

IUFM Orléans-Tours
Année universitaire 2003-2004

Mémoire professionnel

Les apports de la modélisation dans l'acquisition des connaissances en astronomie

Nicolas CHEMIN
Professeur des écoles stagiaire
Directeur du mémoire: Marie-Anne Pierrard

Remerciements : Marie-Anne Pierrard, pour ses conseils
Thierry Baumer, pour son soutien
Les enseignants, pour leur accueil

SOMMAIRE

Introduction	p.5
---------------------	------------

Première partie: La modélisation et l'enseignement scientifique **p.6**

I- Qu'est-ce qu'un modèle?	p.6
1. Images et schéma	p.7
2. Théorie/ loi/ modèle et réalité	p.7
3. La mathématisation	p.8
4. Modèle/ modélisation/ méthode des modèle	p.8
5. Définition générale du modèle	p.8
II- Modèle et méthode expérimentale	p.9
III- Les fonctions du modèle	p.11
1. Expliquer	p.11
2. Prévoir	p.12
IV- Modéliser à l'école élémentaire	p.12
1. Modèles et représentations	p.13
2. L'astronomie, domaine privilégié pour la modélisation	p.14
3. Bénéfices pour l'élève de l'utilisation de modèles	p.14
V- Les obstacles à la modélisation	p.15
1. Les représentations des élèves	p.15
2. Non différenciation modèle/ réalité	p.15
VI- Les limites d'un modèle	p.15

Deuxième partie: Choix du problème, les contraintes, les attentes **p.17**

I- La problématique de recherche	p.17
II- Présentation du protocole de recherche: nécessité de la comparaison	p.18
III- Présentation des deux classes	p.19
IV- Justification de la séquence adoptée	p.20
V- Référence au programme	p.21
VI- Les attentes de la recherche	p.21

<u>Troisième partie: Pratique et analyse comparative</u>	p. 22
I- Présentation de la séquence	p.22
1. Dans la classe test	p.22
2. Dans la classe témoin	p.22
II- Les représentations des élèves: bilan de départ	p.23
1. Dans la classe test	p.24
2. Dans la classe témoin	p.25
III- Le déroulement des séances	p.25
1. L'émission d'hypothèses	p.26
2. La première phase de recherche	p.26
3. Analyse du document "l'expérience d'Adrien"	p.27
4. La deuxième phase de recherche	p.27
IV. Evaluation intermédiaire	p.28
V. Evaluation finale, analyse comparative	p.29
VI. Le rapport des élèves au modèle: réflexion sur le sens des activités	p.31
VII. Améliorations à apporter à la séquence	p.32
VIII. Ce qui aurait pu être fait à la suite de la séquence	p.33
Conclusion	p.34
Bibliographie	p.35
Sommaire des annexes	p.36

Introduction

Au cours de mes différentes expériences, j'ai pu remarqué l'intérêt que portaient les élèves pour tout ce qui relève de l'astronomie: trous noirs, météorites, comètes, éclipses ... Pourtant, malgré cette fascination pour l'espace et les découvertes récentes, fortement médiatisées, il est étonnant de constater chez ces mêmes élèves une très grande ignorance et des confusions concernant des phénomènes beaucoup plus accessibles et ayant une incidence directe sur notre environnement: ignorance concernant l'explication de l'alternance jour/ nuit, concernant le phénomène des saisons, confusion entre les phases de la Lune et les éclipses, confusion étoile/ étoile filante/ planète...

Ayant suivi ,lors de mon cursus universitaire, une formation en psychologie, je sais que les enfants n'entrent pas vierges de connaissances à l'école, ils se sont construit des représentations afin d'organiser le monde qui les entoure et de palier au manque d'expérience des premières années de la vie.

Lorsque commence l'enseignement scientifique à l'école, au cycle 3, l'enfant commence à raisonner logiquement sur les objets et les phénomènes qui l'entourent. Sa capacité d'abstraction augmente, lui permettant d'intégrer des informations nouvelles autres que celles provenant de ses propres perceptions. Mais il sort d'une période de construction intellectuelle marquée par l'égoïsme et le raisonnement intuitif et naïf. C'est ce qui explique les conceptions erronées du monde qu'il peut avoir à cet âge où le ressenti occupe une place aussi important que l'information objective.

C'est pourquoi, il m'a semblé intéressant de faire un travail dans le domaine astronomique, lieu des représentations les plus inattendues, les plus fantastiques. Le problème qui émerge est le suivant: comment "casser" ses représentations très fortes de sens pour l'élève et construire un savoir scientifique? Dans un autre domaine, il semblerait évident de passer par l'expérience, le vécu pour combattre ces conceptions fausses et asseoir des connaissances nouvelles. Mais en astronomie cela s'avère impossible, en tout cas à ce niveau de scolarité.

Je me suis donc tourné vers la modélisation, méthode privilégiée avec l'observation en astronomie. Comment la modélisation peut-elle "détruire" les représentations erronées des élèves? Quels apports peut-elle amener à l'enseignement scientifique, et plus particulièrement à la compréhension des phénomènes en astronomie?

Première partie: La modélisation et l'enseignement scientifique

Malgré le rôle important des modèles et de la modélisation dans les sciences expérimentales, que ce soit en physique, en chimie ou en biologie, l'école s'appuie rarement sur cette démarche pour l'enseignement scientifique, privilégiant la méthode expérimentale.

Cette première partie se fixe donc comme objectif d'éclairer nos représentations sur le concept de "modèle". C'est pourquoi, après une recherche de définition du modèle, nous nous attarderons sur les apports que la modélisation peut apporter à l'enseignement, scientifique, notamment en astronomie, ainsi que sur les obstacles que peut rencontrer la méthode à l'école, pour finir par les limites du modèle.

I- Qu'est-ce qu'un modèle?

Ce qui frappe quand on cherche à définir le "modèle", c'est la grande diversité des emplois du concept.

On distingue le "modèle à imiter" (l'enfant, modèle, le modèle d'écriture, du peintre,...), du "modèle copie" (un exemplaire, une illustration d'une catégorie, un objet qui représente un type), du "modèle catégorie" (dans le domaine de la confection, le modèle représente toute une catégorie de vêtements semblables), ou encore du "modèle représentatif..."

En science, on n'échappe pas non plus à la diversité des emplois du concept. On parle de modèle pour désigner les démarches et discours du passé : par exemple, on parle volontiers du modèle Ptoléméen ou Galiléen en astronomie, ou encore du modèle particulaire ou ondulatoire de la lumière.

Mais on parle aussi de modèle pour caractériser une certaine conception de la démarche scientifique comme construction de l'esprit visant à rendre compte des phénomènes observés, à les prévoir, les mesurer... Pour certains, la science toute entière peut être considérée comme un modèle.

Le modèle évoque aussi bien des images et des schémas que la théorisation ou la mathématisation.

1. Images et schémas:

Dire que le modèle évoque des images ou des schémas c'est dire qu'un schéma peut être un objet concret (maquette , modèle réduit), un schéma simplificateur (sous forme d'image concrète ou de mise en rapport d'éléments divers, sans figuration) ou une métaphore, une analogie (avec ou sans figuration).

- Le modèle peut avoir un statut figuratif ou opératif: il peut utiliser des schémas, images ou il peut être l'image, le schéma.
- Le modèle peut être un "objet pour penser avec", un schéma directeur se traduisant souvent par une image ou un objet concret (ce qui suppose ici que visualiser constitue une aide à la pensée).
- Enfin, si le modèle comme analogie est considéré comme un simple moyen d'investigation au début d'une recherche, alors il n'a qu'une fonction heuristique (aide à la construction de la théorie, pour la recherche). En revanche, il peut être un modèle à posteriori, mis en place pour la pédagogie ou la vulgarisation: il a alors une fonction de communication.

Le modèle comme "schéma simplificateur" pose un autre problème: pour être efficace, il ne doit pas se perdre en détails insignifiants. Il correspond à une sélection d'éléments les plus pertinents. Mais cela pose le problème du rapport à la réalité que nous aborderons plus loin.

2. Théorie/ loi/ modèle et réalité:

La distinction n'est pas toujours très claire entre modèle et théorie ou encore entre modèle et loi. C'est la question du rapport entre les phénomènes de la réalité et le discours scientifique, entre le réel et le construit. Mais contrairement aux lois et théories, le modèle établit une distance entre le discours scientifique et la réalité.

