



HAL
open science

L'influence de la modélisation sur les conceptions des élèves

Anaïs Feixa

► **To cite this version:**

Anaïs Feixa. L'influence de la modélisation sur les conceptions des élèves. Education. 2019. dumas-02505178

HAL Id: dumas-02505178

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02505178>

Submitted on 11 Mar 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

MASTER	
METIERS DE L'ÉDUCATION, DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA FORMATION	
Mention	Parcours
Premier degré	M2A
Site de formation :	Albi

MEMOIRE

L'INFLUENCE DE LA MODÉLISATION SUR LES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES

FEIXA Anaïs

Directeur de mémoire	Co-directeur de mémoire
Mr MONTOYA Jacques, enseignant Sciences Physique	Mr GERMANN Benjamin, enseignant SVT
Membres du jury de soutenance :	
<ul style="list-style-type: none"> - Mr MONTOYA Jacques, enseignant Sciences Physique - Mr GERMANN Benjamin, enseignant SVT 	
Soutenu le 18/06/2019	

Année universitaire 2018-2019

Sommaire

Introduction	3
I- Cadre théorique	5
1- La modélisation en sciences	5
a- Qu'est-ce que la modélisation ?	5
b- Modèle et modélisation	5
c- Modélisation et apprentissage	8
2- Démarche d'investigation et modélisation	10
a- La démarche d'investigation	10
b- La place de la modélisation dans la démarche d'investigation	13
c- Modélisation vs expérimentation	16
3- Représentation ou conception ?	17
a- Qu'est-ce qu'une représentation ?	17
b- Qu'est-ce qu'une conception ?	18
c- L'idée retenue	19
4- Les conceptions chez les élèves de l'école primaire	20
a- D'où viennent les conceptions ?	20
b- Que faire des conceptions des élèves ?	21
c- Comment les relever ?	23
d- L'évolution des conceptions et les obstacles à cette évolution	24
e- Conception et modélisation	26
II- Cadre expérimental	27
1- Problématique et hypothèses de recherche	27
2- L'alternance jour/nuit	28
3- Expérience	29
a- Méthodologie du recueil de données	29
b- Les conceptions initiales : résultats du recueil de données et analyse de ces résultats	32
c- Les conceptions finales : résultats du recueil de données et analyse de ces résultats	37
d- Discussion	46
Conclusion	48
Bibliographie	49
Annexes	51

Introduction

Au cours de ma scolarité, j'ai effectué différents stages pratiques. Lors de mon passage dans une classe de CM1/CM2 j'ai présenté une séquence sur la digestion. Pour cette séquence, j'ai tout d'abord relevé les conceptions initiales des élèves (on parle aussi de représentations) sur la question « quel est le trajet de la pomme que je mange dans mon corps ? », les élèves devaient remplir un schéma en traçant le trajet de la pomme et en ajoutant des organes. De plus, lors de cette séquence, une partie était consacrée à la modélisation de l'estomac afin de comprendre son rôle. Or, lors de cette séance de modélisation, où l'estomac était modélisé par un sac de congélation, les sucs gastriques par du vinaigre blanc et les aliments par de la salade, certains élèves ont pensé, après cette modélisation, que dans notre estomac nous avons du vinaigre qui permettait de détruire les aliments. C'est pour cela que j'ai décidé de faire mon mémoire de recherche sur le lien entre la modélisation et les conceptions des élèves en sciences.

En effet, dans la démarche d'investigation lorsqu'elle est présente dans une séquence, le professeur des écoles peut relever les conceptions des élèves, nous parlerons aussi de conceptions initiales. Celles-ci sont variées en fonction des élèves et peuvent être très éloignées de la réalité. Afin de répondre à la problématique de la séance ou des séances, l'enseignant peut utiliser différents moyens : expérience, modélisation, observation, réalisation matérielle, recherche documentaire... Ces phases d'investigations vont permettre de valider ou d'invalides les hypothèses que les élèves auront émises grâce à leurs conceptions initiales sur le sujet et de faire évoluer leurs conceptions.

J'ai donc décidé de m'intéresser au lien entre les conceptions des élèves et la modélisation et plus précisément de m'interroger sur l'influence de la modélisation sur les conceptions initiales des élèves. Il m'a paru intéressant d'étudier la modélisation car il y a souvent une distorsion entre le modèle et la réalité à l'inverse d'une expérimentation par exemple. La modélisation est une représentation simplifiée de la réalité, elle ne représente pas réellement cette dernière. Les élèves ne voient alors que ce modèle simplifié et non la réalité, ce qui peut avoir une influence sur leurs conceptions.

Pour pouvoir problématiser et émettre des hypothèses je vais commencer par l'étude de la modélisation, premièrement nous définirons concrètement ce qu'est un modèle et son lien avec les apprentissages pour pouvoir par la suite nous intéresser plus précisément à la modélisation dans la démarche d'investigation. Cette partie me permettra de redéfinir la place de la modélisation au sein de l'école, ses caractéristiques, ses avantages ainsi que ses limites.

Par la suite, je différencierai les termes de représentations et de conceptions en faisant l'état de l'art actuel des deux termes d'après différents scientifiques, le terme retenu me permettra ainsi de le mettre en relation avec la classe et donc avec les élèves. Pour travailler sur les conceptions des élèves, il est important de savoir d'où elles viennent, comment nous les relevons mais aussi comment elles évoluent et quels sont les obstacles à cette évolution : c'est pourquoi une partie sera consacrée aux conceptions chez les élèves de l'école primaire. Une mise en relation entre la modélisation et les conceptions sera ainsi faite pour problématiser et émettre mes hypothèses.

