suivent une approche communicative interactive / dialogique pour expliquer le résultat de l'expérience lentille cachée :

Étape 6.2.4.3 (6/177-200) Étape 6.2.4.4 (6/201)

Interactions enseignant-élèves et situations d'enseignement-apprentissage en optique géométrique

6			A	M	mais non je sais on n'est pas assez euh (4s)	
6			M	A	(inaud.) non ça fait pareil	
6			A	M	pas normal	
6			M	A	tu comprends pas ton cerveau ne comprend pas (2s)	
6			A	M	fais un stylo (inaud.)	
6			M	A	j'y crois pas (!) / ah d'accord j'ai compris (inaud.) attends-attends d'abord on observe rien du tout (.) le F est trop diffus et après et après-	
6			A	M	mets ça dans ce sens là /	M remet la lentille dans le support
6		01 : 28 : 24	M	Pr	monsieur oui-oui ça marche ça enlève la moitié du F (.) ouais c'est ça mais dis-le	
6			Pr	M	oui on cache le F	
6			A	Pr	la moitié du F	
6			NI	Pr	on cache la moitié du F monsieur ou (?)	
6			M	Pr	regardes on cache presque tous / il reste qu'un petit truc et on voit le F (rire) (!)	
6			A	M	on voit le F ouais	
6			M	A	c'est ce qu'on avait mis nous	
6			A	M	oui mais là on est [...]	
6			M	A	comme on est [...]	
6			A	M	tu réfléchis pas M hein (?)	
6			M	A	ah ouais allez y attends / on met comme ça pour voir où il est exactement sur la boîte / à quel moment à quel moment je-eu	M cache la lentille
6			A	M	là tu vois que-eu	
6			Pr	Cl	ça vous surprend (?) qui n'est pas surpris par l'activité deux expérience deux	
6			M	A	là regarde là (inaud.)	
6			A	Pr	maintenant que j'ai réfléchi c'est pas logique	
6			M	A	moi j'ai tout à fait trouvé hein	
6		01 : 29 : 24	Pr	NI	(inaud.)	
6			A	Ob	ce que nous avons fait nous c'est que la lumière se propage rectilignement si on cache le bas on voit toujours rectilignement (inaud.)	A fait un geste avec son doigt indiquant la propagation du haut de la source vers le bas de l'écran

Les deux élèves explicitent leur surprise des résultats de l'expérience lentille cachée à l'enseignant. Dans cette partie, il y a dialogisme entre le point de vue initial des élèves (6/182, 184, 198, 201) et celui qu'ils forment en réalisant l'expérience (6/188, 189). Mathieu commence (6/182) par interpréter ce qu'il voit (pas de F) dans la suite logique de la prédiction fautive qu'il avait faite (le F grandit tellement qu'il devient flou/diffus). Après réalisation de l'expérience les deux élèves interagissent et disent qu'ils voient le F même si la lentille est presque cachée en totalité (6/188,189). L'enseignant demande à toute la classe s'ils ont eu la surprise des résultats en tenant compte de la surprise des deux élèves observées (6/196). Cet échange est caractérisé par une approche communicative interactive /dialogique entre les élèves mais non entre l'enseignant et les élèves.

Le deuxième exemple se situe lorsque l'enseignant suit une approche communicative interactive / discours faisant autorité pour expliquer le résultat de l'expérience lentille cachée avec les élèves :

Étape 6.2.4.5 (6/202-212)

6			Pr	Cl	allez on discutera de tout ça demain (.) mais c'est très bien vous avez (inaud.) entre vous une fois surpris par ce que vous avez observé et en particulier c'est de mettre un stylo à travers la lentille on s'aperçoit toujours qu'on voit le F est-ce qu'on le voit exactement de la même façon (?)	
6			M	Pr	un peu plus flou	
6			Pr	Cl	est-ce qu'on peut dire qu'il est flou (?)	
6			M	Pr	non /	
6			NI	Pr	sombre	
6			M	Pr	oui sombre	
6			Pr	Cl	voilà	
6			NI	Pr	(inaud.)	
6			Pr	Cl	vous confondez flou et luminosité	
6			A	M	(inaud.) j'ai la main dans le stylo mais [...]	Lumière allumée
6		01 : 30 : 24	Pr	Cl	allez (inaud.) on fera le bilan demain et il nous reste une dernière manipulation / vous pouvez mettre sur les feuilles que-que vous êtes surpris que vous compreniez mal que alors là si vous avez une explication écrivez là (inaud.)	

L'enseignant interagit avec le groupe classe pour reprendre le résultat de l'expérience « image à travers la lentille cachée ». Il ne tient pas compte de l'intervention de Mathieu (6/203) et l'évalue négativement en (6/204) pour l'écartier finalement en (6/210). Par contre il évalue positivement la réponse d'un élève qui lui plaît (6/207). Il donne une explication en suivant un discours faisant autorité pour caractériser la propriété « luminosité » (6/210-212). L'échange entre l'enseignant et les élèves se fait suivant une approche communicative interactive / discours faisant autorité.

Nous retenons que ces moments de réalisation sont importants pour la confrontation des résultats et des prévisions et pour l'explication de l'opposition ou la différence des résultats pour les échanges entre élèves ou avec l'enseignant en se référant au modèle. Ce sont des moments de passage du début de construction des connaissances chez les élèves. Ces moments peuvent être une application des différentes connaissances introduites (les exercices par exemple).

e. Moment d'institutionnalisation

Pour les 20 moments d'institutionnalisation, nous récapitulons les approches communicatives suivant le tableau ci-dessous :

Tableau 5 : Les approches communicatives au cours des moments d'institutionnalisation

App Com N°Tâche	NI/A	NI/D	I/A	I/D	Somme	Autres	Organisation de la classe
0	1	0	1	0	2	0	
1	1	0	5	2	7	0	Classe entière
2	2	0	2	1	5	0	
3	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	2	0	2	0	Classe entière
5	1	0	5	0	6	0	
6	2	0	0	0	2	0	
7	1	0	0	0	1	0	
8	3	0	0	0	3	1	Mixte
9	1	0	0	0	1	0	
10	1	0	4	0	5	0	Classe entière
11	0	0	5	2	7	0	Petit groupe
12	4	0	2	0	6	1	
13	1	0	4	2	8	0	Mixte
14	1	0	0	1	2	0	Petit groupe
Somme	19	0	30	8	57		
	33	0	53	14	100		

L'organisation de la classe pour les moments d'institutionnalisation se caractérise par la prépondérance de l'organisation en classe entière.

Au cours des 20 moments d'institutionnalisation, l'enseignant utilise le plus souvent les approches communicatives non interactive / discours faisant autorité (33.), et surtout interactive / discours faisant autorité (53.), où il introduit le bilan à toute la classe.

Les approches communicatives sont donc majoritairement : interactive / discours faisant autorité et non interactive / discours faisant autorité. Nous prenons pour chaque approche communicative un exemple.

Le premier exemple est donné pour l'approche communicative suivie est non interactive / discours faisant autorité. C'est un moment d'institutionnalisation de la Tâche 6 expérience « lentille enlevée » :

Episode 6.1.1 (6/236-240)

6		00 : 00	Pr	CI	bilan de l'activité six ça s'appelait (4s) lumière passant par la lentille on va mettre / écoutez-moi bien d'abord est-ce que c'est la peine de perdre du temps (?) vous notez bien si j'enlève la lentille tout ce que je viens de faire tombe or c'est grâce à la lentille qu'il y a une image	Pr prend le support papier à la main Pr montre le schéma au tableau où il y a la démarche des rayons à travers la lentille convergente
6			CI	Pr	ouais (.)	
6			Pr	CI	donc vous notez bien vous avez bien compris maintenant que s'il n'y a plus la lentille-	
6			CI	Pr	il n'y a plus l'image	
6		00 01	Pr	CI	donc ce n'est pas la peine / vous aviez vu que pour former quelque chose de droit il faut une image donc il faut une lentille / donc ce n'est pas la peine de revenir si on enlève la lentille il n'y a plus l'image / est-ce que c'est la peine d'en dire plus (?) à chaque point ne correspond plus un point mais correspond une immense tache parce que rien ne va rendre des faisceaux divergents	Pr fait un geste d'ouverture de ces bras pour montrer la tache Pr montre le schéma au tableau

L'échange se fait entre l'enseignant et le groupe classe. L'enseignant s'adresse à toute la classe en montrant le schéma au tableau où il y a la marche des rayons à travers une lentille convergente (6/236), la classe répond affirmativement (6/237), l'enseignant dicte alors le bilan (6/238) et un élève intervient et dit qu'il n'y a plus l'image si la lentille est enlevée, les interventions des élèves sont extrêmement limitées et ponctuelles (6/239). Cette intervention (6/239) est sollicitée par une question assez largement rhétorique de l'enseignant (6/238) qui fait compléter sa phrase. L'échange est donc non-interactif / discours faisant autorité.

Le deuxième exemple se situe quand l'approche communicative suivie est interactive / discours faisant autorité au cours de l'institutionnalisation de la tâche 6 expérience « lentille cachée » :

Episode 6.2.1 (6/241-262)

6		00 : 00	Pr	CI	je vais vous demander de tirer la conclusion de l'activité six / quand on met un cache sur la lentille vous vous souvenez de ça (?) on avait commencé le schéma hier / on avait été interrompu donc vous mettez (2s) donc vous continuez et vous mettez la	Pr fait un geste d'aller retour verticalement pour montrer aux élèves la
---	--	------------	----	----	--	--

Interactions enseignant-élèves et situations d'enseignement-apprentissage en optique géométrique

					suite du schéma que vous aviez commencé / vous mettez un cache sur la lentille un cache qui occupe par exemple deux tiers de la lentille plus de la moitié toute sa partie supérieure et une partie du reste / et puis vous me montrez quel est le schéma qui va rendre compte du fait que finalement il y a quand même une image contrairement à ce que vous aviez pensé (4s)	portion de la partie cachée de la lentille
6			NI	Pr	(inaud.)	
6			Pr	NI	comment (?)	
6			NI	Pr	(inaud.)	
6		00 : 01	Pr	Cl	voilà vous mettez le même schéma que d'habitude / vous mettez l'image à quatre vingt centimètres de la lentille de-eu (10s) faites un schéma à l'échelle / vous mettez un objet l'objet AB que vous avez l'objet F vous le mettez la moitié de sa taille réelle pour que ça rentre correctement il fait vingt neuf donc ça fait quatorze et demi (3s) vous le mettez à quatre vingt centimètres donc en mettant l'échelle ça fait huit centimètres et puis l'objet est cinquante sept centimètres vous vous rappelez on a fait exactement le schéma hier / et vous mettez un cache sur la lentille (2s) vous faites vite un schéma qui traduise bien le fait que contrairement à ce que vous aviez prévu on voit bien l'image en entier (inaud.) quel est le schéma qui va traduire ça (?) (4s) vous mettez un	Pr indique la lanterne avec sa main pour montrer l'objet AB et A fait un schéma sur son compte rendu Pr fait un geste à la main avec la pointe du pouce et de l'index pour préciser l'échelle
6			Pr	NI	montres moi / oui voilà oui voilà tu devras mettre un cache comme ça (inaud.) voilà (.)	Pr se dirige vers un élève et lui demande de lui montrer le schéma qu'il a fait
6		00 : 02	Pr	Cl	vous mettez un écran sur votre- votre schéma	
6			Pr	NI	toi t'as mis le cache sur (inaud.)	Pr s'adresse à un élève en regardant son schéma
6			Pr	Cl	faites tous les rayons issus de A et tous les rayons issus de B	A trace les rayons sur son schéma
6			Pr	NI	là t'as mis qu'un celui qui passe par le sommet mais il y en a un qui passe (inaud.) le cache /	
6		00 :	Pr	Cl	proposez une réponse (2s) vous aviez la même	Pr laisse les