La théorie peut être définie comme un ensemble de lois ponctuellement explicatives et prévisionnelles, traduisant sur le plan intellectuel des phénomènes de la nature.

Le modèle, lui, est un artefact, une interprétation plausible de la réalité, sans prétendre en être une traduction fidèle. Il est partiel et un parmi d'autres possibles. Il peut aussi être un point de vue ponctuel qui permet d'éclairer le réel par une analogie

qui éloigne de la réalité, volontairement, mais qui établit des ressemblances entre deux réalités étrangères l'une de l'autre (par exemple, le courant électrique conçu comme un courant d'eau).

3. La mathématisation:

La mathématisation est associée à la formalisation et passe parfois par l'analogie: la loi mathématique peut être polyvalente puisqu'elle peut rendre compte, avec les mêmes formules, de réalités différentes (par exemple: le calcul de la propagation de la chaleur, du mouvement des ondes et de la vibration des lames élastiques utilisent des équations mathématiquement identiques).

La mathématisation permet au modèle d'être évolutif, adaptatif: elle permet de mettre en relation des paramètres du modèle (lors d'une expérience) suscitant ainsi de nouveaux paramètres, amenant à une rectification du modèle.

Il y a un balancement continu entre formalisation et retour au concret.

4. Modèle/ modélisation/ méthode des modèles:

- Le modèle: c'est le "produit fini", conceptuel jouant le rôle de substitut de la réalité (nous en donnons une définition plus détaillée dans le chapitre qui suit).
- La modélisation est le processus, l'ensemble des démarches visant à construire ce substitut ou s'appropriier le modèle déjà construit.
- Enfin, la méthode des modèles est la démarche scientifique qui utilise des modèles au sens où la méthode expérimentale utilise des expériences. Elle est donc centrée sur l'utilisation du modèle et les diverses fonctions qu'il peut remplir.

5. Définition générale du modèle:

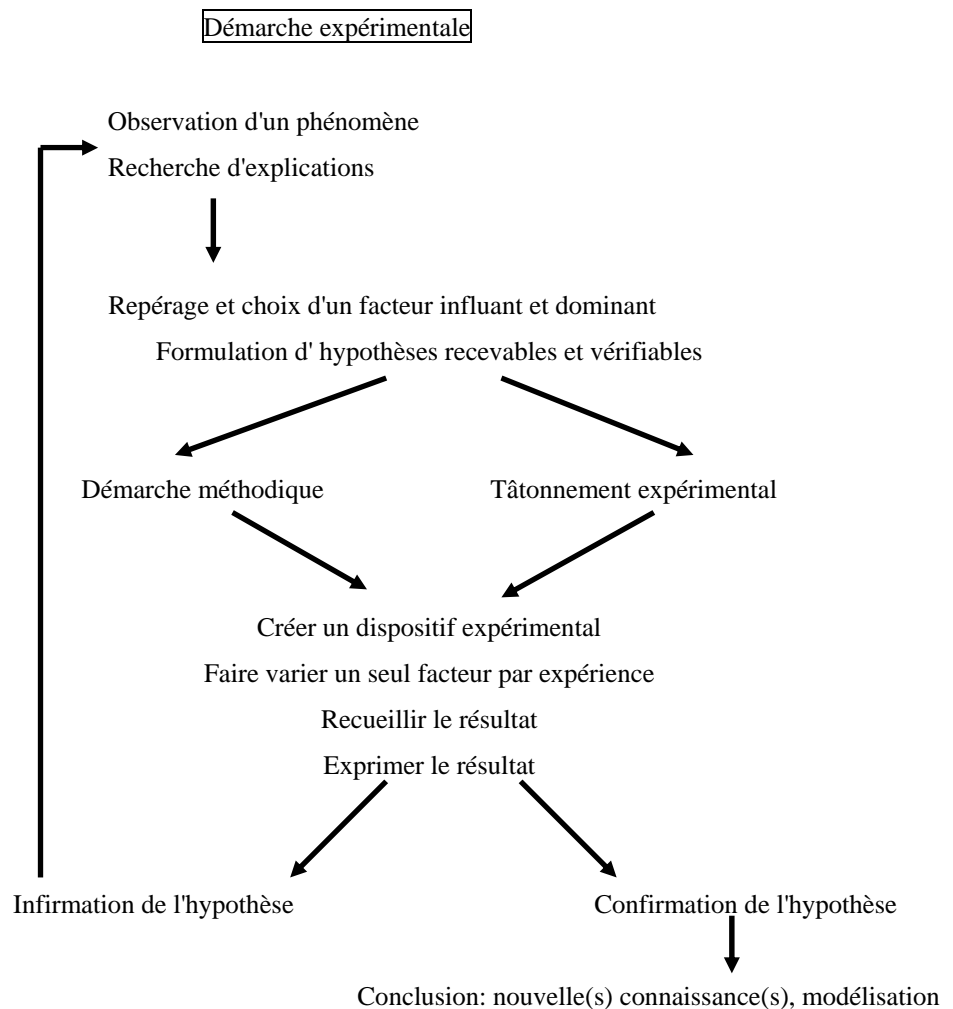
Suite à cette mise au point nécessaire sur les différents aspects du modèle, nous proposons dans ce paragraphe une définition générale, prenant en compte les différentes facettes que recouvre le concept:

Le modèle est donc "quelque chose" (un objet concret, une représentation imagée, un système d'équation...) qui se substitue au réel trop complexe ou inaccessible à l'expérience, et qui permet de comprendre ce réel par un intermédiaire plus connu, plus simple ou plus accessible à la connaissance.

C'est avant tout une construction de l'esprit qui prend la place d'un objet réel pour l'ensemble des opérations intellectuelles que l'on veut effectuer sur ce dernier. En tant qu'objet de substitution, le modèle permet une maniabilité qui se traduit le plus souvent par une démarche intellectuelle et passant parfois par une manipulation concrète: le modèle est un objet transformable, plus facile à "manier" que la réalité, mais qui pour en rendre compte correctement doit être sans cesse confronté avec elle.

II- Modèle et méthode expérimentale:

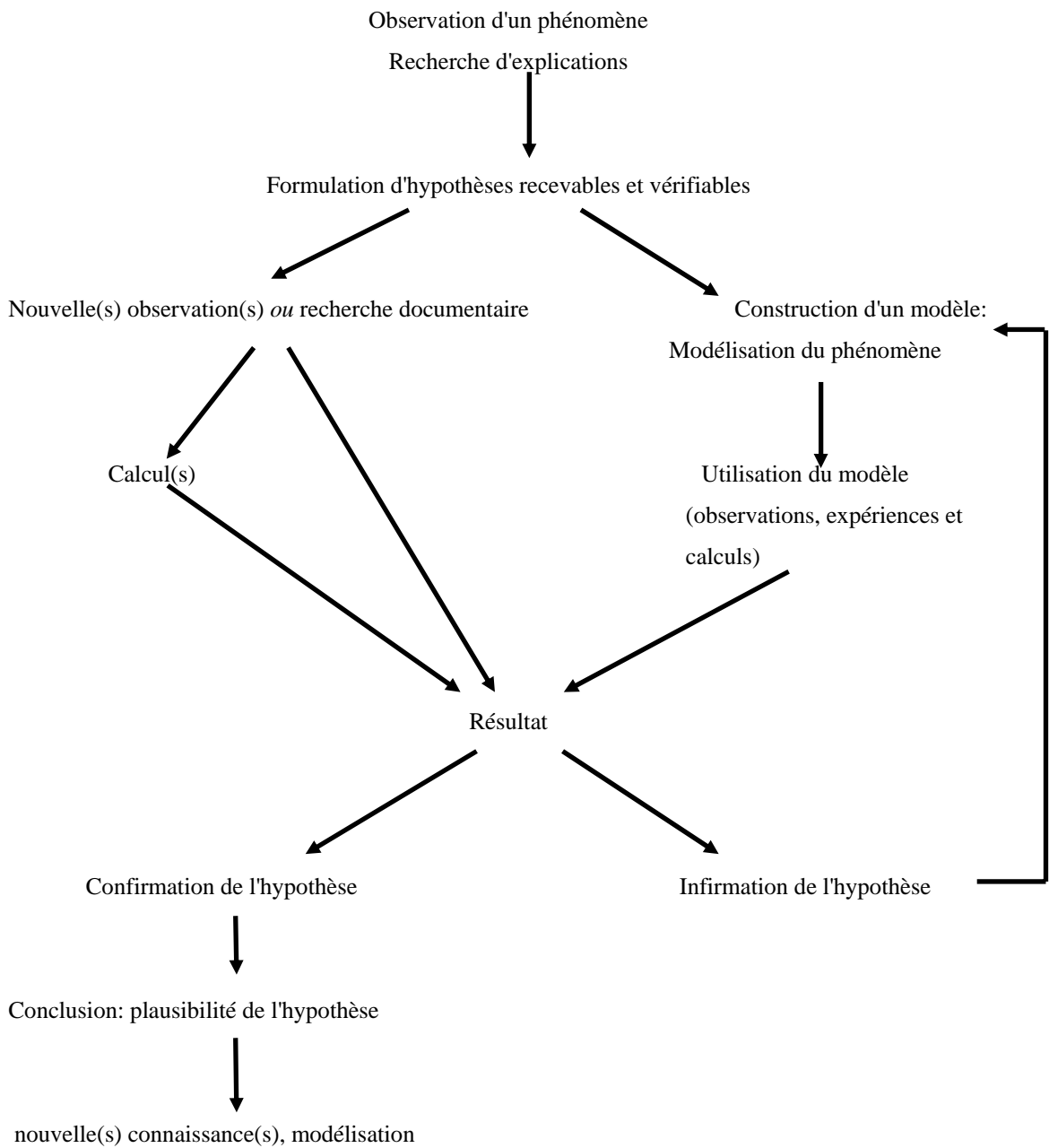
On distingue deux démarches scientifiques de recherche: la démarche expérimentale et la non expérimentale.