I- Cadre théorique

1- La modélisation en sciences

a- Qu'est-ce que la modélisation ?

Beaucoup de scientifiques et pédagogues se sont intéressés à la modélisation et à son rôle dans l'univers scientifique. Dans le dictionnaire français *Le Robert*, la modélisation est définie comme la « mise en équation d'un phénomène complexe permettant d'en prévoir les évolutions. » Le chimiste Neus Sanmartin affirme dans un livre que la modélisation est le cœur de la théorie scientifique, en effet il écrit que « Le cœur d'une théorie scientifique n'est pas constitué d'un ensemble d'axiomes ou de lois, mais d'un ensemble de modèles » (Sanmartí, 2002). L'importance de la modélisation dans le monde scientifique est aussi soulignée par Nancy Nersessian en 1999 qui pense que la modélisation est « le point de départ de l'élaboration de nouvelles idées et théories » (Nancy Narsessian, 1999). Cette activité scientifique est donc au cœur de la recherche scientifique. Elle est apparue au début du XIX^{ième} siècle dans le domaine de la géologie. En effet, des chercheurs, appelés auparavant savants, voulaient découvrir les mécanismes responsables des déformations qui affectent les roches. La modélisation s'est ensuite diversifiée au XX^{ième} siècle lorsque les rapports d'échelles entre réalité et modèles réduits ont été davantage pris en compte en étant calculés. La modélisation peut donc être définie comme la représentation d'un système par un autre à l'aide d'un modèle, plus facile à appréhender et de ce fait plus accessible que la réalité. C'est l'opération de construction d'un modèle. Il convient donc de définir ce qu'est réellement un modèle.

b- Modèle et modélisation

Le terme modèle vient du latin « *modulus* », qui désigne l'unité de mesure étalon servant à définir les rapports entre les dimensions des édifices architecturaux, comme l'affirmait Suzanne Bachelard, philosophe française, en 1979 (Bachelard, 1979). Il serait donc un support qui nous permettrait de visualiser le tout. D'après Anne Marie Drouin, philosophe française spécialiste de l'éducation : « 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. Le modèle réduit la complexité du réel afin de comprendre et faire comprendre ce réel en permettant des simulations impossibles sur l'objet lui-même. » (Drouin, 1988)

Il peut être de deux sortes, en effet il peut s'agir d'un système mathématique ou physique. On parle de modèle prédictif et de modèle explicatif. Il est prédictif s'il s'agit d'un système mathématique et il est explicatif s'il s'agit d'un système physique. Le modèle prédictif consiste à construire un ensemble de fonctions mathématiques décrivant le phénomène. Nous nous intéresserons ici, au modèle présent en sciences physiques, à savoir le modèle explicatif appelé aussi modèle analogique. Celui-ci vise à rendre compte des mécanismes et des processus qui représentent concrètement les phénomènes observés. Ils permettent d'explorer très rapidement un phénomène.

La modélisation serait donc un mode de représentation de la réalité. Représenter le réel c'est faire des hypothèses sur ce qui semble le caractériser au mieux en vue d'un objectif particulier. Par exemple, en sciences de la vie, lorsque nous voulons montrer l'action des sucs gastriques sur les aliments dans l'estomac, nous utilisons souvent du vinaigre, car le pouvoir destructeur du vinaigre sur un aliment comme la salade, associé au malaxage, semble être ce qui caractérise le mieux l'action des sucs gastriques dans l'estomac. Ici, nous réduisons l'action des sucs gastriques à leur pouvoir destructeur.

Nous pouvons prendre un autre exemple de modélisation des sciences de la Terre qui représentera le système solaire. Modéliser le système solaire en classe pour comprendre les phénomènes associés revient à faire des hypothèses sur ce qui semble caractériser au mieux le soleil, comment le représenter pour modéliser au mieux les phénomènes du système solaire. Lorsque le modèle est construit, il permet une certaine maniabilité qui traduit parfois une manipulation concrète. C'est un objet plus facilement maniable que la réalité. En effet, nous prenons un objet pour remplacer quelque chose de réel que nous ne pouvons pas réellement avoir : remplacer le soleil par une lampe. Si l'on résume, le modèle est tout d'abord une représentation, il sert à représenter la réalité. Le modèle est ensuite réducteur, on

réduit aux paramètres clés pour qu'il devienne un outil apportant des réponses sur l'observé. Pour finir, il est un outil apportant des réponses.

Ainsi, on peut attribuer quatre fonctions aux modèles. Premièrement, un modèle a une fonction organisatrice. En effet, il structure les relations entre les concepts, les observations et les données pour représenter au mieux un phénomène. Par la suite, il a une fonction heuristique car il fait découvrir de nouveaux faits, de nouvelles théories et apporte de nouvelles explications. Troisièmement, il a une fonction de prévision, il permet de prédire un résultat ou un comportement avec une meilleure certitude. Enfin, il permet de mesurer les données relatives à un phénomène. (Willet, 1996)