		03			échelle que-hier vous mettez un objet AB de quatorze millimètres et demi au lieu de vingt neuf à quatre vingt centimètres donc huit centimètres à l'échelle et l'image cinquante sept centimètres (64s) vous avez fait ce schéma (?) voilà (.) bon je vais le projeter / donc est-ce que ça traduit bien le fait qu'il y a une image contrairement à ce que vous pensiez (?)	élèves faire le schéma de la situation lentille cachée Pr regarde un schéma fait par un élève
6			A	Pr	oui (.)	
6			Pr	Cl	et est-ce que ça traduit bien le fait qu'elle est moins lumineuse (?)	
6			A	Pr	ben oui (.)	
6		00 : 04	Pr	Cl	oui / il y a peu de lumière qui arrive vers la lentille puisqu'on a mis un cache / alors ce que je vous demande de faire c'est de représenter le-l'écran je le mets par un vrai écran là vous mettez bien A' et B' parce que si je les cache vous n'allez plus les voir et vous mettez pas de lumière qui dépasse (2s) voilà A' B' qui se cachent / c'est ce schéma là que vous avez fait sauf si vous avez mis un cache en bas c'est pareil (inaud.)	Pr projette le schéma et montre l'écran qui est un papier blanc qui cache la partie du transparent
6			NI	Pr	si on mettait le cache (inaud.)	
6			Pr	NI	juste derrière à ton avis (?)	
6			A	NI	ça change rien	
6			NI	Pr	ça change rien (3s)	
6		00 : 05	Pr	Cl	mettez bien les flèches effectivement et puis c'est mieux de mettre deux couleurs différentes pour les points (inaud.) sinon ça fait un peu (inaud.) (32s) c'est fait (?) vous avez bien mis A' B' parce que c'est caché et puis prenez l'habitude d'appeler A le point qui est sur l'axe (2s) c'est une convention / A est sur l'axe B n'est pas sur l'axe par convention (4s) et puis on va mettre une petite phrase de commentaire	Pr fait référence au schéma projeté
6			Pr	NI	finis d'abord (inaud.) t'as mis qu'un rayon là pour l'instant (8s)	
6	262	00 : 06	Pr	Cl	si c'est pas la peine vous l'écrivez pas mais si vous avez encore un doute vous mettez contrairement à ce que vous avez prévu on observe une image qui n'est pas du tout tronquée par le cache [...] si c'est clair vous ne le notez pas / mais ne faites plus l'erreur maintenant et puis vous mettez ce schéma rend bien compte du fait qu'on observe encore une image / malgré la présence du cache (2 répétitions) (7s) elle est	A n'écrit pas sur son compte rendu

					moins lumineuse (inaud.) elle est moins lumineuse (2s) vous êtes d'accord (?)	
--	--	--	--	--	---	--

L'enseignant fait le schéma de l'institutionnalisation de l'expérience lentille cachée de la tâche 6, il interagit avec les élèves en tenant compte de leurs réponses et en regardant leurs schémas (6/253/255/262). Il procède par question pour expliquer le schéma qu'il fait au tableau. Quand l'enseignant regarde le schéma d'un élève, il prend une information réelle, il y a interactivité. L'échange entre l'enseignant et les élèves est donc caractérisé par une approche communicative interactive / discours faisant autorité.

Nous retenons que ces moments d'institutionnalisation permettent aux élèves de stabiliser leurs connaissances et de s'approprier les connaissances scientifiques qui expliquent certaines situations et permettent la construction de la compréhension conceptuelle.

3. Concepts scientifiques et concepts quotidiens

a. Situation scolaire et situation quotidienne

Au cours de la construction de la séquence, le recours à des situations de la vie quotidienne n'était pas pris en compte par le groupe d'enseignant et de chercheurs qui ont participé à la construction, mais au moment de la réalisation de la séquence l'enseignant fait référence à des situations de la vie quotidienne. Nous prenons comme hypothèse de départ qu'à partir de la mise en relation entre situation scolaire enseignée et situation de la vie quotidienne par l'enseignant, les élèves peuvent acquérir une certaine maîtrise du langage scientifique, notamment des mots qui leur sont donnés dans le texte du modèle et qui aident les élèves à expliquer les situations rencontrées. Nous présentons dans les deux paragraphes suivants comment l'enseignant fait le lien entre les situations scolaires enseignées et les situations de la vie quotidienne et l'effet de ceci sur le comportement langagier des élèves.

Pour plusieurs situations scolaires enseignées l'enseignant fait l'analogie avec une situation de la vie quotidienne pour montrer aux élèves l'application de ce qui est enseigné en classe à des situations hors classe. L'enseignant demande aux élèves en adoptant une approche interactive / discours faisant autorité de donner la correspondance d'une situation scolaire enseignée avec une situation de la vie quotidienne, il prend ensuite la responsabilité de faire la correspondance de la modélisation de chaque situation. A d'autres moments l'enseignant donne d'une façon non interactive / discours faisant autorité la situation quotidienne analogue à celle enseignée sans expliquer la modélisation.

Pour l'étape 0.3.6.1 (0/126-149) de la tâche 0, l'enseignant introduit par une méthode interactive / discours faisant autorité l'exemple du « *mirage* » qui présente une nouvelle situation non scolaire comparée à une situation scolaire « *l'expérience de la cuve* » afin de donner du sens aux alinéas du texte du modèle. L'enseignant pose la première question « *est-ce que vous connaissez des contre-exemples (?)* » de propagation rectiligne dans un milieu non homogène, Mathieu dit « *les illusions d'optique* »

(0/133).L'enseignant explique alors le mirage et précise du point de vue théorique la différence entre les deux situations. Il fait l'analogie (0/144) entre la « *concentration de la cuve* » et « *la température de l'air* » sans dire aux élèves que les milieux respectifs pour les deux situations sont l'eau et l'air. Il donne les interprétations de ces deux expériences avec le même alinéa du modèle (alinéa 4) (0/148). Alexandre donne une propriété physique du milieu « *isotrope* » (0/145-147) en utilisant les mots du modèle. L'enseignant fait alors la correspondance entre les deux situations en utilisant les mots du modèle.

Le recours à des situations de la vie quotidienne a eu un effet sur le comportement langagier d'Alexandre qui au moment de la schématisation de la tâche 13 « *Image à travers un miroir plan* » fait spontanément l'analogie de la situation du miroir avec une situation quotidienne le billard « *ça ouais c'est comme pour le billard quand tu tapes sur une bande* » (13/213) mais sans donner les éléments de la correspondance.

Au cours de la séquence, les élèves ont acquis une certaine maîtrise du langage scientifique, notamment des mots qui leur sont donnés dans le texte du modèle, mais les mots du langage commun demeurent employés.

b. Evolution du flux du discours pour les deux élèves étudiés

La détermination du flux de discours consiste à voir l'écoulement du lexique (la progression des mots utilisés au cours de la séquence) utilisé au moment de la verbalisation de l'enseignant ou des élèves au cours de chaque étape et à l'intérieur d'une même étape. L'idée est de faire une analyse sémantique du discours c'est-à-dire voir les mots et leurs significations dans un contexte donné. Nous nous intéressons au changement de statut du lexique selon les différents niveaux de savoir (monde de la théorie / modèle et monde des objets / événements) et le lien entre ces niveaux, et selon son appartenance au quotidien et/ ou scientifique. L'objectif de l'étude sémantique est de voir l'évolution du flux de discours pour les différentes organisations de la classe (enseignant / groupe classe ; enseignant / élèves ; élève / élèves), et de déterminer la construction de la compréhension par les élèves. Autrement dit quelles significations les élèves donnent-ils aux mots scientifiques introduits par l'enseignant au moment de l'interaction et les différentes reprises par les élèves. Nous donnons dans ce qui suit quelques champs sémantiques au cours de notre séquence d'enseignement :

- *Lumière* : la lumière se propage, projette la lumière, source de lumière, vous voyez la lumière, la lumière véhicule de l'énergie, très lumineux, le faisceau de lumière, on voit la lumière passée de gauche à droite, le sens de propagation, vous voyez directement la lumière, la lumière se propage rectilignement, force de lumière, la lumière d'un seul côté, la lumière dans toutes les directions, une lueur qui se balade, la lumière qui dépasse, moins lumineux (changement de statut des mots selon les situations, différents champs de signification des mots).
- *Vision* : votre œil, vous voyez la lumière, on voit la lampe, vos yeux, vous voyez directement, on visualise, on observe.
- *Source* : source, laser, lampe particulière, une lampe du plafond, source de lumière, laser source, on voit la lampe, la lampe éclaire, la diode, soleil, la lanterne

- *Image* : image, image en entier, image nette, le F.
- *Objet* : objet AB, le F...

Nous présentons l'évolution du flux du discours pour les mots du modèle introduit au début et au cours de la séquence d'enseignement. Au cours de la séquence d'enseignement coexistent deux types de langages « *langage quotidien* » et « *langage scientifique* ». Pour le deuxième type de langage nous nous limiterons aux mots du modèle. Au cours de la réalisation de la séquence d'enseignement les deux élèves ont acquis (comme nous l'avons présenté au cours du paragraphe I « utilisation par les deux élèves ») de plus en plus un langage scientifique lié à l'optique géométrique qui ne vient pas pour remplacer le langage quotidien mais pour le compléter. L'introduction d'un texte du modèle a facilité l'intégration des mots du modèle dans le comportement langagier des élèves tels que des mots spécifiques « *lumière* », « *vision* », « *image* », « *objet* », « *tache* »...

Pour montrer l'évolution du flux du discours nous prenons l'exemple d'Alexandre qui s'est approprié les mots du modèle de l'alinéa 4 « *propagation rectiligne de la lumière* » ; cet élève utilise cet alinéa en expliquant plusieurs situations à la suite de la demande de l'enseignant ou en interagissant avec Mathieu. Alexandre fait le lien de l'expérience 1 de la tâche 1 avec les alinéas du modèle en utilisant la propagation rectiligne (1/260). Il explicite le résultat de l'expérience lentille cachée de la tâche 6 à l'observateur en utilisant « *la lumière se propage en ligne droite* » (6/201). Il fait référence à la propagation rectiligne de la lumière pour expliquer la formation de l'image à travers le miroir (13/84). Le recours à l'alinéa 4 du modèle par Alexandre montre qu'il y a eu une appropriation du langage du modèle.