Démarche non expérimentale

Méthode basée sur l'observation
ou la documentation

Méthode des modèles:



Comme on le voit à l'aide des schémas, la mise en place d'une expérience avec séparation des variables est au cœur de la démarche expérimentale. L'expérimentation est analytique et procède par "variation discriminatoire de conditions déterminantes" (Georges Canguilhem). Elle agit donc directement sur les objets considérés.

En ce sens, elle sera très difficilement applicable en astronomie: on ne peut agir sur les paramètres qui régissent le mouvement de la Terre autour du Soleil comme on peut agir sur ceux qui régissent l'évaporation de l'eau remplissant une assiette.

Le modèle a une fonction particulière par rapport à la connaissance: il est une "construction de l'esprit" qui permet de mettre en place un ensemble de variables non directement accessibles à l'expérience pour divers raisons. Ce modèle est construit en fonction d'une certaine idée que l'on se fait du réel à étudier (lié à des observations, des connaissances antérieures, la formulation d'un problème...). Les éléments sont liés entre eux soit par des structures abstraites (modèle planétaire de l'atome) et/ ou mathématisées (modèle quantitatif des flux de matière et d'énergie dans un système), soit par des schémas figuratifs ou des objets concrets construits en fonction de leur ressemblance analogique avec l'objet à étudier.

Dans tous les cas, le modèle constitue un objet de substitution permettant de travailler sur autre chose que le réel, mais qui le figure puisqu'il en reproduit certaines relations pertinentes. La méthode des modèles permet de travailler sur des totalités indécomposables.

III- Les fonctions du modèle:

Comprendre, expliquer, prévoir, calculer, manipuler, formuler des analogies, communiquer, rendre pensable ce qui est difficile à cerner... sont les fonctions qui se dégagent des différents modèles que l'on peut rencontrer.

Mais toutes ces fonctions ne sont pas forcément présentes à la fois en un même modèle. Ce sont plus des tendances que des catégories fermées: un modèle peut avoir été construit pour une fonction et se révéler utile pour une autre.

De manière générale, tout modèle remplit au moins l'une des fonctions suivantes: expliquer et/ ou prévoir.

1. Expliquer:

Expliquer est une fonction qui peut être liée au besoin didactique ou au besoin d'élaboration de la pensée.

- L'explication peut passer par l'analogie: la ressemblance partielle entre deux réalités permet de mieux faire comprendre l'une par son rapprochement avec l'autre qui est alors appelée "modèle".
- Ou l'explication peut passer par la mathématisation, c'est-à-dire l'analyse des rapports entre les éléments du système qu'est le modèle: le rapprochement entre deux réalités est rendu possible par le recours à une troisième qui a une analogie de structure avec les deux autres. Par exemples, les modèles mathématiques permettent des rapprochements entre deux réalités qui semblent, à première vue, très éloignées l'une de l'autre.

2. Prévoir:

Ici, la ressemblance entre le modèle et la réalité n'est ni dans l'apparence, ni dans la structure mais dans les effets. Il s'agit de reproduire des mouvements identiques, sans se préoccuper de savoir si le mécanisme intérieur est le même. On peut parler dans ce cas de "simulation".

Le modèle peut permettre de rendre compte des processus évolutifs, de transformation d'un système sans qu'il y ait besoin d'observer la réalité elle-même. C'est en cela qu'un modèle a une fonction prédictive (le résultat de la prévision devant tout de même être confronté à l'observation).

IV- Modéliser à l'école élémentaire:

Il y a certains problèmes qui sont réputés impossible à traiter à l'école élémentaires, parce qu'ils n'offrent pas de situation expérimentale susceptible de fournir un matériau manipulable (ex: des phénomènes tels que l'évaporation, la dissolution, l'inégalité des jours et des nuits,... paraissent trop complexes pour de jeunes enfants).

La modélisation pourra alors constituer une aide à l'interprétation de certains phénomènes. Elle permet de ne pas rester muet devant ces phénomènes, ni de s'en tenir à des représentations spontanées.

De même, la construction de modèles a pour but d'amener les enfants à prendre conscience que la connaissance se construit et que les modèles ainsi construits permettent la prévision et l'explication.

A l'école, l'expérimentation et la modélisation sont complémentaires et non contradictoires. L'expérimentation sert à tester des hypothèses et la modélisation à interpréter des observations.

Les recherches sur le sujet montrent que, très jeunes, les enfants sont capables d'avoir une activité de modélisation, c'est-à-dire de construire des systèmes d'explication en suivant certaines règles de cohérence et de non contradiction avec les phénomènes observés. Ils sont capables d'une réelle prise en compte des phénomènes et d'une interprétation constructive.

A l'école, on rencontre:

- des modèles analogiques, explicatifs (le mime, l'objet technique jouant le rôle de substitut d'un autre objet, la maquette,...)
- des modèles prédictifs (modèles particuliers, modèles cosmologiques,...)

Les modèles en astronomie ont le plus souvent la double fonction: explicative et prédictive.

Remarque: les modèles des élèves ne sont pas les modèles du savoir savant: ce sont des "morceaux" de modèles scientifiques ou des étapes inachevées d'un processus intellectuel plus performant. Ce ne sont pas des "produits finis" mais des ébauches.

ex: le modèle cosmologique où la Terre tourne sur elle-même en un jour n'est qu'une parcelle du système complet faisant intervenir d'autres mesures et mouvements plus complexes.

1. Modèles et représentations:

Si tout modèle est une représentation particulière d'un système identifié, toute représentation, en tant que conception première, n'est pas un modèle. L'expression d'une représentation ne suffit pas pour engager un modèle.

A la différence de la représentation, la modélisation témoigne d'un réel changement de point de vue. Le modèle n'est pas seulement révélateur d'une certaine vision du réel, il a une fonction véritablement opératoire: c'est un outil pour prévoir un certain état du réel, qui peut être modifié ou remplacé par un autre modèle plus performant.

Aussi, si les représentations des élèves ont bien les même fonctions qu'un modèle (expliquer, prévoir), il leur manque le caractère hypothétique du raisonnement sur le possible. Elles se ferment souvent sur une conclusion, relevant de la certitude et de la croyance.

2. L'astronomie, domaine privilégié pour la modélisation:

Tout la recherche en astronomie passe par l'observation car l'unique objet sur lequel on peut s'appuyer est la lumière émise par les astres. Que ce soit à l'œil nu, à travers des lunettes, télescopes ou par l'étude des spectres, sur Terre ou dans l'espace, c'est toujours une observation de la lumière.

L'astronomie est la science de l'observation par excellence, mais aussi de la modélisation. En effet, toute action sur les phénomènes étudiés est impossibles. Aussi, les astronomes et astrophysiciens se contentent presque exclusivement "d'observer, d'échafauder des modèles, d'en déduire des effets observables et de retourner les chercher dans le ciel" (J.P. Verdet).

Cette méthodologie basée sur l'observation et la modélisation se retrouve dans l'enseignement ou les démarches de vulgarisation.