Cependant, il est important de souligner que les modèles sont limités. Comme le souligne Gérard de Vecchi dans son livre « Enseigner l'expérimental en classe », en parlant des modèles : « il s'agit d'un appauvrissement » (Vecchi, 2006). En effet, en simplifiant des phénomènes complexes la modélisation ne rend pas totalement compte de tous les aspects du réel, mais seulement de certains, d'où le terme « appauvrissement » employé par de Vecchi. La pertinence du modèle réside donc principalement dans le degré de précision. De plus, une des principales limites réside dans la relation modèle/référent, surtout dans l'enseignement scolaire. Comme l'écrivent Philippe Champsaur et Elsa Ménager dans leur mémoire professionnel en 2013, « lorsqu'on travaille sur un modèle, pour que celui-ci contribue à l'apprentissage de nouvelles notions, il est essentiel de faire une corrélation permanente avec le réel. » En effet, en fonction du modèle, les élèves peuvent avoir des difficultés à associer un élément du modèle à la réalité. Dans la même optique, il ne faut pas oublier qu'un modèle n'est qu'une représentation hypothétique de la réalité qu'il ne faut pas confondre avec la réalité étudiée. La limite réside dans le fait d'assimiler et de confondre les résultats de la modélisation avec le phénomène réel et de conclure à une similitude exacte. C'est pour cela que modèle et réalité doivent être sans cesse confrontés pour rendre compte concrètement du phénomène. De plus, la pertinence du modèle doit être étudiée au vu des connaissances et des représentations initiales des élèves. En effet, si la modélisation est trop complexe par rapport aux connaissances des élèves ou si elle est trop éloignée de leurs conceptions initiales, alors elle pourra s'avérer inefficace dans le processus d'apprentissage.

c- Modélisation et apprentissage

Le processus de modélisation accorde à l'élève une place active dans l'apprentissage. Le fait de manipuler, de chercher, de se questionner, de travailler avec d'autres élèves, sont autant de facteurs qui permettent à l'élève d'être au cœur de l'apprentissage. Philippe Meirieu, chercheur et spécialiste des sciences de l'éducation et de pédagogie, insiste sur le fait que « l'apprentissage emprunte des voies variées selon les individus et qu'un des moyens pour permettre un apprentissage est de mettre les élèves dans des situations-problèmes » (Meirieu, 1987). Le caractère observable et manipulable d'un modèle pour répondre à la situation-problème est donc un moteur considérable dans l'apprentissage, même si, l'enseignant, au regard des connaissances et des capacités des élèves reste source de savoir. En effet, ce dernier peut proposer un modèle aux élèves ou le construire avec eux. Cela dépend du phénomène à étudier, de la complexité à le représenter et de la présence ou non du matériel nécessaire en classe. Dans les deux cas, les tâches centrées sur le modèle conduisent l'élève à travailler sur les caractéristiques et les propriétés de ce modèle. En effet, les élèves peuvent identifier les différents éléments qui constituent le modèle, il s'agit alors de travailler sur ses caractéristiques. Aussi, ils peuvent analyser les relations qui lient ces différents éléments du modèle. De plus, il est possible de travailler sur les conséquences du fonctionnement du modèle et donc de ses propriétés. Éric Sanchez souligne que, dans ce cadre, « des activités de simulation peuvent conduire les élèves à identifier les conséquences de modifications de paramètres du modèle et donc les amener à explorer le modèle afin de s'approprier ses caractéristiques et ses propriétés. » (Sanchez É. , 2008). L'élève apprend ici par manipulation, réflexion et observation du modèle. En ce sens, l'élève apprend, par le biais de la modélisation trois compétences essentielles : percevoir et représenter un phénomène, communiquer pour argumenter, se questionner et établir des relations pour comprendre.

En effet, en premier lieu, l'élève apprend à représenter un phénomène qui peut être très abstrait pour lui. Il faut que l'enfant réussisse tout d'abord à se représenter mentalement et à percevoir ce phénomène. Les perceptions et les idées qu'un élève se fait dépend des connaissances qu'il a du sujet mais surtout de la facilité à se représenter une chose très souvent inaccessible à l'œil nu. Pour Martinand, dans le

contexte scolaire, la fonction de représentation est la fonction la plus importante. A ce propos il écrit que c'est : « celle qui correspond dans l'apprentissage à la tâche décisive, celle qui doit polariser au maximum l'attention des enseignants » (Martinand, Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences, 1992). L'étape où l'élève se représente le phénomène est donc une étape très importante dans le processus d'apprentissage.

Cependant, la visualisation suivie par la modélisation du phénomène, serait, selon Jack Guicard, le problème principal dans le cadre scolaire. En effet, pour ce biologiste, le problème est « de se représenter le système qui est étudié, particulièrement lorsque ce système n'est pas accessible à l'observation directe pour des raisons de temps ou d'espace. » (Guichard, 2001). Bien souvent, l'enseignant est amené à proposer des modèles déjà construits comme des maquettes représentant le système solaire.

Par la suite, par le processus de modélisation ou plus généralement grâce à la démarche d'investigation, l'enfant apprend à communiquer pour argumenter. Afin de construire un modèle, les élèves devront exprimer leurs idées premières sur le sujet, puis arrivera la phase où ils devront se représenter leur schéma virtuel. L'élève apprendra ici à argumenter ses propos pour pouvoir défendre son idée. Pour l'élaboration du modèle, les élèves devront unir leurs idées afin de réaliser un seul et unique objet pour la classe. Des débats vont apparaître et donneront accès à un partage d'idées qui, à la suite de cet échange rassemblera les élèves autour de plusieurs suggestions. Cette étape va permettre à l'ensemble des élèves d'argumenter leurs idées et de communiquer avec l'ensemble de la classe sur un sujet scientifique.

Pour finir, l'élève apprend à se questionner et à établir des relations pour comprendre un phénomène. On parle ici de la fonction heuristique des modèles qui ont une place majeure dans les apprentissages. L'enfant identifie les variables qui constituent le modèle ainsi que les relations entre ces dernières, ce qui va permettre d'améliorer la compréhension du phénomène. Les modèles deviennent alors de véritables outils dans la classe, c'est pour cela que, dans la mesure du possible, les modèles doivent être réalisés par les élèves. Il est possible que l'enseignant fournisse le modèle mais dans ce cas-là, se pose le problème de la compréhension

du modèle en lui-même. En effet, le travail de compréhension risquerait d'être basé sur le modèle plutôt que sur le phénomène qu'il représente.