Un autre aspect du développement du flux du discours est le changement des mots utilisés pendant l'interaction entre les deux élèves et entre l'un des deux élèves et l'enseignant. Au cours de l'épisode 1.1.5 (1/105-242), au moment de la réalisation de l'expérience « *Observation d'une source de lumière (considérée ponctuelle)* », Mathieu regarde à travers les trous de la boîte et avance l'idée (1/89) que la diode « *n'est pas assez forte* » (1/113), Alexandre utilise le mot « *n'est pas puissante* » (1/114) et essaye de modifier l'intensité de la diode (1/131). Il s'adresse à Mathieu en reprenant ces mots « [si] elle était plus forte on verrait » (1/149), puis change de langage quotidien en langage scientifique en s'adressant à l'enseignant « *normalement si la lampe était plus lumineuse on voit* » (1/151). L'enseignant donne alors une évaluation positive et favorise la compréhension du concept « *luminosité* » (1/160). Il dialogue avec les deux élèves pour expliciter les connaissances qu'ils ont construites au cours de la situation. Il demande à Alexandre si l'écran troué est « *très lumineux* » (1/160), Alexandre répond qu'il verra la lampe et qu'il y aura beaucoup de dispersion (1/161). L'enseignant demande aux deux élèves ce qui se passerait si l'écran était peint en noir (1/164), Alexandre répond qu'il verra la lampe (1/165). L'enseignant termine l'échange par une évaluation positive afin de stabiliser ces connaissances construites (1/167).

II. Utilisation des registres sémiotiques (schématique, symbolique)

1. Utilisation du registre schématique

L'utilisation des registres sémiotiques nous pose un problème. Au niveau de nos données nous n'avons pas la procédure détaillée de la construction de schéma pour les élèves mais nous avons la description au niveau verbal des actions menées par les élèves et la façon dont ils construisent leurs schémas. En ce qui concerne l'enseignant nous avons la procédure et le commentaire de ce qu'il construit ou projette au tableau.

Le registre schématique a pris une place de plus en plus importante au fur et à mesure dans la progression de la séquence, il présente un élément du modèle qui sert pour expliquer les situations ou faire l'institutionnalisation pour l'enseignant, et sert comme moyen pour expliquer, prévoir, ou interpréter pour les élèves. L'enseignant demande généralement à toute la classe de construire un schéma qui traduit le modèle. Ceci a permis le recours spontané des élèves à des moments de prévision ou d'explication des résultats de l'expérience ou d'exercices consistant à construire un schéma en utilisant les rayons et les faisceaux de lumière. Nous présentons dans ce qui suit des exemples qui illustrent ces affirmations.

Le premier exemple que nous présentons se situe au cours de la tâche 0. Un moyen pour aider les élèves à donner du sens aux alinéas du texte du modèle et à faire le lien entre l'observation et la théorie est la référence au schéma. Le statut de schéma se présente pour l'enseignant comme un statut descriptif et explicatif de certaines connaissances en optique : « *non alors qu'est-ce qu'on aurait pu faire pour le schéma pour traduire le modèle (?)* ». Il demande aux élèves de changer la forme de représentation, et insiste sur la construction d'un schéma « *d'opticien* » et pas d'un schéma « *de tous les jours* ». Le premier schéma dit « *de tous les jours* » est une représentation analogique de la situation matérielle ; par contre le deuxième schéma « *d'opticien* » est un schéma qui modélise la forme du bécquet en un flacon rectangulaire et qui modélise la lumière par des rayons ce qui est déjà présenté dans l'alinéa 3 du texte du modèle (l'énoncé de l'expérience et deux schémas de ces deux catégories sont présentés dans l'annexe). Pour Alexandre, la référence à des connaissances pour la construction d'un schéma se fait à partir de ce qu'il voit dans l'expérience (0/221-222) et de ce qu'il a déjà comme connaissances dans le monde des objets/ événements (0/223) « *lentille* ». Il fait le lien entre ce qu'il a construit comme connaissances et la schématisation demandée il pense que « *l'eau-l'eau sert de lentille à peu près* » ce qui n'est pas conforme aux attentes de l'enseignant qui lui répond en demandant de donner une explication de la situation (0/230). L'enseignant suggère la référence au texte du modèle (alinéa 3) « *faire fonctionner un modèle d'optique, vos connaissances de seconde* » en utilisant des rayons et des faisceaux de lumière.

Au cours de la tâche 8 « *modélisation d'une lentille mince convergente* », L'enseignant donne l'instruction que les points B, O et B' sont alignés (8/63), les deux élèves font la construction des rayons parallèles à l'axe de la lentille en tenant compte de cette intervention (8/61-79).

Au cours du développement de la séquence les deux élèves se sont appropriés les éléments du modèle pour la construction du schéma en optique tels que l'utilisation des

rayons et des faisceaux de lumière, la modélisation de la lentille par un segment à deux flèches aux extrémités, l'objet, l'image.... Les deux élèves verbalisent ces mots en faisant la construction d'un schéma ou en décrivant un schéma projeté au tableau comme cette verbalisation de Mathieu qui précise la position et le type du rayon par rapport à l'axe de la lentille « *le rayon incident est parallèle à l'axe de la lentille c'est ça comme ça* » (8/120). La schématisation de l'objet symbolisé AB ou de l'image symbolisée A'B' se fait à partir des valeurs données par l'enseignant ou cherchée par les élèves par le calcul ce que nous verrons dans le paragraphe suivant.

2. Utilisation du registre symbolique

L'utilisation du registre symbolique est présente tout au long de la séquence vu la nature des connaissances en optique géométrique. Pour l'enseignant et pour les élèves la présentation du registre symbolique se fait à plusieurs moments de la séquence : des moments de schématisation, des moments d'institutionnalisation, des moments d'exercices.

Le premier exemple que nous prenons au cours de la tâche 9 « *construction de l'image formée par une lentille mince convergente. Mise en relation du schéma et du montage* ». L'enseignant demande aux élèves de retrouver par la méthode de calcul les valeurs trouvées par le schéma. Un des élèves fait le lien entre le graphe et le registre symbolique pour expliquer à son ami.

Etape 9.1.1.5 (9/123-163)

9			Pr	Cl	alors faites le calcul s'il vous plaît /	
9			M	Pr	monsieur quel calcul on fait	
9			Pr	Cl	un sur OA prime égal un sur OA plus trois ici / un sur OA prime égal un sur OA plus trois / vous connaissez OA[
9			A	M	un sur OA	
9			M	A	hein	
9			A	M	plus trois	
9			M	A	[c'est quoi ça	
9			A	M	regarde / en fait c'est ça regarde	
9		01 :07	M01	A	un sur OA prime égale un sur OA plus trois	
9			A	M	mm c'est où c'est là	A cherche sa feuille de TP
9			Pr	Cl	c'est c'qu'on a fait hier	
9			A	M	un sur OA en fait ça revient à dire que un sur OA / sur OF prime et un sur OA égale un sur OA prime	
9			M	A	plus trois /	
9			A	M	ouais / oui parce que ça en fait ça dépend d'la convergence / t'sais c'est comme quand tu fais l'graphe / [
9			M	A	[un sur	
9			A	M	tu vois c'que j' veux dire / Y égale AX plus B / en fait là tu cherches le moment où un égale X / d'accord	
9			Pr	Nl/Cl	combien c'est OA	
9			A	M	le un sur OA=	
9			M	Pr	=cinquante	
9			Pr	Cl	non en mètre et algébrique	
9			A	Pr	et des mètres moins un	
9			Pr	Cl	moins zéro cinq	
9			A	Pr	ouais (inaud.)	
9			M	A	moins zéro cinq est égal à un sur un plus trois c'est pas possible (6s.)	M lit ce qu'écrit A

L'enseignant demande de faire le calcul en donnant la formule de conjugaison (9/123-125). Mathieu était absent au cours de la séance pendant laquelle la formule de conjugaison était introduite. Alexandre lui explique l'expression de la formule de conjugaison en faisant le lien entre les symboles des distances OA et OA' et OF' et l'équation du graphe fait dans la tâche 8 « $y = a x + b$ » (9/126-138), il dit que la formule dépend de la convergence (9/136) et précise que c'est des « mètres moins un » (9/143).

Le deuxième exemple se situe au cours de la tâche 11 pendant l'expérience « *projecteur de diapositives* ». Cet exemple montre que les élèves font le lien entre le registre schématique et le registre symbolique. Mathieu lit la consigne de faire le calcul et un petit schéma (11/117). Alexandre lui montre la formule de conjugaison et le grandissement pour faire le calcul (11/122). Pour la construction de schéma, les deux élèves font référence à l'inverse de OF' et l'inverse de OA (11/274), Mathieu fait le calcul

de l'inverse de OA avec la calculatrice (11/279) et termine la construction du schéma. Il explique ensuite à l'enseignant qu'il a mesuré OA sur le schéma puis il a fait par construction géométrique en utilisant les théorèmes de Thalès et de Pythagore (11/291-294).

La mise en relation entre le registre symbolique et le registre schématique aide les élèves à s'assurer de la construction qu'ils ont faite. Elle permet aussi aux élèves de faire la construction à partir des valeurs trouvées.

III Évolution des connaissances

1. Dévolution

Pour déterminer s'il y a eu dévolution, nous nous basons sur l'analyse a priori de la séquence d'enseignement et sur l'analyse a posteriori. Nous avons remarqué que tout au long de la séquence d'enseignement, les deux élèves essayent de comprendre les consignes qu'ils ne jugent pas claires. Ils participent activement et systématiquement en interagissant avec l'enseignant en privé ou en public. Il arrive que le contenu de leurs discussions s'écarte de la physique. La plupart du temps, c'est qu'ils estiment avoir terminé la tâche demandée, et qu'ils ne savent pas quoi faire en attendant le reste de la classe. Ils essayent parfois de donner des explications à ce qu'ils ont fait en faisant intervenir le texte du modèle distribué au début. Nous donnerons des exemples de l'analyse a posteriori pour montrer ce que nous venons d'avancer.

Le premier exemple que nous prenons ici est un moment de la tâche 1 où l'enseignant interagit avec Mathieu autour de la validité de ce qu'ils disent (1/243-258). L'enseignant demande aux élèves si ce qu'ils écrivent leur pose un problème « *est-ce que vous êtes toujours capables de bien distinguer ce qui est dit par l-a classe et ce qui est dit individuellement (?)* » (1/243), Alexandre répond que ce qu'ils écrivent et ce qui est dicté leur pose parfois problème (1/245-246). Mathieu prend conscience de ce qu'il dit en classe et répond « *le problème ce n'est pas de l'apprendre mais on dit dans la vie de tous les jours (2s) ce qu'on explique nous l'histoire::: / donc des fois on peut dire des choses qui sont pas vrais (.)* » (0/252). Les deux élèves ont conscience de la différence de ce qui est enseigné en classe et de leur verbalisation donc de ce qui relève du langage quotidien et du langage « scientifique » en classe.