3. Bénéfices pour l'élève de l'utilisation de modèles:

Puisqu'il permet un changement d'échelle, le modèle rend possible la vérification d'hypothèses, la résolution de problèmes, notamment en astronomie. On peut expérimenter sur le modèle et non sur le réel.

Il permet de faire abstraction de nombreuses caractéristiques de la réalité qui en complexifiant l'explication rendraient impossible l'étude de certains phénomènes avec des enfants de l'école primaire (ex: les forces d'attraction gravitationnelles). Le modèle permet de ne sélectionner que quelques propriétés pertinentes du système.

Il permet de "casser" les représentations erronées des élèves, condition première à l'apprentissage de nouveaux savoirs et c'est un rempart contre la rigidification de la pensée: en effet, le modèle n'est jamais un "produit fini", il est toujours susceptible d'être modifié, amélioré, remplacé lorsqu'on le confronte à de nouvelles observations.

Le modèle permet à l'élève une réelle décentration de son point de vue: il l'aide à sortir de la pensée égocentrique et intuitive qui le caractérise les premières années de

l'école élémentaire (c. f. J. Piaget). En astronomie, l'observation du système ne se fait plus de l'intérieur mais de l'extérieur. De même, plusieurs modèles peuvent rendre compte d'une même réalité, il n'y a pas qu'une seule façon de voir les choses.

Enfin, le fait de raisonner sur un modèle est le premier pas vers l'abstraction. Le modèle prépare l'élève à raisonner sur des pensées, des idées, des images mentales. Il va favoriser le passage d'une intelligence opératoire concrète vers l'intelligence opératoire formelle de l'adolescent (J. Piaget).

V- Les obstacles à la modélisation:

1. Les représentations des élèves:

Le besoin d'expliquer des élèves peut se traduire par des représentations, sur lesquelles le maître peut s'efforcer de prendre appui, mais qui peuvent aussi se présenter comme des obstacles à l'acquisition de nouvelles connaissances: si elles relèvent de la certitude et de la croyance, elles ont tendance à arrêter l'évolution de la pensée.

2. Non différenciation modèle/ réalité:

Dans la réalité des classes, les modèles ne sont généralement pas donnés pour ce qu'ils sont, c'est-à-dire des représentations construites, plus ou moins simplifiées et évolutives, mais pour le réel lui-même, directement visible.

Cette confusion entre la réalité étudiée et la représentation hypothétique de la réalité est un obstacle plus difficile à surmonter si l'on fait correspondre systématiquement, à une situation donnée, un modèle unique. C'est pourquoi, chaque fois que cela est possible, on s'efforce de représenter une même réalité par plusieurs modèles.

VI- Les limites d'un modèle:

Un modèle se donne ouvertement comme ne pouvant rendre compte de toute la réalité. C'est une garantie contre les illusions scientifiques d'une compréhension globale de l'univers. Mais, si l'on dispose d'un modèle permettant de résoudre un problème

précis posé par un système donné, ce modèle permettra-t-il de résoudre aussi d'autres problèmes posés par le même système?

Trois cas peuvent se présenter:

- Le modèle permet de résoudre un autre problème sans qu'il soit nécessaire de le modifier;
- Le modèle permet de résoudre un autre problème, à condition de le modifier;
- Un problème nouveau ne peut pas être résolu par le modèle, même en modifiant ce dernier. La recherche d'un autre modèle, plus pertinent, s'avère nécessaire.

Remarques:

1. Le modèle géocentriste de Ptolémée a été rejeté au profit du modèle héliocentriste de Galilée. Cependant, pour rendre compte de la succession des jours et des nuits ou de la prévision d'une éclipse de lune, il reste néanmoins encore pertinent.
2. Des modèles opposés, comme les modèles corpusculaires et ondulatoires de la lumière, peuvent se côtoyer, en se complétant, après s'être combattus.

Ce qui compte n'est pas la fidélité au réel en soi mais l'efficacité descriptive, explicative ou prédictive du modèle. Car en tant que représentation possible d'une fraction du réel, le modèle peut apparaître comme un parmi d'autres possibles, mais en tant que moyen de résolution d'un problème, l'exigence est de trouver un modèle adapté.

Qu'en est-il du modèle utilisé dans ce travail?

Le modèle auquel j'ai eu recours utilise une maquette: ce modèle est caractérisé par son aspect figuratif, sa fonction essentielle étant une fonction de représentation et donc d'explication grâce à l'analogie avec la réalité figurée. Il n'y a aucun processus de mathématisation dans cette recherche.

Dans cette représentation apparaît un aspect simplificateur puisque seuls les aspects les plus pertinents de la réalité seront pris en compte ici: à savoir une boule de polystyrène posé sur un bâton de bois pour la Terre et une lampe de poche pour le soleil.

Dans la partie qui suit seront exposées les motivations qui m'ont amenés à choisir ce modèle.

Deuxième partie: Choix du problème, les contraintes, les attentes

Après la mise au point théorique de la première partie, je vais développer ici la réflexion et le questionnement qui m'ont conduit à adopter la démarche de travail présentée et analysée dans la dernière partie de mémoire.

Il s'agit ici de faire un point sur la problématique qui a été la mienne au début de cette recherche, quelle démarche adopter pour y répondre, les contraintes auxquelles j'ai été confronté et mes attentes quant à cette recherche.

I- La problématique de recherche:

Lors de mes études à l'université, en psychologie, j'ai pu découvrir qu'il existe un processus d'encodage mental des informations et perceptions que reçoit l'individu. Ce processus permet d'organiser les informations en mémoire afin de les rendre compréhensible par l'individu, de structurer sa compréhension du monde et de lui permettre un raisonnement cohérent et logique sur la réalité qui l'entoure.

Or, on a remarqué une analogie entre les opérations réalisées sur les objets mentaux et les opérations réalisées sur les objets réels. On parle de "traitement analogique de l'information" (mise en évidence de cet isomorphisme entre la situation réelle et les processus mentaux par Shepard et Metzler).

Mais cette analogie qui assure une meilleure compréhension de la réalité n'est possible que s'il y a déjà eu visualisation de la réalité qui permet un encodage en mémoire des informations et perceptions. Or, en astronomie, puisque l'étude porte sur des phénomènes non directement observables, la représentation mentale en apparaît délicate.

La question qui se pose ici est la suivante: la modélisation, en facilitant les processus cognitifs de représentation de la réalité, favorise-t-elle chez l'enfant le traitement analogique de l'information et ainsi une meilleure compréhension du fait astronomique étudié? En tant qu'objets figuratifs, les modèles favorisent-ils la création d'images mentales nécessaires pour rendre les phénomènes astronomiques intelligibles?

II- Présentation du protocole de recherche: nécessité de la comparaison:

Pour répondre à cette question, en adoptant une démarche rigoureuse et scientifique, la comparaison entre deux groupes d'élèves s'est vite avérée nécessaire.

Le dispositif expérimental qui m'a semblé le mieux adapté pour étudier l'influence de la modélisation sur la compréhension des phénomènes astronomiques est le suivant:

- Hypothèse générale: l'utilisation d'un modèle dans une séquence d'astronomie améliore la compréhension du phénomène.
- Hypothèse opérationnelle: si un élève manipule une maquette, lors d'une séquence d'apprentissage en astronomie, ses capacités de représentation mentale du phénomène, donc de compréhension de celui-ci sont plus grandes qu'un élève qui ne manipule pas.
- Variable indépendante: la méthode utilisée dans la phase de recherche. Il y a deux modalités:
 - Ⓜ **le groupe test**: utilisation de modèles (les maquettes) et recherche documentaire;
 - Ⓜ **le groupe témoin**: uniquement recherche documentaire.
- Facteurs contrôlés: la séquence d'astronomie est la même pour le groupe test et le groupe contrôle. Dans les deux cas il y a deux problèmes successifs à résoudre (les mêmes dans les deux groupes) en utilisant une démarche scientifique (émission d'hypothèses, recherche, résultats, conclusion), et en travaillant en petits groupes.
- Facteurs non contrôlés, susceptibles de jouer un rôle dans l'expérience: bien entendu un grand nombre de variables parasites vont interférer sur les résultats des élèves, notamment: l'âge, l'habitude du travail en groupe, l'environnement social, les connaissances antérieures sur le sujet étudié,...

Ce protocole s'inspire de ceux utilisés dans la recherche, en psychologie expérimentale.