C'est donc en permettant à l'élève de réfléchir que l'enseignant favorise les apprentissages sur le sujet. Mais il ne s'agit pas de faire participer l'enfant seulement lors de la modélisation pour que ce dernier soit véritablement acteur de ses apprentissages. En effet, dès lors que la situation de départ est annoncée par l'enseignant et pendant toute la démarche de recherche les élèves vont devoir se questionner, chercher, s'exprimer... Il convient alors de décrire cette démarche, souvent présente dans l'enseignement des sciences à l'école : la démarche d'investigation.

2- Démarche d'investigation et modélisation

a- La démarche d'investigation

Dès l'école maternelle, les élèves suivent des enseignements obligatoires en sciences, et ce jusqu'au lycée. En effet, dans le bulletin officiel n°2 du 26 mars 2015 relatif au programme de l'école maternelle, il est écrit qu'à travers le domaine 5, appelé « Explorer le monde », les élèves apprennent dès la petite section à « découvrir, organiser et comprendre le monde qui les entoure. ». Par la suite, dans le bulletin officiel n°11 du 26 novembre 2015 concernant l'école élémentaire on peut voir, pour le cycle 2 l'enseignement « Questionner le monde ». Comme il est écrit dans les programmes : « Dans cet enseignement, les élèves font une première découverte de la science. » La découverte du monde scientifique se poursuit au cycle 3 avec la discipline « Sciences et technologie » puis au cycle 4 au travers des « Sciences de la Vie et de la Terre ».

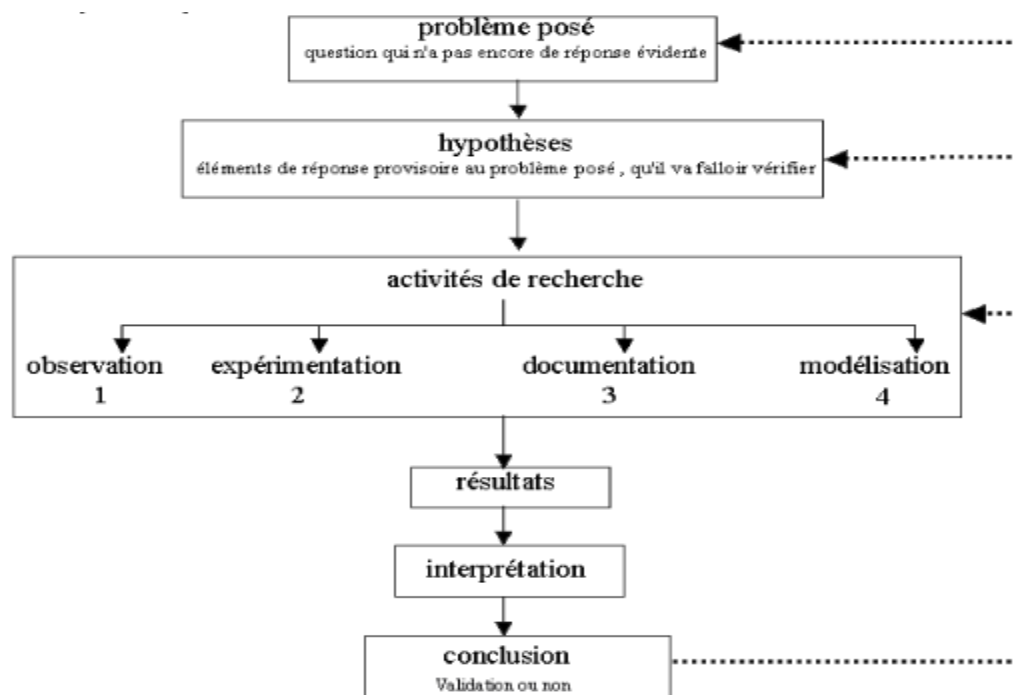
Dans cet enseignement scientifique qui est continu tout au long de l'école primaire et qui se poursuit au collège puis au lycée, les instructions officielles (tel que en 2015 le socle commun de connaissances et de compétences qui énonce les grandes étapes qui caractérisent la démarche d'investigation à l'école : observer, questionner, formuler une hypothèse, la valider) conseillent de recourir à la démarche d'investigation. Cette dernière repose sur une méthode de recherche scientifique constituée de plusieurs étapes permettant de trouver une réponse à une question ou à un problème. Dans cette démarche et dès l'école maternelle les

élèves observent, se questionnent, cherchent, expérimentent... Ils sont alors les propres acteurs de leurs apprentissages et non des observateurs passifs. Le modèle ascendant est mis en avant avec l'utilisation de cette méthode. En effet, le professeur n'est plus simplement le seul à transmettre le savoir, ce sont les élèves et le professeur qui observent, se questionnent et expérimentent ensemble. Cette démarche pédagogique basée sur l'investigation par les élèves se démarque donc, en ce sens, d'une pédagogie qu'on peut nommer « magistrale » qui laisse peu de place à l'activité collective des élèves.