Le deuxième exemple montre la responsabilité d'Alexandre à expliquer une situation étudiée. Il explicite spontanément une propriété qu'il a trouvée pour la formation de l'image relative à l'exercice 2 (11/142) « *pour que l'image soit agrandie / il faut que la distance objet lentille soit inférieure ou égale à la distance focale* », l'enseignant trouve que c'est intéressant et Alexandre insiste à plusieurs reprises pour savoir si la propriété qu'il a introduite explique correctement ce qu'il a compris de la situation exercice (11/256-286). Alexandre a pris la responsabilité de ses connaissances et a produit une explication de la situation sans la demande de l'enseignant.

Nous remarquons aussi que la variation des approches communicatives, surtout l'utilisation de l'interactif et du dialogique a permis aux élèves de prendre la responsabilité

de leur compréhension des connaissances enseignées. Ils étaient motivés à répondre aux demandes de l'enseignant, ils étaient impliqués dans la réalisation des expériences. Nous pouvons dire alors qu'il y a eu dévolution, en ne limitant pas la dévolution à la motivation.

2. Coopération pour l'explication des situations

Vu la forme de la séquence d'enseignement qui est basée sur des TP-Cours, les élèves coopèrent en manipulant et en répondant aux questions dans la feuille de consignes. Ce type de fonctionnement nécessite une coopération entre les deux élèves. Ce travail coopératif permet aux élèves d'échanger leurs idées et de développer le flux du discours et de faire évoluer leurs connaissances respectives.

La coopération entre les deux élèves est caractérisée par une approche communicative interactive / dialogique où les deux élèves interagissent à chaque moment de la séquence : prévision, réalisation, explication des résultats, institutionnalisation et exercices. Les deux élèves se mettent d'accord pour donner une réponse écrite sur leur compte rendu. Au cours de cette coopération les deux élèves font la mise en relation des deux mondes : le monde de la théorie / modèle (texte du modèle) et le monde des objets / événements (expérience) et se réfèrent aussi aux connaissances introduites par l'enseignant au moment de l'institutionnalisation.

Nous présentons un exemple qui se situe au cours de la tâche 8. Mathieu n'a pas compris la consigne de traçage de rayons issus de l'infini « *ça veut dire quoi rayon infini (?)* » (8/233). Alexandre prend alors le rôle de l'enseignant et lui explique (8/242) le rayon issu de A et qui vient de l'infini en traçant un schéma sur sa feuille (8/234) et parle de faisceau parallèle à la lentille (8/236). Il fait un geste pour lui expliquer comment les rayons viennent parallèlement (8/238). Mathieu demande à l'enseignant de lui expliquer (8/254-256) mais l'enseignant lui répond qu'Alexandre « *sait expliquer très bien* » (8/257). Alexandre reprend l'explication et montre l'immeuble à Mathieu « *on a dit que pour voir l'objet là-bas il fallait mettre la lentille à trente-trois centimètres de l'écran* » (8/275). Il trace le schéma de rayon sur sa feuille (8/280). Il dit « *tu peux pas représenter la source de lumière l'image / sur ta feuille tu vois là tu peux la représenter / parce qu'elle est assez près* » (8/285). Il fait le lien avec la consigne « *oui le point A il est à l'infini (inaud.) imagine le point A il est dessiné sur l'immeuble là-bas le point A* » (8/289) et demande à Mathieu de faire le dessin (8/290-295). Alexandre reprend son explication après la correction faite par l'enseignant en montrant la cheminée à l'extérieur et Mathieu lui répond qu'il a compris ce qui était demandé (8/315-337).

Le deuxième exemple montre que les deux élèves coopèrent pour faire les prévisions. Au moment de la tâche 6, Mathieu estime que « *si on enlève la lentille on voit F de même taille / un petit peu grossi* » (6/9), Alexandre le convainc qu'il ne verra rien (6/10-14), Mathieu dit qu'on « *ne verra rien mais flou et agrandi* » (6/15-21), cette coopération permet aux deux élèves de faire les prévisions et les écrire sur leur compte rendu.

3. Compréhension conceptuelle et approche communicative au cours de la tâche

a. Techniques routinières de l'enseignant

Nous définissons dans ce paragraphe quelques techniques routinières que nous avons déterminées à partir de l'analyse a posteriori des tâches transcrites, nous considérons dans la ligne de Chevallard (1995) qu'une technique est routinière quand elle est répétée plusieurs fois et de la même façon pendant différents moments de la séquence d'enseignement.

L'enseignant suit plusieurs techniques qui, estime-t-il, aident les élèves à construire une compréhension conceptuelle. Elles sont réalisées selon une approche interactive / discours faisant autorité ou non interactive / discours faisant autorité.

Nous prenons l'exemple d'une technique routinière « *donner la réponse* ». Quand il estime que la situation pose un problème délicat pour les élèves, l'enseignant donne la réponse, en suivant une approche non interactive / discours faisant autorité, après avoir laissé beaucoup de temps aux élèves pour chercher. Au cours de la tâche 12, au moment de la construction du schéma pour la loupe, une difficulté majeure pour la construction concerne l'image du point B qui est obtenue en prolongeant les rayons émergents. Les élèves ne parviennent pas à tracer le schéma sans l'aide de l'enseignant qui donne la réponse.

Un deuxième exemple de technique routinière est « *la reprise des réponses* ». Au cours de la tâche 0, l'enseignant reformule une réponse de Mathieu « *les lentilles* » (0/18) et la met en forme pour développer le déroulement de l'étape « *les lentilles (15s) dites-le (30s) mets moi ça (2s) est-ce que vous avez fini (?) (5s) alors (3s) vous y êtes tous (?) vous pouvez me dire quelques souvenirs comme ça (!)* » (0/24). L'enseignant suit une approche interactive / discours faisant autorité en utilisant cette technique puisqu'il relance l'échange interactif avec les élèves en reformulant leurs réponses. Il utilise parfois une approche interactive / dialogique pour retransmettre une verbalisation d'un élève à toute la classe.

Un troisième exemple de technique routinière est « *lien entre les deux mondes* ». Quand l'enseignant explicite le lien entre les deux mondes et fait la différence entre les mots de chaque monde, il utilise la méthode interactive/discours faisant autorité car il estime probablement que les élèves n'ont pas encore les outils pour distinguer les deux mondes. Au cours de la tâche 0 et au moment de l'introduction et du commentaire du texte du modèle, l'enseignant fait le lien avec la théorie « *réfraction* » et les propriétés du modèle en demandant aux élèves de lire l'alinéa six puis de discuter de cet alinéa en faisant le lien avec les éléments de l'expérience. Les élèves suivent le fonctionnement de l'enseignant (0/269-278).

Un quatrième exemple de technique routinière est « *dicter le bilan* ». L'enseignant stabilise les connaissances des élèves en dictant autoritairement une phrase de clôture qui représente le bilan et fait le lien entre le phénomène de la réfraction et les alinéas du modèle (0/287-289). Cette technique se fait toujours par une approche non interactive / discours faisant autorité.

Cette présentation des diverses techniques routinières de l'enseignant n'exclue pas l'existence d'autres techniques que nous n'avons pas présentées vu leur fréquence

d'apparition pour la séquence et leur non importance pour l'analyse que nous menons.

Ces techniques présentent un moyen pour l'enseignant pour aider les élèves à avoir des repères pour la construction de la compréhension.

b. Compréhension conceptuelle des élèves

Nous présentons la construction de la compréhension chez les élèves au cours de la réalisation des tâches. Nous prenons comme indicateurs l'action langagière et non langagière des deux élèves filmés.

Un premier exemple est en rapport avec le moment de réalisation de la tâche 11. L'enseignant fait le calcul au tableau en utilisant la formule de conjugaison et demande aux élèves par une approche non interactive / dialogique, où il considère plusieurs points de vue et exploite et travaille dans différentes perspectives, donne les résultats du calcul effectué avec la formule de conjugaison (11/149-205), Mathieu a utilisé une deuxième méthode de calcul non demandée par l'enseignant « *Thalès* » (11/180-187). L'enseignant reprend cette méthode pour toute la classe. Puis, l'enseignant projette le schéma au tableau et demande aux élèves par une approche communicative interactive / discours faisant autorité si le schéma rend bien compte de la qualité de l'image, Mathieu donne la position et la taille de l'image (11/319-321), répond à l'enseignant et dit que pour que l'image soit deux fois plus grande la condition est qu'elle soit placée avant le F (11/311-327).

Un deuxième exemple se présente au cours de la tâche 13. L'enseignant fait la construction de l'image du point A par le miroir puis explicite avec les élèves la référence aux alinéas du modèle (13/245-267) en adoptant une approche interactive / discours faisant autorité. Alexandre répond avec l'alinéa 4 « *la propagation rectiligne de la lumière* » (13/248-253) et Mathieu explique que « *tous les rayons passent par les mêmes [points]* », il a construit une compréhension de la formation de l'image par point ce se manifeste par sa verbalisation plus complète (13/255) « *tous les rayons passent enfin ou sont prolongés par l'image de l'objet* ». Il suit son raisonnement dans le bon sens de la compréhension que tous les rayons issus de A passent par A' (13/260) « *donnent des rayons émergents semblant provenir de A prime en tout cas ils passent tous par A prime* ». L'enseignant reformule la réponse et donne la phrase correcte qui explique la situation. Les deux élèves font l'analogie du résultat trouvé pour le miroir à la loupe (13/265-267), cette analogie entre situations différentes montre qu'ils ont compris la formation de l'image par un miroir par le prolongement des rayons. L'enseignant demande de faire le lien avec l'alinéa six du modèle qui rend compte de la distance où on met l'œil et discute avec Mathieu de cette distance (13/283-312). Mathieu estime que plus l'objet est près du miroir plus il ne voit pas l'image et qu'il ne peut pas mettre son œil sur le miroir (13/292/294). Alexandre estime qu'il peut mettre son œil légèrement sur le miroir (13/296). Mathieu demande à l'enseignant de construire un rayon particulier, il lui dit en se référant au tableau que la zone de visibilité qu'a représenté l'enseignant ne couvre pas la totalité de la lentille mais un seul faisceau de lumière (13/310-311).

Ces deux exemples montrent que les verbalisations d'Alexandre et Mathieu au moment d'explication prouvent qu'ils ont construit une compréhension conceptuelle de la

formation des images et de la correspondance point par point. Cette construction s'est faite à travers la construction des rayons sur le schéma. L'approche communicative interactive / discours faisant autorité suivi par l'enseignant a joué un rôle important pour expliciter la compréhension que les élèves ont construite au cours de la tâche 13.

4. Compréhension conceptuelle et approche communicative au cours de la séquence

Le besoin des élèves de donner des propriétés et d'anticiper montre l'intérêt qu'ils donnent à la réalisation de la séquence ainsi que l'implication pour la construction d'une compréhension conceptuelle de la séquence. Au cours de la séquence d'enseignement nous avons observé plusieurs manifestations d'anticipation des deux élèves filmés pour l'explication de certaines situations. Nous présenterons quelques exemples.