Remarque: afin d'éviter toute discrimination pédagogique entre les deux groupes, une séance faisant intervenir l'utilisation de modèles sera introduite en fin de recherche dans la classe témoin.

Une question s'est posée en ce qui concerne les deux groupes de l'étude: devais-je scinder une classe en deux groupes d'élèves et travailler indépendamment avec les deux groupes ou devais-je choisir deux classes différentes?

J'ai opté pour la deuxième solution. A cela deux raisons majeures: tout d'abord, l'étude portant sur un plus grand nombre d'individus, les résultats auraient une résonance plus importante. Ensuite, je supprimais les phénomènes d'interférence entre les deux groupes qui peuvent apparaître à l'intérieur d'un même groupe classe.

Après plusieurs refus, j'ai eu la chance de trouver deux enseignants qui ont accepté de me recevoir dans leur classe.

III. Présentation des deux classes:

La première classe avec laquelle j'ai effectué mes séances est une classe de CE2 de l'école Parodi de Blois. Il y a dix-sept élèves de huit et neuf ans. Ils n'avaient jamais fait d'astronomie à l'école avant mon intervention, l'enseignante a juste effectué un travail en début d'année sur l'ombre et la lumière et les points cardinaux.

La deuxième classe est un CE2/ CM1 de l'école des Hautes Saules de Blois. Il y a vingt-cinq élèves de huit à dix ans (9 en CE2 et 16 en CM1). Comme pour l'autre classe, ils n'ont jamais abordé l'astronomie en classe et ont des connaissances sur les phénomènes d'ombres et les points cardinaux.

On peut donc dire que les connaissances des élèves des deux classes concernant le domaine étudié sont sensiblement le même: elles sont essentiellement "extrascolaires", soit provenant des médias ou de leur entourage immédiat (les connaissances "encyclopédiques", soit de leurs propres perceptions et imagination.

Concernant le milieu social, il est sensiblement le même aussi: la première école est à la limite de la Zone Urbaine Prioritaire de μ Blois, la deuxième implantée en

plein milieu. Les élèves des deux classes viennent donc en grande majorité des mêmes quartiers ou de quartiers relativement proches.

Remarques: la classe qui a été retenue comme groupe test est celle de l'école Parodi et donc celle des Hautes Saules constitue le groupe témoin. J'emploierai par la suite les expressions "**classe test**" et "**classe témoin**".

IV. Justification de la séquence adoptée:

Voulant faire ma recherche dans le domaine de l'astronomie, le choix était large concernant le phénomène à étudier. Mais le fait de travailler avec deux classes limitait mon temps d'intervention et donc le nombre de séances à réaliser.

J'ai donc choisi de travailler sur la rotation de la Terre sur elle-même, problème nécessitant peu de séances et un modèle relativement simple de fabrication et d'utilisation.

La question de départ de la séquence était donc: "comment expliquer l'alternance des jours et des nuits que l'on peut observer sur Terre?" Mais j'ai vite pris conscience que cette situation-problème seule ne suffisait pas pour répondre à ma problématique de recherche: en effet, la classe témoin allait trouver la réponse aussi bien que la classe test et l'évaluation finale risquait de ne pas dégager de différences significatives entre les deux classes.

Il fallait donc introduire dans la séquence une deuxième situation-problème qui soit un réinvestissement des connaissances (et donc du modèle pour la classe test) établies lors de la première phase de recherche, et s'appuyant sur le même phénomène. J'ai donc choisi la variation de l'ombre au cours de la journée. La deuxième question était: "comment expliquer la variation de l'ombre d'un piquet au cours de la journée?"

Les deux classes ont donc eu à résoudre les deux mêmes situation-problèmes, avec la même démarche de résolution (démarche scientifique non expérimentale), mais en utilisant deux méthodes différentes.

Je développerais en détails les différentes phases de la séquence dans la troisième partie du mémoire (c. f. aussi les fiches de préparation des séances en annexes).

V. Référence au programme:

Cette séquence s'inscrit parfaitement dans les nouveaux programmes de l'Education Nationale de 2002 puisqu'on nous dit concernant la partie "le ciel et la Terre" de l'enseignement scientifique au cycle 3:

" L'objectif est en tout premier lieu d'observer méthodiquement les phénomènes les plus quotidiens et d'engager les élèves dans une première démarche de construction d'un modèle scientifique: _ la rotation de la Terre sur elle-même et ses conséquences..."

VI. Les attentes de la recherche:

L'objectif de ce travail est bien entendu de montrer que la modélisation améliore chez l'élève la compréhension des phénomènes astronomiques. La manipulation d'un modèle doit favoriser chez l'enfant la représentation mentale de la réalité et du phénomène étudié (ici, la rotation de la Terre sur elle-même), permettant un meilleur traitement de l'information donc une meilleure compréhension du phénomène et ainsi une meilleure construction des connaissances et une meilleure mémorisation de celles-ci, voir même l'acquisition de connaissances supplémentaires

Après une présentation plus précise du travail réalisé en classe, notamment concernant le déroulement des séances, j'analyserais donc, dans la troisième et dernière partie de ce mémoire, les résultats des évaluations effectuées en fin de séquence dans les deux classes.

Troisième partie: Pratique et analyse comparative.

I. Présentation de la séquence:

1. Dans la classe test:

La séquence s'est déroulée sur cinq séances (c. f. les fiches de préparation en annexe)

© Présentation du premier problème: "comment expliquer l'alternance des jours et des nuits observable sur Terre?"

- Recueil des représentations des élèves.
- Emission d'hypothèses.
- Modélisation et recherche grâce au modèle pour valider les différentes hypothèses.
- Synthèse par groupe: différentes hypothèses sont valides.
- Débat: nécessité de la recherche documentaire pour trancher
- Recherche documentaire
- Mise en commun et institutionnalisation

© Evaluation intermédiaire pour tester les connaissances nouvellement acquises.

(correction collective)

© Présentation du deuxième problème: "comment expliquer la variation de l'ombre d'un piquet au cours de la journée?"

- Présentation du document "l'expérience d'Adrien" (c. f. annexe n°), discussion
- Emission d'hypothèses
- Recherche grâce au modèle amélioré
- Mise en commun et institutionnalisation

© Evaluation finale

2. Dans la classe témoin:

Dans cette classe, la séquence s'est déroulée sur quatre séances (c. f. les fiches de préparations en annexe).

© Présentation du premier problème: "comment expliquer l'alternance des jours et des nuits observable sur Terre?"

- Recueil des représentations des élèves.
- Emission d'hypothèses.
- Recherche documentaire **uniquement** pour valider les différentes hypothèses.
- Mise en commun et institutionnalisation

© Evaluation intermédiaire pour tester les connaissances nouvellement acquises.
(correction collective)

© Présentation du deuxième problème: "comment expliquer la variation de l'ombre d'un piquet au cours de la journée?"

- Présentation du document "l'expérience d'Adrien" (c. f. annexe n°), discussion
- Emission d'hypothèses
- Recherche documentaire **uniquement** pour rechercher une explication.
- Mise en commun: problème pour trouver une explication

© Evaluation finale

© Modélisation:

- Problèmes rencontrés: peut-on conclure? Comment faire pour trouver la réponse? → idée amener par les élèves ou à défaut par l'enseignant de construire un modèle
- Construction du modèle
- Recherche grâce au modèle
- Mise en commun et institutionnalisation

II. Les représentations des élèves: bilan de départ.

L'astronomie n'ayant jamais été enseignées dans les deux classes, il a été nécessaire avant d'aborder tout apprentissage d'évaluer les conceptions des élèves, leurs représentations sur le sujet.

Pour ma part, il m'importait de savoir si les enfants étaient imprégnés ou non de connaissances scientifiques étant donnée l'ampleur de la médiatisation en astronomie. Dans le cas où les élèves ont des connaissances "encyclopédiques", il est intéressant de s'assurer qu'elles sont bien comprises. Pour cela, il faut vérifier si les enfants arrivent à les mettre en relation avec des observations quotidiennes (comme l'alternance jour/ nuit).

La consigne était la même pour les deux classes:

"Sur une feuille blanche, essayez d'expliquer pourquoi il y a alternance des jours et des nuits sur la Terre. A quoi cela est dû selon vous?"

"Vous pouvez faire un dessin, écrire un texte ou les deux si vous voulez. Attention, il faut expliquer et pas seulement décrire."

1. Dans la classe test: (c. f. annexe n°1)

Les représentations sont très variées.