Cette méthode pédagogique, relativement récente, vise à favoriser l'enseignement des sciences à l'école. En effet, avant les années 2000, les sciences étaient de moins en moins enseignées à l'école primaire. C'est pour cela qu'en 2000, l'Inspection générale de l'Éducation nationale a mis en place un Plan de Renovation de l'Enseignement des Sciences et de la Technologie (PRESTE). Dans ce plan de rénovation, apparaît alors la notion d'investigation. Au-delà des influences des idées de certains psychologues comme John Dewey, une autre influence est celle de la fondation « *La main à la pâte* » lancée en 1995 en France. Cette fondation promeut la méthode de la démarche d'investigation et sa principale mission est de « contribuer à améliorer la qualité de l'enseignement de la science et de la technologie à l'école primaire et au collège, école du socle commun où se joue l'égalité des chances ».

Cette démarche, qui se déroule sur plusieurs séances comporte plusieurs étapes. Ces dernières sont adaptées à la classe, aux connaissances ainsi qu'aux capacités des élèves. Premièrement, une situation de départ où un problème est posé par le professeur déclenche la curiosité des élèves et motive ces derniers. Elle permet également d'introduire la séquence qui va être menée tout au long de la démarche d'investigation. Par la suite a lieu un recueil des conceptions initiales des élèves et la formulation du problème. L'enseignant peut par exemple demander aux élèves de réaliser un schéma, un dessin, ou d'écrire leurs connaissances sur le sujet traité ce qui permettra de débattre pour confronter les différentes conceptions initiales sur le sujet. Ici, les élèves s'approprient le sujet, ce n'est plus seulement la réflexion du professeur mais un problème que la classe va devoir résoudre. Vient ensuite la formulation d'hypothèses par les élèves et la conception de l'investigation. La classe propose des réponses au problème, ces dernières devront être testées plus tard,

ce ne sont donc pour l'instant que des hypothèses. Ces dernières doivent être écrites afin d'en garder les contenus pour les comparer aux résultats finaux. La phase d'investigation, conduite par les élèves s'ensuit alors. Elle peut être menée en mettant en œuvre différentes méthodes : une expérience, une modélisation, une observation du réel ou d'image du réel, une recherche documentaire (papier, vidéo, site internet...) ou enfin une enquête / visite avec un questionnaire à remplir. Par la suite a lieu la confrontation des résultats : ces derniers sont communiqués au sein de la classe et un débat sur leur validité peut avoir lieu. Enfin, a lieu la structuration des connaissances et la confrontation des résultats au « savoir savant ». C'est lors de cette étape que les hypothèses vont être vérifiées ou non, ce qui oblige les élèves à débattre et à argumenter entre eux. Cette étape permet de structurer les connaissances souvent à l'aide d'une trace écrite proposée par les élèves. Pour finir, la démarche peut se terminer avec l'évaluation, pouvant prendre différentes formes et qui permet de voir si les objectifs fixés par le professeur sont atteints par l'ensemble des élèves de la classe. En conclusion, la démarche peut être résumée par ce schéma, proposé par Dominique Rojat (enseignant du premier degré) et l'équipe de « La main à la pâte », tout en s'adaptant à la singularité de chaque classe :



La démarche d'investigation, Dominique Rojat et l'équipe de La main à la pâte

Source : <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/17793/la-demarche-dinvestigation>

b- La place de la modélisation dans la démarche d'investigation

La phase d'investigation, qui va permettre de valider ou d'invalider les hypothèses émises par les élèves, peut être réalisée à l'aide de différents moyens dont la modélisation. Quel que soit le moyen utilisé pour résoudre l'investigation, cette phase est un moment d'échanges et de recherches entre les élèves. En effet, les élèves sont souvent en groupe et plusieurs débats internes ont lieu pour parler par exemple des paramètres variables pour une expérience, de la validité du document pour une recherche documentaire ou encore de la validité du modèle lors d'une modélisation et ce toujours en lien avec les hypothèses de départ. La modélisation est souvent utilisée lors de cette phase lorsqu'il s'agit d'un phénomène tel que l'étude de phénomène géologique ou l'étude du système solaire. Grâce à la modélisation les élèves vont pouvoir tester, faire des essais et observer les résultats d'un phénomène naturel qui ne peut donc pas se prêter à l'expérimentation de par son aspect macroscopique comme les volcans ou du fait de son inaccessibilité comme l'étude de la digestion par exemple. Corinne Dècle et Danielle Laurent affirment à ce sujet dans leur guide que « Le plaisir intellectuel qu'apporte la possibilité de pouvoir commencer à expliquer le monde qui nous entoure, pour agir sur lui de façon plus rationnelle et pertinente, est un puissant moteur pour développer l'appétit d'apprendre. » (Dècle & Laurent, 2005).

La modélisation peut alors être considérée comme un outil qui motive les élèves et leur donne l'envie d'apprendre, chose qui ne peut être négligée. En effet, si les élèves sont motivés par le sujet et la tâche d'apprentissage ils seront davantage impliqués ce qui rend l'apprentissage plus efficace. Comme le précise Éric Sanchez dans son article, « le modèle devient alors un instrument de connaissances permettant aux élèves de conduire leur investigation et de donner du sens aux tâches dans lesquelles ils s'engagent. » (Sanchez É. , 2008).

En ce sens, la modélisation ou plus précisément le modèle, est un outil permettant à l'élève de mettre en lien la théorie et le réel. Par ailleurs, pour que les enfants mettent du sens et comprennent ce lien entre les deux mondes il est important, dans la mesure du possible et en fonction du niveau de classe, que la recherche du modèle et des éléments constituant ce dernier soit faite par les élèves. Ces derniers peuvent, par groupes, chercher un moyen de modéliser le phénomène à condition

qu'ils connaissent le matériel à disposition dans l'école ou que ce soit du matériel qu'ils peuvent amener de chez eux.