Un premier exemple prend place au cours de l'institutionnalisation de la tâche 5 (5/217-224) :

5			NI	Pr	ben avec un rayon on coupe la lentille en deux là sur l'schéma	NI montre le schéma au tableau
5			Pr	NI	oui	
5			NI	Pr	donc y a toujours un rayon du même point qui arrive sur l'image	
5			Pr	Pr	oui	
5			NL	Pr	c'est pareil	
5			Pr	N	oui	
5			NL	Pr	c'est pour ça que si on cache la lentille euh /	
5		00 : 17 : 02	Pr	Cl	si on cache la lentille en haut j'veais pas dessiner l'rayon qu'j'ai tracé / j'veais l'tracer de façon à ce qu'il passe à travers la lentille / mais il ira toujours en P prime oui c'est exactement ça qu'on va dire quand on sera à l'activité:: six ou sept bon j'constate que vous anticipez c'est très bien ça signifie qu'vous comprenez très bien / oui / on verra ça / mais j'pense que là vous êtes capables	Pr montre le haut de la lentille avec sa main

L'enseignant constate une anticipation de l'explication du résultat de l'expérience lentille cachée de la tâche 6 par un élève. L'élève est proche d'avoir compris que le passage d'une partie des rayons à travers la lentille suffit pour former l'image (6/217-223). L'enseignant suit une approche communicative interactive pour expliciter la compréhension de l'élève au cours de la séquence et un discours faisant autorité pour faire l'évaluation positive des interventions de l'élève et pour faire le lien entre le résultat de l'expérience et sa modélisation par la schématisation des rayons (6/224).

Un deuxième exemple se situe au cours de la tâche 11. Mathieu a mis l'objet entre O et F c'est une anticipation d'une situation non encore vue et la situation étudiée est que le

F soit entre O et A (11/349). Il dialogue avec l'enseignant pour la position de l'objet par rapport à F (11/328-337). L'approche communicative interactive / dialogique a permis à l'enseignant de contrôler la verbalisation de Mathieu et de savoir les valeurs calculées (11/338-340).

Un troisième exemple est celui qui montre la construction de la compréhension conceptuelle de la formation des images par une lentille. Au cours de la tâche 14, les deux élèves interagissent, en approche interactive / dialogique, sur la construction et des valeurs en utilisant la formule de conjugaison pour faire le calcul (14/79-120). Mathieu ne comprend pas pourquoi l'image n'est pas inversée par la lentille (14/109) puis il s'aperçoit que le miroir remet droit l'image (14/111). Il a construit une compréhension de la formation des images pour une lentille, il avance la connaissance suivante « *ben oui c'est une lentille, avant quand on mettait une lentille ça inversait bien* ». Donc il a compris que parfois l'image formée par une lentille doit être inversée c'est une connaissance qui était introduite au début de la séquence avec les premières tâches. Puis il réussit bien la construction de l'image formée par la lentille puis par le miroir pour un rétroprojecteur en discutant avec Alexandre et sans l'aide de l'enseignant.

Ces exemples montrent que les élèves ont construit une compréhension conceptuelle de certaines situations au cours de la séquence d'enseignement. Cette compréhension a été explicitée à travers les approches communicatives suivies par l'enseignant ou suivant l'approche communicative suivie par les deux élèves.

5. Stabilisation des connaissances au cours d'une même tâche et lien avec l'approche communicative

Nous déterminons la stabilisation des connaissances pour les élèves à partir des répétitions que les élèves verbalisent pour une même réponse. Les élèves stabilisent des connaissances quand ils verbalisent les mêmes connaissances pour une même tâche à différents moments de prévisions, de réalisation, d'explication et d'institutionnalisation.

Un premier exemple que nous présentons se situe au cours de l'explication de la tâche 12. En adoptant une approche communicative interactive / discours faisant autorité, l'enseignant demande aux élèves de faire la manipulation et de mettre l'œil derrière la lentille et de donner la distance objet-lentille puis de donner la position de l'image. Alexandre estime qu'il faut mettre l'œil dans le plan focal de la lentille pour voir l'image entre F et F', Mathieu estime que l'œil doit être entre O et F' (12/54-88). En suivant une approche communicative interactive / dialogique, les deux élèves interagissent avec l'enseignant et donnent la position de l'objet et de l'image. Alexandre a stabilisé la connaissance que l'image doit être plus loin que l'objet et l'œil doit être mis près de O en la répétant plusieurs fois pour l'explication. Mathieu répète son explication que l'œil doit être entre O et F', Alexandre répond qu'il ne voit rien quand il mettra son œil contre la lentille, Mathieu reprend l'idée du plan focal pour dire l'endroit où il peut voir l'image. Les deux élèves ont compris que l'œil n'observe plus l'objet mais l'image que forme la lentille (12/89-108). L'enseignant discute avec Alexandre de la position de l'image par rapport à la loupe et Alexandre dit que l'image est derrière la loupe (12/198-202). Alexandre a stabilisé la connaissance que l'image est derrière la lentille en interagissant avec

l'enseignant et en insistant sur la verbalisation que l'image est derrière la lentille (12/194-203).

Un deuxième exemple se situe au cours de la tâche 13. L'enseignant demande la position de l'image ; Alexandre a construit une compréhension de la position de l'image qui est derrière le miroir et en traçant le schéma il anticipe et dit qu'il a une symétrie (13/106). En adoptant une approche interactive /dialogique, les deux élèves discutent de la position de l'image et Alexandre fait référence à la symétrie axiale (13/112-120). Mathieu reprend l'idée de la symétrie pour l'enseignant qui lui dit de mettre le rayon en rouge (13/121-130). L'enseignant conclue sur la position de l'image par rapport au miroir pour toute la classe et reprend l'idée de la symétrie (13/131-135). Alexandre répète son explication et montre qu'il a stabilisé la connaissance de symétrie axiale (13/133). L'enseignant demande la propriété « *du point de vue graphique des rayons* », un élève répond « la bissectrice » et les deux élèves disent qu'ils ont utilisé la symétrie (13/217-244), Alexandre trouve que c'est plus simple de faire l'exercice en utilisant la symétrie (13/231).

Ces exemples montrent que les deux élèves insistent sur la même verbalisation pour le déroulement d'une même tâche. Cette verbalisation est la plus proche des objectifs de la tâche ; les approches communicatives suivies par l'enseignant favorisent l'explicitation des connaissances et leur stabilisation.

6. Stabilisation des connaissances pour plusieurs tâches successives et lien avec l'approche communicative

Nous déterminons la stabilisation des connaissances pour les élèves à partir des verbalisations qui font le lien entre les différentes tâches.

Nous prenons un exemple au cours de la tâche 12 où l'enseignant demande à Alexandre de faire le lien entre le modèle et le schéma qu'il fait au tableau en adoptant une approche interactive / discours faisant autorité (12/120-135). Alexandre dit qu'il a utilisé la propriété que les points O B et B sont alignés pour faire le schéma (c'est une connaissance qui était introduite au moment de bilan de la tâche 5). L'enseignant demande aux élèves de trouver l'image par construction. Les deux élèves discutent de la position de l'image, Alexandre précise que l'image est du côté de l'objet (12/164), Mathieu ajoute qu'elle est plus grande (12/165), Mathieu dit qu'il voit l'image à quelques millimètres de la lentille. Les deux élèves utilisent les mots du modèle pour décrire et expliquer la construction. Au moment de l'institutionnalisation, l'enseignant projette le transparent de la réponse du projecteur de la diapo et montre la position de l'œil puis demande la position de l'image sur le schéma (12/204-226). Alexandre dit que l'image est derrière AB (12/215-221), L'enseignant tient compte de la réponse antérieure d'Alexandre et donne la position de l'image sur le transparent projeté (12/212). Les deux élèves ont stabilisé la connaissance de la position de l'image sur le schéma. Pour la tâche 13 Alexandre a fait l'analogie avec ce qu'il stabilisé comme connaissance dans la tâche 12 et répond à l'enseignant que l'image à travers le miroir se trouve derrière le miroir (13/90-101- 106). Au cours de cette même tâche, les deux élèves font l'analogie du résultat trouvé pour le miroir à la loupe (13/265-267), ils ont stabilisé la formation de

l'image par un miroir et le prolongement des rayons pour trouver l'image.

Le tableau 5 ci-dessous résume la stabilisation de la connaissance de la position de l'image pour la tâche 12 et la tâche 13 à travers les verbalisations des deux élèves :

Verbalisations au cours de la tâche 12	Verbalisations au cours de la tâche 13
(12/164) Alexandre montre la position de l'image du côté de	(13/97) Alexandre : l'image est de l'autre côté du miroir
(12/181) Mathieu : l'image est du côté de l'objet	(13/114) Explication avec geste
(12/198) Alexandre : l'image est derrière la loupe	(13/133-134) Alexandre et Mathieu : l'image est derrière le miroir
(12/202) Alexandre : l'image est de l'autre côté de la lentille	(13/228) Alexandre : l'image de A est de l'autre côté
(12/211) NI : l'image est derrière la lentille	
(12/213) Alexandre l'image est forcément derrière la lentille	
(12/216/221) Alexandre et Mathieu : l'image derrière AB	

Nous avons établi ce tableau en nous basant sur les interventions des deux élèves au moment d'explication de deux tâches respectives : la tâche 12 et la tâche 13. Les cellules comportent la verbalisation de chaque élève. Ce tableau montre la connaissance stabilisée par les deux élèves au cours de deux tâches successives la tâche 12 et la tâche 13. Cette stabilisation est due à l'échange que les élèves font entre eux ou avec l'enseignant ou en tenant compte de la verbalisation d'un élève à toute la classe. Elle permet aux élèves de comprendre la position de l'image « virtuelle » par rapport à l'objet et à travers un instrument d'optique ainsi que sa construction.

IV. Synthèse

Nous présentons la synthèse selon quatre grandes lignestelles que : les choix de la séquence, les approches communicatives, le processus de modélisation et les registres sémiotiques et la compréhension conceptuelle.

1. Les choix de la séquence

En ce qui concerne la construction de la séquence, plusieurs choix nous donnent une explication autour du déroulement réel de la séquence d'enseignement au moment de la réalisation et de certains comportements des élèves. Un des choix est la présentation de l'interprétation de la formation des images par les lentilles (partie 3) avant celle des miroirs plans, car c'est en interprétant pourquoi ce que l'on voit sur un écran peut être net ou flou que l'on permet aux élèves de comprendre plus facilement la formation d'une image. C'est possible avec les lentilles, beaucoup moins avec un miroir (ou une loupe) puisque ce qui est vu est toujours net car virtuel et puis on accommode. Ce choix a eu un effet sur le

comportement langagier des élèves au moment de la réalisation de la tâche 12 et la tâche 13. Il a permis aux élèves de comprendre la formation d'une image par prolongement des rayons ainsi que la construction de cette image.

Au moment de la construction de la séquence le choix de présenter le rétroprojecteur comme application pour la formation de l'image à travers une lentille et un miroir en même temps a montré l'importance de cette application pour atteindre les objectifs de la séquence et a permis d'explicitier les connaissances stabilisées et construites par les élèves : la formation des images à travers une lentille et un miroir à partir de la construction des schémas et de leur verbalisation.