◆ classement des représentations:

- explication juste: 3 (6%)
- explication tautologique: relève le plus souvent soit d'une mauvaise compréhension de la question, soit d'une réponse donnée rapidement: 8 – 9 (12%)
- raisonnement naïf:
 - animiste, anthropomorphiste: fait de croire que tout objet, toute chose est animé, doué d'intention; tendance à attribuer aux objets, animaux, phénomènes une âme, des caractères propre à l'homme: 4 – 5 – 6 – 7 – 11 (35%)
 - finaliste: l'enfant ne distingue pas le but de la conséquence, il considère les phénomène comme déterminés par un but à l'avance: 10 (6%)
 - explication due à une assimilation déformante: l'enfant pourra trouver le moyen de mettre en cohérence des informations reçues et son mode de pensée (encore naïf ici): 1 (23%)
- explication incomplète: 2 (6%)

On remarque que, à l'exception d'un élève qui fournit une explication correcte, tous les autres ont des conceptions naïves (64%) ou erronées de la réalité, ce qui témoignent d'une pensée intuitive (l'enfant explique tous les faits à partir de ses propres impressions). Il sera intéressant de comparer avec l'évaluation de fin de séquence.

On peut s'interroger aussi sur le fait que peu d'élèves ont fait des dessins, seulement 7 sur 17 soit environ 40%. Or tous à l'exception d'un élève ont fait au moins une phrase, alors qu'ils avaient le choix. On aurait pu penser qu'à cet âge le dessin est un moyen d'expression privilégié pour eux.

2. Dans la classe témoin: (c. f. annexe n°2)

Là aussi les explications sont nombreuses.

◆ classement des représentations:

- explication juste: 6 (8%)
- explication héliocentriste: 1 – 11 – 12 (28%)
- explication géocentriste: 4 (12%)
- raisonnement naïf:
 - animiste, anthropomorphiste: 2 – 5 – 7 – 8 – 9 (28%)
 - finaliste: 10 (4%)
- explication incomplète: 3 – 13 (8%)

A la différence de l'autre classe, on voit que beaucoup d'élèves ont des connaissances encyclopédiques (44%) mais très peu sont capables de les utiliser à bon escient et de faire le lien avec des observations quotidiennes.

Il y a eu assimilation d'informations mais pas de véritable modification des structures mentales. Pour conforter ces propos, on voit encore une large influence de la pensée intuitive puisque 44% des interprétations font encore appel à un raisonnement naïf ou géocentrique.

III. Le déroulement des séances:

Il ne s'agit pas ici de reprendre toutes les observations faites lors de chaque séances, dans chacune des classes. On pourra voir en détail le bilan d'observation de chaque séance dans les fiches de préparations mises en annexe.

Je ne vais traiter ici que des observations les plus pertinentes quant à l'objectif de ma recherche.

1. L'émission des hypothèses:

Cette phase s'est avérée très importante en début de recherche. Tout d'abord, je remarque un écart important, dans les deux classes entre les explications qu'ils ont pu fournir individuellement et ce qu'ils disent devant le groupe: il y a beaucoup moins d'explications faisant appel à un raisonnement naïf ce qui s'explique par la peur du

jugement des pairs. Cependant on trouve encore un grand nombre d'explications de ce genre.

Mais la confrontation entre les élèves va permettre de rejeter rapidement les formulations tautologiques ou finalistes, y compris par ceux qui les avaient formulées. Ils prennent conscience que certaines hypothèses sont plus logiques.

Cette phase nous a permis ainsi d'éliminer presque toutes les explications "farfelues" pour ne garder que les plus pertinentes. Une seule va rester dans la classe test (c. f. annexe n°): "Le Soleil se cache derrière les arbres, la nuit", et aucune dans la classe témoin.

Enfin, cela permet aussi de faire prendre conscience aux élèves de l'importance de la formulation puisque les approximations, les formulations peu explicites sont souvent source de questions ou de désaccords obligeant ceux qui les produisent à préciser, modifier ou reformuler leurs hypothèses.

2. La première phase de recherche:

A l'issue de la première recherche on ne peut pas encore saisir toute l'importance de l'utilisation de modèles: en effet, les deux classes ont eu recours à la recherche documentaire pour finalement répondre au problème. On peut même dire à ce stade que la méthode sans modélisation est plus efficace puisqu'on arrive aux mêmes savoirs de manière beaucoup plus rapide. Il faudra en juger de façon plus objective avec l'évaluation intermédiaire.

Cependant, on remarque déjà une plus grande motivation des élèves de la classe test: en effet la période de recherche avec le modèle même si elle ne permet pas de trouver le résultat augmente l'investissement des élèves dans le travail. De leurs recherches, ils ont déjà écarté deux hypothèses, ils ont pris conscience de la limite du modèle (qui ne permet pas de trancher entre les trois hypothèses restantes) et comprennent mieux la nécessité de se référer à d'autres écrits qui découlent d'autres recherches encore trop complexes pour eux.

3. Analyse du document "l'expérience d'Adrien"

(c. f. annexes n°)

J'ai découvert, à mon encounter, qu'il était relativement complexe pour des élèves de 8-10 ans d'analyser ce document, n'ayant pas, eux-mêmes, fait l'expérience. Ceci est valable pour les deux classes.

Dans la classe test, il m'a fallu plus d'une séance pour bien faire comprendre le principe de l'expérience aux élèves et les résultats obtenus. L'explication ne donnant aucun résultat, il a fallu en passer par la simulation de l'expérience. Dans la classe témoin, j'ai perdu beaucoup moins de temps car je suis passé directement par la simulation. Je reviendrai sur ce problème quand j'aborderai le point sur les améliorations à apporter à la séquence.

4. La deuxième phase de recherche:

A ce moment de la recherche, j'observe de réelles différences dans l'attitude des élèves entre les deux classes.

Dans la classe test, une seule hypothèse n'apparaît pour expliquer la variation de l'ombre au cours de la journée, et c'est bien sûr "parce que la Terre tourne sur elle-même". Lorsque je leur soumet l'idée qu'ils peut y avoir plusieurs hypothèses, ils pensent que je me moque d'eux.

Lors de la phase de recherche, une fois passé les problèmes liés à la compréhension de la consigne et les problèmes techniques (pôles inversés entre le document et le modèle, petit bâton pas placé au bon endroit, trop ou pas assez incliné,...), ils n'ont aucun mal à se lancer dans la recherche et manipule le modèle correctement (ils ne font tourner que la Terre sur elle-même, tiennent le Soleil fixe et ne font plus intervenir d'autres éléments comme la Lune). Tous les groupes trouvent la bonne solution et le bon sens de rotation de la Terre.

En ce qui concerne la classe témoin, il en va autrement. Ils n'arrivent pas à produire d'hypothèses cohérentes, ils ne font même pas le lien avec la première recherche. Lorsque nous passons à la phase de recherche, ils se contentent de recopier des passages de livres traitant du cadran solaire ou du gnomon, sans forcément de rapport avec le problème. Je leur fais comprendre que ce n'est pas ce que j'attends, qu'ils doivent trouver une explication, une solution au problème. Mais ils ont beaucoup de mal, ils cherchent à matérialiser, à figurer, la Terre notamment, avec des objets, leurs mains,...

Quelques groupes, cependant arrivent à des raisonnements intéressants lorsque je les guide fortement par des questions très orientées. Un groupe, seulement arrivera jusqu'à la solution. Mais lors de la mise en commun, on en restera à des tentatives de réponses, personne n'ayant rien trouvé grâce à la recherche documentaire.

La dernière séance, avec l'utilisation du modèle, permettra de trancher sur la question et d'institutionnaliser sur le sens de rotation de la Terre.

Comparons maintenant les résultats aux deux évaluations (intermédiaire et finale) pour pouvoir faire une analyse plus objective.

IV. Evaluation intermédiaire: (c. f. annexes n° et n°)

Malgré toutes les imperfections qu'elle comporte, cette évaluation nous donne des renseignements intéressants sur les représentations des élèves et leur évolution à ce moment de la séquence.

Notons d'abord qu'en ce qui concerne le taux de réussite, il n'apparaît pas de différence significative entre les deux classes:

- dans la classe test, 65% des élèves ne font aucune erreur dans le premier exercice ("Relie chaque hypothèse avec le dessin qui l'illustre") et 82% trouvent la bonne hypothèse (la Terre tourne sur elle-même et en même temps autour du Soleil);
- dans la classe témoin, 68% ne font pas d'erreur dans le premier exercice et 76% trouvent la bonne hypothèse.