Une fois que le modèle est choisi et compris par tous il peut alors devenir, comme l'écrit Éric Sanchez dans son article « *Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la terre?* », un outil tout d'abord de médiation entre réel et théorie mais aussi un outil d'investigation scientifique. (Sanchez É. , 2008) Christian Buty, enseignant chercheur en didactique des sciences s'est intéressé à cet aspect de la modélisation dans sa thèse en sciences de l'éducation et précise à ce sujet que les deux mondes mis en relation dans une activité de modélisation sont : « un monde de modèles et théories et un monde d'objets et d'évènements ». (Buty, 2000) Par « monde de modèles et de théories », il entend « tout ce qui relève des outils qui permettent d'agir sur la réalité » alors que par « un monde d'objets et d'évènements » il parle de « ce qui relève de la réalité expérimentale. »

Tout cela fait donc parti du registre empirique, ce dernier étant défini par Lhoste (didacticien et docteur en sciences de l'éducation) comme ce qui « contient des objets, des phénomènes et des expériences quotidiennes. Il contient les éléments que l'on peut vérifier par une observation, une mesure. » (Lhoste, 2006). Or, lorsqu'un élève modélise un phénomène il a besoin de certaines connaissances préalables, acquises auparavant qui sont devenues avec le temps des règles générales lui permettant de construire sa théorie sur le phénomène étudié. On parle alors de registre théorique de l'élève. Enfin, lorsque l'élève veut représenter le réel pour pouvoir l'interpréter, il mobilisera le registre du modèle. Pour résumer, les éléments du registre empirique sont les éléments à expliquer, à l'inverse du registre théorique qui, pour sa part, contient les éléments que l'on peut appeler « vrais » et que l'élève est capable de mobiliser et d'expliquer. Enfin, pour expliquer les éléments du registre empirique l'élève aura recourt au registre du modèle.

Lorsque l'élève modélise il met donc en lien ces différents registres. En effet pour Martinand, on peut « distinguer une connaissance empirique initiale qui permet la construction du modèle [...] d'une description seconde rendue possible par l'utilisation du modèle qui se projette sur le référent empirique [...] » (Martinand, Introduction à la modélisation, 1994a). L'élève mobilise donc, d'après cet

enseignant chercheur, l'ensemble de ces registres lors de l'étape de la modélisation.

En outre, pour Christian Orange, la modélisation n'est pas « une simple mise en relation des différents registres pour trouver une solution ; elle nécessite une mise en tension de ces différents registres qui conduit à la problématisation. » (Orange, 2000). Le modèle devient alors, selon son idée, une « solution réalisant les nécessités ».

En plus d'être, pour l'élève, un outil de médiation entre le réel et la théorie, le modèle est aussi un outil d'investigation pour la classe. Par ailleurs, Martinand écrit, dans un autre ouvrage, que le modèle, dans l'enseignement des sciences, perd son caractère hypothétique pour prédire et expliquer pour laisser place le plus souvent à « l'imposition d'un point de vue, d'un mode de description, d'une interprétation » (Martinand, Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences, 1992). Plus tard, dans les années 2000, le même constat a été fait par Sanchez, Prieur et Devallois qui pensent que, les modèles perdent leur « statut d'outils pour penser ». (Sanchez, Prieur, & Devallois, 2005). En effet, les modèles seraient trop souvent considérés par les enseignants comme un outil qui permet de décrire et d'expliquer et pas assez comme un outil à caractère prédictif.

Cependant, en considérant les travaux de Martinand sur les différents registres des modèles (empirique, théorique...) que j'ai développé auparavant, on remarque que les modèles sont, tout de même, des intermédiaires entre ces différents registres et restent donc malgré ces études, des outils d'investigations scientifiques. En effet, Ibrahim Halloun, professeur en sciences de l'éducation, propose de « placer la modélisation au centre des activités de résolution de problèmes et de faire des modèles dans la classe des « outils pédagogiques » ». (Sanchez É. , 2008) (Halloun, 2004). En effet, ils permettent d'une part aux élèves de construire leur propre registre empirique et favorisent la compréhension des lois et théories. Par ailleurs, certaines conclusions sur la place que tient la modélisation dans la démarche d'investigation peuvent également être appliquées à l'expérimentation, comme à la modélisation, qui fait partie des modes d'investigations possible dans la démarche d'investigation. Il est donc important de définir qu'est-ce qui différencie la modélisation de l'expérimentation, les deux étant des modes d'investigations

possible dans la démarche d'investigation. De plus, existe-t-il une différence dans le processus d'apprentissage lors de l'utilisation d'un des deux modes ?

c- Modélisation vs expérimentation

Si l'on peut facilement différencier et même opposer l'expérimentation de la recherche documentaire par exemple, la distinction entre modélisation et expérimentation est plus délicate. Dans les deux cas, l'élève manipule, cherche, tâtonne. Cependant, les modèles permettent une représentation simplifiée de phénomènes complexes non observables directement alors que les expériences sont réalisées dans des conditions réelles. En effet, lorsqu'on réalise une expérience scientifique, on cherche à tester des hypothèses afin de les valider ou de les invalider. Pour cela, il faut concevoir un protocole expérimental qui inclue des variables et un témoin. Par exemple, lorsqu'on fait une expérience pour connaître les besoins des plantes vertes, plusieurs variables peuvent être testées : présence ou absence d'eau, différence de température, la luminosité, la terre... et un témoin permettra de comparer les résultats afin de valider ou non les hypothèses.

En ce sens, chaque démarche s'appuie l'une sur l'autre. En effet : toute expérimentation peut déboucher sur une question dont la solution nécessitera la construction ou l'usage d'un modèle [...] Inversement, la prévision faite dans le cadre d'un modèle pourra être vérifiée par expérimentation ou observation. » (1998, p. 99). On peut alors considérer que les modèles réalisent l'articulation du concret de l'expérience avec l'abstrait de la théorie.