Le recours par l'enseignant à des situations de la vie quotidienne plus que quatre fois (situation du mirage, situation du laser de la tour du Crédit Lyonnais, appareil photo, image d'un immeuble...) au cours de la séquence d'enseignement a permis aux élèves de concrétiser davantage le modèle de l'optique géométrique qui est essentiellement un modèle théorique.

2. Les approches communicatives

La variation des approches communicatives a permis à l'enseignant de présenter la mise en relation entre le monde des objets / événements et le monde de la théorie modèle, ainsi que la mise en relation entre les registres, et a eu un effet direct sur la réalisation des liens par les élèves. Ceci est apparu surtout au moment des explications des résultats des expériences en faisant référence aux alinéas du modèle et en faisant référence à l'expérience et parfois en construisant un schéma.

Le rôle de l'enseignant a été de trouver un équilibre entre une approche communicative dialogique ou faisant référence, et interactive ou non-interactive au moment de la réalisation de la séquence en classe.

Généralement pour aider les élèves à intérioriser les idées scientifiques et les appliquer dans d'autres situations l'approche utilisée est interactive.

L'enseignant demande explicitement le recours aux alinéas du modèle et utilise généralement la méthode interactive / discours faisant autorité d'où il guide les élèves à expliciter les mots les plus pertinents du modèle pour expliquer ou pour prévoir.

L'approche non interactive / discours faisant autorité au moment de présentation du bilan des tâches a facilité pour les élèves l'intégration par les élèves du langage scientifique.

L'approche communicative interactive / discours faisant autorité ou dialogique a mis l'élève en position d'énonciateur de langage scientifique en cherchant à développer son flux du discours.

L'approche communicative interactive / dialogique a permis aux élèves de se mettre d'accord pour les réponses et l'explication des situations et la prise de décision en intégrant leurs idées respectives.

3. Le processus de modélisation et les registres sémiotiques

L'activité langagière de l'enseignant a eu un effet au cours de la réalisation de la séquence d'optique sur celle de l'élève au niveau de la verbalisation et du point de vue de la modélisation.

Le modèle qui est un système représentatif d'un système concret (ex : la modélisation des marches des rayons, la modélisation d'une lentille mince convergente) a facilité l'intégration des mots du langage scientifique lié à l'optique géométrique pour l'enseignant et les élèves au cours de la séquence.

L'introduction du texte du modèle a aidé les élèves à intégrer les mots du modèle dans leur interaction au moment des prévisions et des explications des résultats des expériences.

L'utilisation de processus de modélisation par les élèves et les registres sémiotiques se résume dans la figure ci-dessous :

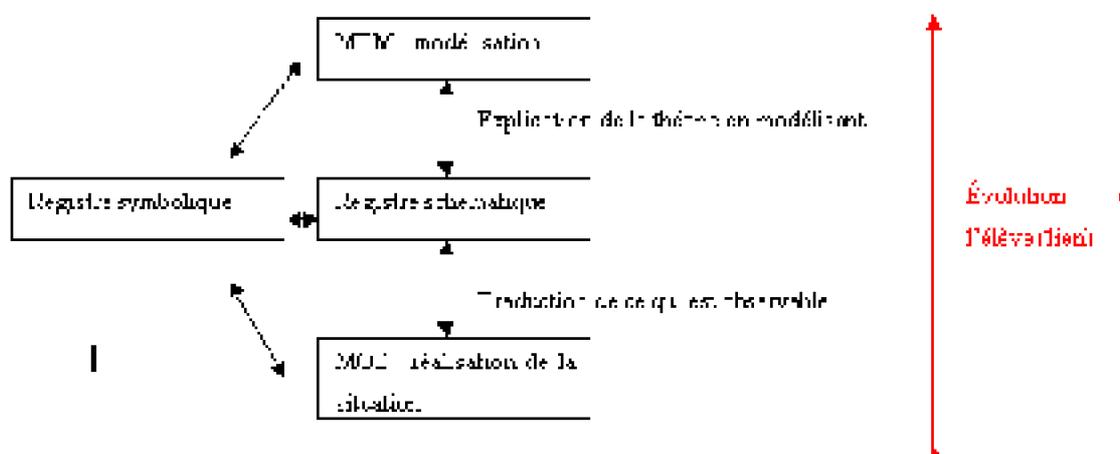


Figure 1 : Mise en relation entre processus de modélisation et registres

4. La compréhension conceptuelle

La stabilisation de certaines connaissances ne permet parfois pas de déterminer l'évolution des conceptions des élèves. Au cours de la réalisation de la séquence d'enseignement, expérience de la lentille cachée au cours de la tâche 6, Mathieu a manifesté une conception de « l'image voyageuse » en donnant une explication de la situation qui se réfère à son monde propre mais en utilisant quand même les mots du texte du modèle. Nous avons déterminé l'apparition de cette conception en nous basant sur la verbalisation et le geste qu'il fait au moment de l'explication (voir la description du geste en annexe). Au cours de la réalisation d'autres tâches nous avons eu recours à ce qu'il a construit comme compréhension de la décomposition de l'objet en points pour la formation de l'image mais nous n'avons pas eu d'indices pour déterminer s'il a encore la conception de « l'image voyageuse » ou pas.

Les élèves changent de niveau de savoir en se référant à l'expérience et au texte du modèle avec ou sans l'aide de l'enseignant. Ceci a permis l'appropriation des certaines connaissances de l'optique géométrique.

Les élèves ont pris en charge la construction de leurs connaissances pour elles-mêmes donc il y a eu une dévolution qui a pu favoriser la stabilisation de certaines connaissances et l'appropriation d'un langage scientifique de modélisation.

Conclusion générale

Les conclusions que nous pouvons énoncer se situent à deux niveaux : les résultats que nous avons observés sur les élèves, et les jugements que nous pouvons porter sur la façon dont nous avons obtenu ces résultats.

Nous commençons par présenter les conclusions que nous avons tirées à travers notre analyse, cela sera l'objectif des trois premiers paragraphes ci-dessous, puis nous présenterons les limites de la méthodologie que nous avons suivie pour ce travail, ensuite nous tirerons quelques conséquences sur le choix de la séquence d'enseignement et enfin nous présenterons quelques perspectives.

I. Moments de l'enseignement et approches communicatives

Le tableau ci-dessous (Tableau 1) a été constitué en reportant les dernières lignes des tableaux 2, 3, 4, 5 du chapitre 8. Il contient donc les occurrences observées d'approches communicatives (en pourcentages) pour chaque moment de l'enseignement.

Tableau 1 : occurrences des approches communicatives (en pourcentages) pour chaque moment de l'enseignement

Interactions enseignant-élèves et situations d'enseignement-apprentissage en optique géométrique

Types de moments	Approches Communicatives (pourcentages)			
	NI/A	NI/D	I/A	I/D
introduction	50	0	50	0
prévision	0	0	21	79
réalisation	10	0	48	42
institutionnalisation	33	0	53	14

Sur ces résultats nous pouvons énoncer les conclusions suivantes sur les rapports entre les approches communicatives et les moments d'enseignement :

- Dans trois des quatre moments définis (prévision, réalisation, institutionnalisation), les approches interactives sont plus fréquentes que les approches non interactives. Nous avons déjà signalé que ce peut être un trait caractéristique de la façon d'enseigner de cet enseignant.
- Dans les moments d'institutionnalisation, les approches interactives sont relativement moins prépondérantes, mais elles demeurent majoritaires, contrairement à ce qu'on pourrait attendre. L'utilisation de cette approche a permis aux élèves en répondant aux questions ou en interagissant, d'explicitier les connaissances qu'ils ont stabilisées à partir de la prise de conscience de la contradiction des prévisions avec le résultat de l'expérience (tâche de 1 à 7) ou à partir de la réalisation seulement de l'expérience.
- Les moments de prévision et les moments de réalisation semblent favorables à l'approche dialogique. Les élèves intègrent les mots du modèle en se référant à l'expérience sans la faire au moment des prévisions, ils font une représentation abstraite des éléments de la situation en interagissant entre eux ou avec l'enseignant pour faire et expliciter ces prévisions (cf. tableau 2 chapitre 8). Dans les moments de réalisation, il y a dialogisme à cause des points de vue différents de ceux qu'ils ont émis dans les phases de prévisions, et qui sont mis en jeu au moment de l'expérience.
- L'approche faisant autorité est très prédominante dans les moments d'introduction et d'institutionnalisation. Ce résultat était prévisible : dans les moments d'introduction, l'enseignant organise le travail de la classe, donne les consignes et les éléments conceptuels qui permettront de réaliser les activités. Dans les moments d'institutionnalisation, il énonce et rend publics les éléments conceptuels qui ont été mis en jeu dans l'activité ; ce pourrait être une occasion de confronter dans son propre discours les points de vue qui sont apparus au cours de l'activité ; mais cet enseignant ne le fait pas, ce que traduit un nombre nul d'approches NI/D, comme le tableau 1 le montre également.

D'après ce qui vient d'être présenté ci-dessus, nous pouvons conclure que certaines approches communicatives sont plus utilisées dans le discours de la classe dans certains moments : l'interactif / dialogique pour les moments de prévisions, et l'interactif / discours faisant autorité pour l'institutionnalisation et pour la réalisation. Ceci n'empêche pas que les autres approches puissent être utilisées, mais d'une façon moins fréquente.

II. Evolution du flux du discours

L'évolution du flux du discours s'est faite au cours du déroulement de la séquence d'enseignement. Au début de la séquence les élèves ont eu du mal à utiliser fréquemment les mots du modèle de l'optique géométrique : image, objet, écran, lentille, tache, puis au milieu de la séquence l'appropriation de ces mots était visible dans le langage des élèves pour les différents moments. Au cours du déroulement de la séquence d'enseignement, les élèves ont acquis une certaine maîtrise du langage scientifique qui coexiste avec le langage quotidien, notamment des mots qui leur sont donnés dans le texte du modèle et qui l'ont aidé à expliquer les situations étudiées. Alexandre s'est approprié donc les mots du modèle de la propagation rectiligne de la lumière (cf paragraphe b évolution du flux du discours pour les deux élèves, chapitre 8) ceci est peut être dû à l'introduction du modèle par l'enseignant, aux connaissances antérieures enseignées en classe de seconde et au collègue et /ou aux interactions avec Mathieu ou avec l'enseignant.

D'après l'évaluation globale de la séquences d'enseignement, nous avons remarqué alors que le langage scientifique s'introduit dès le début de la séquence par l'enseignant et les élèves, l'appropriation des mots du modèle commence à partir des prévisions en interaction, la stabilisation des connaissances introduites se fait au moment de la réalisation et les élèves commencent à construire leurs connaissances au moment de l'institutionnalisation, cet ordre n'est pas définitif ni général mais applicable pour la séquence que nous avons étudiée.

III. Compréhension conceptuelle et approches communicatives

Le modèle joue un rôle important dans la stabilisation des connaissances des élèves et leur compréhension conceptuelle.

les approches communicatives sont déterminantes sur la stabilisation des connaissances et compréhension conceptuelle

Les moments d'enseignement ont permis de faire émerger le rôle déterminant du modèle et des approches communicatives dans la stabilisation des connaissances des élèves et leur compréhension conceptuelle.