Remarque: un élève représente 6% dans la classe test et 4% dans la classe témoin.

Concernant le premier exercice, il est intéressant de s'arrêter sur les erreurs des élèves:

- dans la classe test, 23% des élèves font une inversion, tous la même, entre l'hypothèse n°3 (la Terre tourne autour du Soleil et en même temps sur elle-même) et l'hypothèse n° 5 (la Terre tourne sur elle-même et le Soleil ne bouge pas)
- dans la classe témoin, 16% des élèves font une inversion entre l' hypothèse n°3 (la Terre tourne autour du Soleil qui est fixe) et l'hypothèse n° 5 (la Terre tourne sur elle-même et en même temps autour du Soleil).

⇒ dans les deux cas, il ne s'agit pas d'une véritable erreur puisque il s'agit de la même hypothèse plus ou moins détaillée. On voit donc que dans les deux classes, le taux de réussite à cet exercice est relativement fort puisqu'il est autour de 86%.

Cependant, on ne relève que deux élèves ayant fait deux erreurs ou plus dans la classe test (dont un qui a tout faux mais qui était absent), alors qu'il y a 16% des élèves ayant fait 3 erreurs et plus, dans la classe témoin.

Pour ce qui est du deuxième exercice, dans la classe test 12% des élèves fournissent encore une explication géocentriste (hypothèse n°1) et un élève ne répond pas. Dans la classe témoin, 20% des élèves écrivent la deuxième hypothèse (quand il fait jour la Terre est à côté du Soleil et quand il fait nuit, les autres planètes cachent le soleil) et un élève ne répond pas.

V. Evaluation finale, analyse comparative: (c. f. annexe n°)

♦ Résultats, traitement statistique:

- premier volet:

Explication fournies	Dans la classe test (en %)	Dans la classe témoin (en %)
La Terre tourne sur elle-même	59	32
La Terre tourne autour du Soleil	0	32
Le Soleil tourne autour de la Terre	6	16
Explications naïves faisant intervenir 1 autre astre (lune, planètes,...)	6	8
Explications tautologiques	6	0
Dessin non compréhensible ou descriptif	17	12
Absence de réponse	6	0

- deuxième volet:

Classe test			
Items	Réponses justes (en %)	Réponses fausses ou erronées (en %)	Absence de réponse (en %)
Question 1	53	30	17
Question 2	94	6	0
Question 3	88	6	6
Question 4.a.	83	17	0
Question 4.b.	59	41	0
Question 4.c.	59	41	0

Classe témoin			
Items	Réponses justes (en %)	Réponses fausses ou erronées (en %)	Absence de réponse (en %)
Question 1	0	80 dont 48% répondent "autour du soleil"	20
Question 2	32	64 dont 56% répondent "une année"	4
Question 3	56	40	4
Question 4.a.	32	60	8
Question 4.b.	32	60	8
Question 4.c.	36	44	20

◆ **Interprétation des résultats:**

Dans la classe test on voit une forte progression des représentations justes, puisque de 6% au début de la séquence, elle est fournie maintenant par 59% des élèves. A l'inverse, les explications naïves ont presque totalement disparu puisqu'elles ne persistent que pour un élève (6%), alors qu'elles représentaient 64% des réponses au début de la séquence.

On ne peut pas en dire autant dans la classe témoin. Même si on observe une forte baisse des explications naïves (32 à 8%), elle est moins importante que dans la classe test et on observe une forte persistance des explications héliocentristes (de 28 à 32%) et géocentristes (de 12 à 16%). De même, l'augmentation des représentations justes est beaucoup moins importante que dans la classe test (de 8 à 32%).

De ce résultat, on peut donc en conclure que la modélisation est un bon outil pour "casser" les raisonnements intuitifs des jeunes élèves, permettre une réelle accommodation de leur structures mentales et une décentration de la pensée.

Ce qui est frappant lorsqu'on regarde les résultats du deuxième volet de l'évaluation, c'est la différence de résultat entre les deux classes concernant les trois premières questions qui pourtant ne relèvent pas de connaissances construites grâce au modèle. Elles correspondent, pour les deux classes à des savoirs trouvés lors de la recherche documentaire.

On peut donc voir qu'en plus d'apporter des connaissances supplémentaires (par exemple ici le sens de rotation de la Terre), la modélisation permet aussi un

meilleur ancrage en mémoire des connaissances apportées en parallèle de la recherche avec le modèle.

En ce qui concerne les trois dernières questions, évidemment on remarque là aussi une différence de résultats entre les deux classes, puisque seuls les élèves de la classe test peuvent y répondre, car ils ont découvert le sens de rotation de la Terre lors de la deuxième situation problème, en manipulant le modèle. On remarque ainsi que seuls des élèves de la classe témoin se sont abstenus de répondre à ces questions et pour ceux qui y ont répondu, il s'agissait souvent de cocher une réponse au hasard.

On le remarque surtout par l'absence de cohérence entre les réponses, notamment entre la 4.b. et la 4.c.: ainsi 45% de ceux qui ont répondu à ces deux questions dans la classe témoin ont trouvé le même sens de rotation si l'on regarde du pôle Nord ou du pôle Sud. Pas un seul élève dans la classe test n'a fait cette erreur.

La manipulation du modèle a donc facilité la représentation mentale des élèves et favorisé ainsi le traitement analogique de l'information ce qui induit une meilleure compréhension du phénomène.

VI. Le rapport des élèves au modèle: réflexion sur le sens des activités. (c. f. annexe n°)

Au cours de mes interventions, lors de la première phase de recherche avec la classe test, il m'est apparu que certains élèves manipulent sans lien avec ce qu'ils doivent vérifier. J'ai pu observer dans certains groupes que les élèves après avoir correctement manipulé, formulaient des conclusions trop hâtivement: "ça y est, on a fini... c'est la première hypothèse qui est la bonne...". Tout se passe comme si la manipulation s'opérait sans lien avec le système cognitif.

En même temps que l'évaluation intermédiaire, je leur ai donc proposé un petit questionnaire (c. f. annexe n°) afin de les faire réfléchir sur ce qu'ils avaient fait et de donner du sens à leur manipulation.

Dans le premier tableau, 100% des élèves trouvent la bonne réponse. Ils font donc le lien entre les objets du modèle et ce qu'ils représentent dans la réalité. Pour ce qui est du deuxième tableau, il pose plus de difficultés aux élèves: 29% de réponses justes en 2., 53% en 3., 59% en 4. et 23% en 5. A la lueur de ces résultats, on voit donc que ce qui pose le plus de difficulté aux élèves et le passage de la réalité vers le

modèle car cela suppose une capacité d'abstraction plus grande que la transposition du modèle à la réalité.

Cette phase de réflexion est importante. Elle permet aux élèves de juger de la pertinence des manipulations qu'ils effectuent avec les maquettes. Ainsi, lors de la deuxième phase de recherche, ils ont fait preuve de plus de rigueur dans les déplacements qu'ils effectuaient avec la boule ou la lampe et d'une plus grande cohérence entre leurs manipulations sur le modèle et ce qui se passe en réalité.

VII. Améliorations à apporter à la séquence:

Ce qui m'a posé le plus de problème et qui exige une amélioration est sans aucun doute le point de départ de la deuxième situation problème. Il conviendra la prochaine fois, afin de parer à tout problème de compréhension du document, d'effectuer réellement le relevé d'ombre. Cela permettra de partir d'une situation réelle, et non fabriqué, augmentant la compréhension des élèves du fait du vécu de l'expérience. Cela permettra du même coup de motiver leur besoin de savoir et donc leur investissement dans la recherche.

Le deuxième point qui nécessite, selon moi, une amélioration est le moment de construction de la maquette. Il convient d'apporter plus de matériel aux élèves et d'instaurer une réelle phase de réflexion des élèves sur le modèle lui-même: Que faut-il représenter? Comment? Quel matériau, objet choisir pour figurer au mieux la réalité?...

Il faut leur laisser le temps pour réfléchir et construire leur modèle et montrer que plusieurs modèles sont possibles et peuvent rendre compte d'une même réalité.

Une autre amélioration possible est de faire découvrir le Soleil, la Terre et la Lune dans leur réalité. Il serait intéressant de consulter des documents. Il faudra alors insister sur les dimensions des astres. Cela pourrait permettre d'éliminer d'entrée certaines hypothèses comme "la Lune se met devant et cache le Soleil".