Ce qui différencie considérablement l'expérience de la modélisation c'est le lien qu'ils entretiennent avec le réel. En effet, l'expérience est propre au réel, elle peut s'effectuer sur la matière comme quand on fait l'expérience des liquides homogènes/hétérogènes mais aussi sur la matière vivante comme des expériences sur les végétaux... A l'inverse, la modélisation n'est qu'une représentation du réel, les élèves ne manipulent pas sur quelque chose qui est réel. De ce fait, lors de l'étape de la modélisation il est important de préciser ce lien étroit avec le réel.

En effet, si le lien avec le réel n'est pas effectué, il pourrait être possible que les modèles modifient les idées des élèves et fassent naître de fausses idées. On parle

alors de représentations ou même de conceptions des élèves, qui peuvent donc être modifiées. Nous rechercherons par la suite la définition d'une représentation et d'une conception afin d'adapter le terme le plus approprié et ainsi comprendre son lien avec la modélisation.

3- Représentation ou conception ?

a- Qu'est-ce qu'une représentation ?

La représentation est un mot polysémique mais tel qu'on l'aborde ici c'est « Le fait de rendre sensible (un objet absent ou un concept) au moyen d'une image, d'une figure, d'un signe. » (Définition d'après Le Robert, dictionnaire Français). On peut le définir alors par le fait de se représenter quelque chose par l'esprit. Il existe des représentations individuelles, collectives et sociales. Nous nous intéresserons aux représentations individuelles, c'est à dire aux idées qu'un élève se construit par l'interaction avec son environnement et le contexte socio culturel dans lequel il vit. Pour Jean Clenet, professeur de sciences et technologie, les représentations individuelles sont « ce qu'un sujet a pu intérioriser d'une situation vécue, de ce qui pour lui "fait sens" et donne sens à ses actions » (Clenet, 1998). Chaque élève possède ses propres représentations par son propre vécu, comme le dit Serge Moscovici, directeur du Laboratoire Européen de Psychologie Sociale, elles sont « propres à chaque individu et elles sont variables ». (Moscovici, 1989). On retrouve alors dans une classe diverses représentations que le professeur essaiera de faire évoluer. Pour Jean Pierre Astolfi, spécialiste de la didactique des sciences, une représentation « combine l'idée de quelque chose qui est mentalement déjà là au moment où le savoir se donne sous sa forme scolaire ». (Astolfi, Comment les enfants apprennent les sciences, 1998) D'après ces différents spécialistes en didactique des sciences, les élèves arrivent en classe avec des idées et des représentations, ces dernières pouvant être définies comme la manière dont ils se représentent mentalement quelque chose.

b- Qu'est-ce qu'une conception ?

Le mot conception est également un mot polysémique, mais tel qu'on le considère dans ce mémoire on peut définir une conception comme « La formation d'un concept dans l'esprit. Action de concevoir, acte de l'intelligence de la pensée, s'appliquant à un objet existant (définition d'après le dictionnaire de Français Le Robert). André Giordan spécialiste de la didactique et de l'épistémologie des sciences et Gérard de Vecchi, enseignant chercheur, se sont intéressés au terme de conception pour des élèves de l'école primaire. En effet, dans leur livre « Les origines du savoir » ils définissent les conceptions comme un « ensemble d'idées coordonnées et d'images cohérentes, explicatives, utilisées par les apprenants pour raisonner face à des situations problèmes et traduisant une structure mentale sous-jacente responsable de ces manifestations contextuelles ». (Giordan & Vecchi, Les origines du savoir, 1994)

Pour eux, une conception correspond aux idées que les élèves ont déjà (directement ou indirectement) sur les savoirs enseignés. Grâce à celle-ci ils essaient de comprendre les propos de l'enseignant sur le sujet. Pour Giordan, il est important de tenir compte de ces conceptions pour ne pas que ces dernières persistent dans la tête des élèves au détriment du savoir enseigné. En effet les conceptions des apprenants sont stables du fait de leur logique et de leur cohérence dans la tête de l'élève. Ces spécialistes ont également écrit que « Une conception dépend du niveau de connaissance, du vécu et du milieu socioculturel de l'apprenant » (Giordan & Vecchi, L'enseignement scientifique, comment faire pour que ça marche?, 1989). C'est donc quelque chose de personnel, propre à chaque individu et qui permet à chacun « d'expliquer le monde qui l'entoure » (Giordan, Les conceptions de l'apprenant comme tremplin pour l'apprentissage... !, s.d.)

On peut voir que représentation et conception ont des définitions quelque peu similaires. Ce sont en effet des termes très proches, qui peuvent signifier la même chose selon les personnes de la communauté scientifique. Dans ce mémoire il conviendra donc de retenir un terme pour parler des idées initiales des élèves sur un sujet.

c- L'idée retenue

En conclusion, nous avons pu remarquer dans la partie précédente que représentation et conception sont des termes très proches, difficilement différenciables, si bien qu'André Giordan et Gérard de Vecchi ont proposé de remplacer le terme de représentation par celui de conception. En effet, le premier est « jugé trop statique au regard de l'idée à exprimer » (Halte, 1992). De plus, le terme de « conception » cherche également à se débarrasser de la polysémie du terme « représentation » et de son emploi dans différents champs, comme la sociologie, l'art, la psychanalyse et la psychologie cognitive comme l'explique Pascal Duplessis dans son séminaire nommé : Contextes et enjeux de la culture informationnelle, approches et questions de la didactique de l'information.