Nous avons montré que la séquence d'enseignement, conçue pour établir le lien entre les deux mondes, favorise

- la diversité des approches communicatives et
- l'appropriation d'un langage scientifique par les élèves.

Cet ensemble permet la compréhension conceptuelle des élèves

L'interaction entre les deux élèves et leurs verbalisations à travers une approche communicative interactive / dialogique leur a permis la construction d'une compréhension conceptuelle de certaines connaissances au cours de la séquence d'enseignement : essentiellement la formation de l'image par une lentille et par un miroir, et la décomposition des objets lumineux en sources ponctuelles élémentaires. Le comportement langagier des deux élèves nous a renseigné sur les approches communicatives utilisées au cours de la réalisation de la séquence d'enseignement, et sur les connaissances qu'ils ont stabilisées ou qu'ils ont utilisées pour l'explication, les prévisions, l'interprétation ou l'évaluation et sur la façon dont cette stabilisation a eu lieu. Les deux élèves font l'analogie entre les résultats trouvés pour les expériences avec le miroir et avec la loupe (approche communicative interactive / dialogique). Les deux élèves ont stabilisé la connaissance de la position de l'image « virtuelle » par rapport à l'objet et à travers un instrument d'optique ou par sa schématisation.

Les deux élèves filmés ont pris en charge la responsabilité de la construction de leur connaissance. Nous avons noté tout au long de la séquence que la plupart du temps, les deux élèves effectuaient les tâches qui leur étaient demandées, prenaient des initiatives, argumentaient entre eux quand ils n'étaient pas d'accord, prenaient au sérieux ces discussions. Ils n'ont jamais attendu que l'enseignant donne la solution, ou qu'elle leur vienne complètement d'un autre groupe d'élèves. Ils se demandaient parfois ce que l'enseignant attendait d'eux (contrat didactique). L'interaction élève-élève par une approche communicative interactive / dialogique a permis la construction d'une compréhension conceptuelle au cours de la séquence d'enseignement.

Ils ont pris cette responsabilité de la construction de leurs connaissances en faisant la différence entre ce qu'ils disent pour expliquer les situations et ce qui est dit par l'enseignant, ou par l'anticipation pour Alexandre, à donner une propriété de la formation de l'image sans la demande de l'enseignant (cf paragraphe dévolution chapitre 8). La dévolution ici est une condition nécessaire pour la construction de la compréhension conceptuelle mais n'est pas suffisante. Cette dévolution s'exprime aussi dans la prise de responsabilité des élèves en interagissant ensemble et en réalisant un travail coopératif de prévision, de réalisation ou d'évaluation. Cette coopération a été caractérisée par une approche interactive /dialogique permettant aux élèves d'échanger leurs connaissances (savoir) et les savoirs faire et d'intégrer le langage scientifique relatif au texte du modèle (cf. le paragraphe sur la coopération pour l'explication des situations). Au cours de cette coopération les deux élèves font la mise en relation entre le monde de la théorie modèle et le monde des objets événements (voir le paragraphe sur l'utilisation par les élèves chapitre 8) et l'utilisation fréquente des registres schématiques et symboliques (voir l'utilisation des registres sémiotiques chapitre 8) qui les aide à construire leur compréhension conceptuelle.

La compréhension conceptuelle est déterminée par l'anticipation des deux élèves à expliquer certaines situations. Nous remarquons d'après ce que nous avons avancé comme analyse que la stabilisation des connaissances permet et facilite aux élèves la compréhension conceptuelle satisfaisante du point de vue des concepts de l'optique géométrique. La stabilisation des connaissances au cours d'une même tâche se fait donc

par une approche communicative à dimension interactive et à travers la répétitions des verbalisations des deux élèves au cours de différents moments d'une même tâche ou au cours plusieurs tâches différentes. C'est le cas de « l'image est derrière la lentille » (miroir), la symétrie pour la construction de l'image, l'alignement des points O, B et B' qui a été utilisé entre autres au cours de la tâche 5 et tâche 12, la position de l'image pour une loupe et à travers un miroir et la construction de l'image par le prolongement des rayons. Les deux élèves ont stabilisé la connaissance de la position de l'image « virtuelle » par rapport à l'objet et à travers un instrument d'optique et sa schématisation (modélisation) (cf tableau 5, chapitre 8).

En ce qui concerne la compréhension conceptuelle, nous avons trouvé que certaines verbalisations d'Alexandre montrent qu'il a construit une compréhension de la situation étudiée pour la formation de l'image à travers un miroir, avec Mathieu ils font l'analogie de la formation de l'image à travers une loupe et à travers un miroir par la construction des rayons qui forment l'image. Les deux élèves ont construit alors une compréhension conceptuelle de la formation de l'image à travers un instrument optique et la correspondance point par point pour la formation des images.

Cette compréhension conceptuelle a été déterminée à partir des actions langagières et non langagières de l'enseignant et des élèves. Nous avons trouvé que l'approche communicative interactive / discours faisant autorité aide l'enseignant à expliciter la compréhension conceptuelle chez les élèves par exemple autour de la position et la taille de l'image formée à travers un instrument optique, les différentes méthodes de calculs utilisées et les conditions dégagées par les élèves pour expliquer la formation de l'image (cf. paragraphe compréhension conceptuelle des élèves chapitre 8). La compréhension conceptuelle au cours de la séquence d'enseignement a été déterminée aussi à travers l'anticipation des deux élèves à expliquer certaines situation à partir d'une approche communicative à dimension interactive (dialogique ou discours faisant autorité). Par exemple le fait qu'un seul rayon peut permettre la formation de l'image à travers la lentille (cf. paragraphe compréhension conceptuelle au cours de la séquence d'enseignement chapitre 8), et la propriété renversée de l'image à travers la lentille au cours de la tâche 14.

De point de vue de l'enseignant, et pour aider les élèves à construire des connaissances, l'enseignant varie les approches communicatives au cours des situations en utilisant des techniques routinières telles que : donner la réponse, la reformulation des réponses, lien entre les deux mondes, dicter le bilan. Ces techniques peuvent peut-être jouer un rôle important dans la stabilisation des connaissances chez les élèves et nécessitent une étude plus profonde qui montre le rôle que jouent ces techniques dans l'interaction enseignant-élèves et élève-élève (cf. techniques routinières de l'enseignant Chapitre 8).

Les approches communicatives sont déterminantes sur la stabilisation des connaissances et compréhension conceptuelle. La stabilisation des connaissances au cours d'une même tâche se fait par une approche communicative interactive soit dialogique soit faisant autorité pour l'enseignant et les élèves. L'approche communicative interactive / discours faisant autorité aide l'enseignant à expliciter la compréhension conceptuelle des élèves

IV. Des résultats produits par une méthodologie qualitative

La méthode qualitative d'analyse repose sur un découpage de la séquence opéré sur la base des interactions entre enseignant et élèves et entre élèves. Le simple fait de construire ce découpage apporte des éléments de compréhension de l'évolution de l'élève, parce que la caractérisation de chacune des étapes nécessite d'évaluer le sens que l'élève attribue à ses activités en interagissant avec d'autres élèves ou avec l'enseignant.

Cette méthodologie d'analyse s'est intéressée à un enseignant et deux élèves pendant une longue durée, s'étendant sur plusieurs mois. Certaines études de didactique qui suivent finement l'activité des élèves portent sur des séances courtes, en observant plusieurs élèves de façon à pouvoir énoncer des résultats plus précis. Or une observation de longue durée est la seule méthode qui permette de reconstituer la cohérence de ce qui se fait réellement au cours d'une séquence d'enseignement. Étudier les interactions en classe et leurs effets sur la compréhension conceptuelle ne se fait pas sur une seule séance et ne peut pas permettre de comprendre le développement du sens des concepts de la physique.

V. Les conséquences du choix de la séquence d'enseignement

Le point de vue épistémologique de donner aux élèves un moyen (le texte du modèle) pour différencier les niveaux de savoir de la physique enseignée a joué un rôle important dans la stabilisation des connaissances des élèves et leur compréhension conceptuelle. La mise en relation des deux niveaux de savoir : le monde des objets événements et le monde de la théorie modèle a aidé les élèves à réussir dans l'accomplissement des tâches et à stabiliser certaines connaissances. L'introduction d'un texte du modèle au cours de la séquence a facilité le travail des élèves. L'utilisation du modèle est faite principalement par l'enseignant lors du déroulement de la séquence et par les élèves suivant les moments de la séquence. L'enseignant introduit le modèle par la mise en relation entre les mondes de la théorie/modèle et des objets/événements. Les élèves construisent leurs connaissances en interagissant et en se référant au texte du modèle où ils choisissent les alinéas correspondants pour interpréter les situations. Au début de la séquence les élèves choisissent de façon aléatoire les alinéas du modèle pour expliquer, prédire ou valider les résultats de l'expérience. Au fur et à mesure de l'évolution de la séquence les élèves choisissent les alinéas les plus pertinents pour l'explication des résultats. Le modèle joue un rôle important dans la stabilisation des connaissances des

élèves et leur compréhension conceptuelle.

Nous pouvons conclure que l'introduction du modèle et sa mise en relation avec les expériences par l'enseignant ont permis aux élèves d'établir des liens entre les deux mondes par le choix des alinéas du modèle et des éléments pertinents de l'expérience. Nous avons montré que la séquence d'enseignement, conçue pour établir le lien entre les deux mondes, favorise la diversité des approches communicatives et l'appropriation d'un langage scientifique par les élèves. Cet ensemble permet la compréhension conceptuelle des élèves.

VI. Quelques perspectives

Ce travail ouvre plusieurs perspectives :

- Des perspectives pour l'enseignement :
 - Inciter l'enseignant à se référer aux différents « moments » d'enseignement pour la préparation de son enseignement et la gestion de sa classe.
 - Inciter l'enseignant à une pratique d'enseignement interactif et varier les approches communicatives en tenant compte des « moments »

- Des perspectives de recherche :
 - L'étude de l'évolution au cours du temps de la compréhension conceptuelle en optique géométrique
 - Utiliser les approches communicatives
 - * pour dégager des styles d'enseignement et les comparer
 - * et / ou dégager un modèle d'enseignement

- Articuler ce travail avec la production écrite des élèves et étudier son rôle dans la compréhension conceptuelle.