Enfin, la dernière grande amélioration à apporter à cette séquence serait, je pense, de revoir la deuxième phase de recherche. C'est moi qui ai donné les directives aux élèves, leur disant ce qu'ils fallait faire pour trouver la solution ("on va essayer de

refaire l'expérience d'Adrien avec le modèle, on colle la petite feuille avec les points cardinaux au niveau de la France, puis on plante le petit morceau de bois qui symbolise la vis ...”). Je pense qu'il faudrait laisser les élèves réfléchir par eux même sur la méthode de résolution quitte à les aider un peu au lieu de leur donner la solution toute faite

VIII. Ce qui aurait pu être fait à la suite de la séquence:

A partir du modèle Terre/ Soleil qui a permis d'expliquer l'alternance des jours et des nuits, si le faisceau de lumière issu de la lampe est perpendiculaire à l'axe de la Terre, alors les jours et les nuits ont une durée égale, et cette durée est la même quel que soit le jour de l'année.

Pour expliquer la variation observable de la durée relative du jour et de la nuit au cours de l'année, on aurait pu essayer de compléter le modèle précédent par ajout d'hypothèses. Et ainsi, en gardant la même démarche scientifique étudier la variation du jour au cours de l'année. Ce qui peut permettre d'aller jusqu'au phénomène des saisons.

Toujours en complétant le modèle, par ajout de la Lune, une étude des différentes phases de la Lune pourrait être intéressante.

En gardant le même modèle, on aurait pu aussi se pencher sur le problème la trajectoire des étoiles au cours de la nuit. Ce qui aurait pu déboucher sur une observation des étoiles, une étude sur les constellations observables aux différents moments de l'année voir même sur les planètes du système solaire, les différents astres présents dans l'univers, la formation de celui-ci....

Les champs d'investigation en astronomie sont très nombreux et vu l'intérêt que les enfants y portent à l'école élémentaire, les propositions de suite à cette séquence ne manquent pas. Presque tout peut être abordé avec des élèves de cycles trois, à conditions de rester sur démarche scientifique adaptée à leur possibilité, et de créer une cohérence dans la progressions des apprentissages.

Conclusion

Nous avons pu voir tout au long de ce mémoire combien il est difficile de faire évoluer les représentations des élèves concernant l'explication des jours et des nuits. Nous avons aussi vu que l'astronomie est un domaine particulier des sciences où l'expérimentation sur le réel est impossible.

A ces deux problèmes qui se posent à tout enseignant voulant aborder les phénomènes astronomiques avec ces élèves, il semblerait qu'une solution (parmi d'autres possibles) puisse être envisagée à la suite de ce travail : proposer une modélisation de ces phénomènes aux élèves et construire le savoir grâce à la manipulation des modèles fabriqués.

Les résultats de cette recherche semblent convaincants : en plus de la motivation supplémentaire que l'utilisation des modèles apporte, du fait de l'aspect ludique des maquettes, la modélisation, en comparaison de la seule recherche documentaire, permet un abandon plus important des raisonnements naïfs et une meilleure compréhension des phénomènes étudiés puisqu'elle en favorise la représentation mentale des élèves.

Enfin, puisqu'elle participe de la décentration de son point de vue par l'individu, elle permet une meilleure intériorisation des connaissances scientifiques apportées par la recherche documentaire.

J'ai bien conscience toutefois du caractère limité de la portée des résultats de ce travail. Il ne s'agit pas ici de généraliser des résultats obtenus sur un échantillon relativement peu important (une quarantaine d'élèves) et peu représentatif de la population étudiée (individus issus notamment du même environnement urbain, des mêmes classe sociales...).

La seule conclusion possible à cette recherche est la suivante : il est possible d'aborder les phénomènes astronomiques avec des élèves de l'école élémentaire en instaurant une démarche scientifique. Les différentes méthodes à disposition de l'enseignant (expérimentation, modélisation, recherche documentaire, observations,...) ne sont pas contradictoires et doivent être utilisées en complémentarité l'une de l'autre afin de faire évoluer au mieux les représentations erronées des élèves et de construire un savoir qui soit réellement scientifique.

BIBLIOGRAPHIE

- DELEVAY, Michel. "Sur la méthode expérimentale". *Aster n°8, Expérimenter, modéliser*. Paris, Institut National de Recherche Pédagogique, 1989, pp. 1-16.
- DROUIN, Anne-Marie. "Le modèle en question". *Aster n°7, Modèles et modélisation*. Paris, Institut National de Recherche Pédagogique, 1988, pp.1-18.
- KOSSLYN, Stephen M. *Image and Mind*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1980.
- LINDSAY, Peter H.; NORMAN, Donald A. *Traitement de l'information et comportement humain : une introduction à la psychologie*. Montréal: Etudes Vivantes, 1980. 754 p.
- MARTINAND, Jean-Louis et al. *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris: Institut National de Recherche Pédagogique, 1992. 266p.
- MERLE, Hélène. "Comment modéliser "le ciel et la Terre"". *Aster n° 31, Les sciences de 2 à 10 ans*. Paris, Institut National de Recherche Pédagogique, 2000, pp. 37-70.
- MERLE, Hélène; GIRAULT, Yves. "L'enseignement de l'astronomie". *Aster n°36, L'enseignement de l'astronomie*. Paris, Institut National de Recherche Pédagogique, 2003, pp. 3-14.
- Ministère de l'Éducation Nationale. *Les nouveaux programmes*. Centre National de Documentation Pédagogique/ XO Editions, 2002.
- PIAGET, Jean; INHELDER, B. *La psychologie de l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France, 1966. ("Que sais-je?"; 369).
- PIAGET, Jean. *La psychologie de l'intelligence*. Paris: Armand Colin, 1947. 212p.
- PIERRARD, Marie-Anne. "Modélisation et astronomie". *Aster n°7, Modèles et modélisation*. Paris, Institut National de Recherche Pédagogique, 1988, pp.91-102.
- PIERRARD, Marie-Anne. "Modéliser les activités scientifiques à l'école élémentaire?". *Aster n° 16, Modèles pédagogiques 1*. Paris, Institut National de Recherche Pédagogique, 1993, pp. 47-76.
- ROLANDO, Jean-Michel. *L'astronomie à l'école: construire des compétences et des savoirs au cycle 3*. Paris: Delagrave, 2003.175p. (Pédagogie et formation).
- SHEPARD, Roger N.; METZLER, Jacqueline. "Transformational studies of the internal representations of three-dimensional objects", in: ERLBAUM, Lawrence. *Theories of cognitive psychology: the Loyola symposium*. Hillsdale: Solso RL, 1974, pp. 147-201.

SOMMAIRE DES ANNEXES

- ◆ **Annexe n°1** : **fiche de préparation**
Séance n°1 dans la classe test p.I
- ◆ **Annexe n°2** : **fiche de préparation**
Séance n°2 dans la classe test p.II
- ◆ **Annexe n°3** : **fiche de préparation**
Séance n°3 dans la classe test p.III
- ◆ **Annexe n°4** : **fiche de préparation**
Séance n°4 dans la classe test p.IV
- ◆ **Annexe n°5** : **fiche de préparation**
Séance n°5 dans la classe test p.V
- ◆ **Annexe n°6** : **fiche de préparation**
Séance n°1 dans la classe témoin p.VI
- ◆ **Annexe n°7** : **fiche de préparation**
Séance n°2 dans la classe témoin p.VII
- ◆ **Annexe n°8** : **fiche de préparation**
Séance n°3 dans la classe témoin p.VIII
- ◆ **Annexe n°9** : **fiche de préparation**
Séance n°4 dans la classe témoin p.IX
- ◆ **Annexe n°10** : **Représentations des élèves
dans la classe test** p.X
- ◆ **Annexe n°11** : **Représentations des élèves
dans la classe témoin** p.XI
- ◆ **Annexe n°12** : **Questionnaire sur le modèle
classe test uniquement** p.XII
- ◆ **Annexe n°13** : **Evaluation intermédiaire (classe test)** p.XIII
- ◆ **Annexe n°14** : **Evaluation intermédiaire (classe témoin)** p.XIV
- ◆ **Annexe n°15** : **Evaluation finale :**
 - premier volet p.XV
 - deuxième volet p.XVI
- ◆ **Annexe n°16** : **Traces écrites dans la classe test** p.XVII
- ◆ **Annexe n°17** : **Traces écrites dans la classe témoin** p.XXII