Annexes

Annexe 1

[these_tachoua_n_annexe1.pdf](#)

Annexe 2

[these_tachoua_n_annexe2.pdf](#)

Références bibliographiques

- Altet M. (1995).** De la psychopédagogie aux sciences de l'éducation : hommage à Marcel Postic. Nantes, CRDP.
- Bakhtine M. (1984).** Esthétique de la création verbale. Paris : Gallimard.
- Bange P. (1992).** Analyse conversationnelle et théorie de l'action. Paris : Hatier.
- Bernié J.P. (2002).** L'approche des pratiques langagières à travers la notion de « communauté discursive » : un apport à la didactique comparée ? in Revue Française de Pédagogie, n°141, octobre-novembre-décembre 2002, pp. 77-78.
- Buty C. (2000).** "Etude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation informatique", thèse de doctorat, Université Lumière Lyon II.
- Brassac C. (2003).** Communication et cognition. Objet et interpsychologie, Nancy : HDR.
- Brousseau G. (1986).** Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. Recherche en Didactique des Mathématiques, vol. 7, n° 2, pp. 33-116.
- Brousseau G. (1998).** Théorie des situations didactiques. Textes rassemblés et préparés par N. Balacheff, M. Cooper, R. Sutherland, V. Warfield, Grenoble, La Pensée Sauvage.
- Bronckart J.P. (1985a).** Le fonctionnement des discours : un modèle psychologique et une méthode d'analyse. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.

- Bronckart J.P. (1985b).** Vygotsky aujourd'hui. Sous la direction de Schneuwly B et Bronckart J.P. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Bronckart J.P. (1997).** Activité langagière, textes et discours : pour un interactionisme socio-discursif. Lausanne : Delachaux et Niestlé.
- Bouchard R. (1981).** L'étude des échanges verbaux en classe de mathématiques. Séminaire de didactique et pédagogie des mathématiques. Grenoble : IMAG N° 33, 1981-1982.
- Bouchard R. (1998).** L'interaction en classe comme polylogue praxéologique. In Grossmann F., Ed. Pratiques langagières et didactiques de l'écrit. Grenoble 3 : Ivel-Lidilem, pp.193-210.
- Bouchard R. (1999).** Le dialogue pédagogique : unités pragmatiques et procédés énonciatifs. In Barberis J.-M., Le français parlé variétés et discours. Montpellier III : Université P. Valéry, pp. 69-8.
- Bouchard R., Rollet C. (2003).** Pour une méthodologie d'analyse didactico-interactionnelle des pratiques d'enseignement-apprentissage : à propos d'une séance de mathématiques à l'école primaire. Communication au colloque « Construction des connaissances et langage dans les disciplines d'enseignement », Bordeaux, 3-5 avril 2003.
- Chevallard Y. (1995).** La fonction professorale : esquisse d'un modèle didactique. Actes de la VIIIe Ecole d'été de didactique des mathématiques. Saint Sauves en Auvergne. Vol 12/1, pp. 73-112, Grenoble : La Pensée Sauvages Editions.
- Chevallard Y. (1989).** Le passage de l'arithmétique à l'algèbre dans l'enseignement des mathématiques au collège . Deuxième partie . Perspectives curriculaires : la notion de modélisation . Petit x , n° 19, pp. 45-75 .
- Decketel J.M. (1980).** Observer pour éduquer. Berne : Peter Lang.
- Duval A. (1995).** Sémiotis et pensée humaine. Bern.
- Fawaz A., Viennot L. (1986).** " Image optique et vision : enquête en classe de première au Liban ". Bulletin de l'Union des Physiciens, n°686, pp. 1125-1146.
- Filliettaz L. (2002).** La parole en actions, Quebec : Ed Nota Bene,
- Flanders (1960).** Analyzing teaching behavior. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- François F. (1999).** Mot et dialogue chez Vygotski et Bakhtine. In Avec Vygotski, Y. Clot (dir.), Paris, La Dispute, pp. 189-208.
- Goldberg F.M & McDermott L.C. (1986).** " Student Difficulties in Understanding Image Formation by a Plane Mirror", Physics Teacher, novembre 1986, pp. 472-480.
- Goldberg F.M & McDermott L.C. (1987).** " An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror ", American Association of Physics Teachers, Vol 55, n°2, February, pp. 108-119.
- Huygens C. (1992).** Traité de la lumière, éd Dunod, Paris.
- Johsua S., Dupin J.J. (1993).** Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques, PUF, Paris.
- Kaminski, W. (1989).** " Conceptions des enfants (et d'autres) sur la lumière ". Bulletin

de l'Union des Physiciens, n°716, pp.973-997.

- Kaminski, W. (1991).** “ Optique élémentaire en classe de quatrième : raison et impact sur les maîtres d’une maquette d’enseignement t ”. Thèse, Université Paris VII.
- Kerbrat-Orecchioni C. (1990).** Les interactions verbales. Paris : Colin.
- Kerbrat-Orecchioni C. (2001).** Les actes de langage dans le discours : théorie et fonctionnement. Paris : Nathan.
- Le Marechal J.F., Buty C., Tiberghien A. (1999).** Teaching situations based on a modelling approach. In M. Komorek, H. Behrend, H. Dahncke, R. Duit, W. Graber, A. Kross (eds.), Proceedings of the second international conference of ESERA, Kiel, pp. 174-177.
- Le Maréchal J-F., Buty C., Tiberghien A. (2001).** Constructing teaching sequences: what are the grounding choices? Participation à un atelier de posters, troisième Conférence de l'ESERA, Thessaloniki, août 2001.
- Leach J., Scott P. (1999).** Teaching and learning science: linking individual and sociocultural perspectives. Communication in the meeting of European Association for Research in Learning, Göteborg, August 1999.
- Leach J., Scott P. (2002).** Designing and evaluating science teaching sequences: an approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning, Science Education, June 2002
- Lena, P. Bianchard, A. (1990).** Lumières : une introduction aux phénomènes optiques, InterEditions, Paris.
- Manoubi, T. (1999).** L'optique géométrique, Centre de Publication Universitaire, Tunisie.
- Mortimer E., Scott P. (1999).** Analysing discourse in the science classroom. In R. Millar, J. Leach and J. Osborne (Eds.) Improving Science Education: the contribution of research, Buckingham: Open University Press, pp. 126-142.
- Mortimer E., Scott P. (2003).** Meaning making in secondary science classroom. September 2003, Open University Press.
- Moscovici H.(1984).** “ De la science au sens commun ”. in Psychologie sociale. Paris, PUF.
- Razouki A. (1995).** “ Conceptions d’élèves du collège et du lycée à propos de la lumière et de son, rôle dans la vision des objets ”. Thèse, Ecole Normale Supérieure de RABAT.
- Robert A. (1999).** Recherches en didactiques sur la formation professionnelle des enseignants de mathématiques du second degré et leurs pratiques en classe, in Didaskalia, ed° DeBoeck, n°15, pp. 123-157.
- Ronchi, V. (1956). *Histoire de la lumière*. Paris, Armand Colin.
- Roth W.M. (1996).** Thinking with hands, eyes, and signs : multimodal science talk in a grade 6/7 unit on simple machines. Interactive Learning Environments, 4, pp. 170-187.
- Roth W.-M., McRobbie C.J., Lucas K.B., Boutonne S. (1997).** The local production of order in traditional science laboratory : a phenomenological analysis. Learning and Instruction, vol. 7, n°2, pp. 107-136.

- Roth W.-M.** (1998). Learning process studies : examples from physics. *International Journal of Science Education*, vol. 20, n° 9, pp. 1019-1024.
- Roth W.M & Bowen G.M.** (1999). Decalages in talk and gesture : visual and verbal semiotics of ecology lectures. *Linguistics and Education*, 10 (3), 335-358.
- Roth W.M.** (2000). From gesture to scientific language. *Journal of Pragmatics*, 32 (11), pp. 1683-1714.
- Roth W.M., Lawless D.** (2002). " Scientific investigations, metaplorical gestures, and the emergence of abstract scientific ", in *Learning and Instruction*, n 12, Juin 2002, pp. 285-304.
- Roulet E (et al.).** (1985). *L'articulation du discours en français contemporain*. Berne : Peter Lang.
- Roulet E.** (1999). *La description de l'organisation du discours : du dialogue au texte*. Paris Didier.
- Roulet E., Fillietaz L., Grobet A.** (2001) *Un modèle et un instrument d'analyse de l'organisation du discours*. Berne : Peter Lang
- Perez, J P.** (1984). *Optique fondements et applications*. Masson. 5 ème édition 1996, Paris.
- Provost, P et al.** (1980), *Optique*, vol 1, optique et principe de Fermat, CEDIC.
- Postic M.** (1974). *Observation objective des comportements d'enseignants : étude de comportement de professeurs de sciences*. PUF.
- Postic M.** (1977). *Observation et formation des enseignants*. PUF, collection Pédagogie d'aujourd'hui.
- Sabah G (et al.).** (1999). Using dialogue analysis to capture teacher/student interactions that promote changes in understanding. In *Modelling changes in understanding : case studies in physical reasoning*, Ed by Daniel Kayser & Stella Vosniadou, PER GAMON.
- Sensevy G., Mercier A., Schubauer-Leoni M.L.** (2000). *Vers un modèle de l'action didactique du professeur. A propos de la course à 20*. *Recherches en didactique des mathématiques* 20/3 pp. 263-304.
- Sensevy G.** (2001). *Théorie de l'action et action du professeur*. In *Théories de l'action et éducation*, DeBoeck Université, pp. 203-224.
- Simon, G.** (1999a). " Image ". *Dictionnaire de l'histoire et de la philosophie des sciences*, PUF, Paris, pp. 491-493.
- Simon, G.** (1999b). " Vision ". *Dictionnaire de l'histoire et de la philosophie des sciences*, PUF, Paris, pp.982-986.
- Tachoua N.** (2001). *Etude d'une évolution des conceptions au cours de la réalisation d'une séquence d'enseignement (Cas de l'optique géométrique)*, Mémoire de DEA, juillet 2001.
- Tiberghien A.** (1983). *Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens de la lumière chez les élèves de 10 à 16 ans*. In *Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international*, La Londe pp. 125-134.
- Tiberghien A.** (1994). *Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations* .

Learning and Instruction, vol. 4 pp. 71-87 .

Tiberghien A., Megalakaki O. (1995). Characterization of a modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy. *European Journal of Psychology of Education*, vol. 10, n° 4, pp. 369-383.

Tiberghien A. (1996). Construction of prototypical situations in teaching the concept of energy. In G. Welford, J. Osborne, and P. Scott (Eds), *Research in Science Education in Europe*. London, Falmer Press, pp. 100-114.

Tiberghien A. (1997). Learning and teaching : differentiation and relation. *Research in Science Education*, vol. 27, n° 3, pp. 359-382.

Tiberghien A., De Vries E. (1997). Relating characteristics of teaching situations to learners activities. *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 13, pp. 163-174.

Vergnaud G. (2000). *Lev Vygotski : pédagogue et penseur de notre temps*. Hachette Education.

Ver Eecke, P. (1959). *Euclide : l'optique et la catoptrique*, éd LST Albert Blanchard, Paris.

Viennot L. (1996). *Raisonnement en physique, la part du sens commun*, De Boeck.

Vince J. (2000). *Approches phénoménologiques et linguistique des connaissances des élèves de 2nde sur le son. Contribution à l'élaboration analyse d'un enseignement et au développement d'un logiciel de simulation*. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2.

Vygotsky L.S. (1997). *Pensée et Langage*. 3^{ème} édition, Paris, La Dispute.

Walliser B. (1977). *Systèmes et modèles*. Paris, Seuil.