Les spécialistes de la communauté scientifique sont donc plutôt partisans du terme « conceptions » lorsqu'on fait l'état des lieux des idées des élèves sur un sujet. En effet, le mot représentation est contesté dans l'univers scientifique car il est lié à d'autres domaines. Si on prend l'exemple de l'art, le mot représentation peut être employé pour parler d'une représentation artistique, théâtrale... Le mot conception se rapproche du mot concept, ce qui fait davantage référence à la définition qu'on donne et au sens qu'on cherche à donner à ce mot.

C'est donc ce terme de conception que nous retiendrons pour ce mémoire et non le terme « représentation ». Tout au long de ce mémoire, le terme de conception sera employé pour parler des idées qu'ont les élèves sur un sujet, on parlera aussi de conceptions initiales, quand nous ferons le premier état des lieux des idées des élèves sur le sujet, sans avoir donné d'informations. Maintenant que le terme de « conception » est choisi il conviendra d'approfondir et de définir d'où viennent ces conceptions qu'ont les élèves à leur âge ? Pourquoi est-il important de les relever dans la démarche d'investigation mais aussi comment l'enseignant parviendra-t-il à les recueillir? Pour finir, il me semble important de parler de l'évolution de ces conceptions ainsi que des obstacles de celle-ci.

4- Les conceptions chez les élèves de l'école primaire

a- D'où viennent les conceptions ?

Un élève n'est jamais à cours de connaissances. Son environnement, son vécu, ses expériences lui transmettent des savoirs, des idées et donc des conceptions sur un sujet. Les premières idées émanant d'un élève sont appelées les « conceptions initiales » et dépendent de son expérience antérieure. Jean Pierre Astolfi s'est intéressé à ce sujet et, d'après lui, il existerait 4 champs différents qui expliqueraient l'origine des conceptions des élèves. (Astolfi, Mots clés de la didactique des sciences, 1997). Pour ses travaux, il s'est appuyé sur les idées de plusieurs psychologues et pédagogues comme Piaget, Freud, Bachelard ou encore Moscovici.

En premier lieu, la psychologie génétique révélerait qu'il existerait différents stades de développement chez l'enfant. En effet, son « état psychologique » ne lui permettrait pas de visualiser au-delà de son développement mental à un moment donné. En conclusion nous pourrions admettre que ses idées sont dépendantes de l'âge de la personne.

Par la suite, les concepts scientifiques se construiraient grâce à des ruptures liées aux expériences de l'élève dans sa vie quotidienne qui permettraient de passer d'une idée à une autre ou de la faire évoluer. On est ici sur le champ de l'épistémologie.

De plus, le champ de la psychanalyse et par conséquent le travail de l'inconscient, expliquerait, (toujours d'après les travaux de Freud), les conceptions des élèves. En effet, inconsciemment les idées des élèves seraient guidées par le contexte situationnel dans lequel ils se trouvent c'est-à-dire, ce qu'ils ont appris, entendus et ce que l'enseignant leur demande.

Pour finir, le champ psychosocial joue également un rôle dans l'origine des conceptions des élèves. En effet, le milieu social, culturel, familial, ainsi que l'influence des médias de nos jours sont autant de facteurs qui influent sur les idées des élèves. Tout ce que l'enfant voit, entend, perçoit, va lui permettre de structurer sa pensée. De ce fait ses idées sont ancrées et font sens pour lui, il sera alors difficile de déconstruire celles-ci.

Tous les élèves ont des conceptions différentes sur un sujet. Chaque conception est unique pour l'enfant et diffère selon sa curiosité et son environnement. Il peut y avoir autant d'élèves dans la classe que d'idées différentes. On peut alors se demander : que faire avec ces conceptions ? Faut-il toutes les relever ? Ou ne pas les relever ? Les exploiter ? Ou vivre dans l'ignorance ?

b- Que faire des conceptions des élèves ?

Face aux nombreuses conceptions différentes existantes, l'enseignant a plusieurs choix : les ignorer, les confronter ou laisser le libre arbitre aux élèves. André Giordan et Gérard de Vecchi ont étudié le sujet dans leur ouvrage *L'enseignement scientifique : comment ça marche ?* et, d'après eux, l'enseignant a trois possibilités : « faire sans, faire avec, faire contre » (Giordan & Vecchi, *L'enseignement scientifique, comment faire pour que ça marche?*, 1989).

Tout d'abord il est possible de « faire sans » c'est-à-dire d'éviter et même d'ignorer les conceptions des élèves. Ici on considère que le savoir ne vient que de l'enseignant et que les idées des élèves n'ont pas d'incidence sur l'apprentissage. Cela correspond à un modèle transmissif. En contrepartie ne pas tenir compte des conceptions des élèves, c'est les éloigner du processus d'apprentissage ce qui risquerait d'être un obstacle pour ce dernier. Certains enseignants utilisent cette méthode car ils estiment que partir des conceptions des élèves c'est aussi adapter sa séquence en fonction des réponses et des idées.

Par la suite, l'enseignant peut « faire avec » autrement dit, il peut seulement laisser les élèves s'exprimer sur le sujet en utilisant leur conception comme simple motivation, leurs idées deviennent alors un outil didactique. Lorsque la phase d'expression et d'échanges entre élèves est terminée, l'enseignant ne tient plus compte des conceptions des élèves dans son enseignement et mène sa séquence comme prévu initialement.

Cependant, Bachelard affirme que les conceptions des élèves peuvent être un « obstacle à l'intégration des connaissances » (Bachelard, 1979). De ce fait, si l'enseignant ne les relève pas ou n'en tient pas compte, il prend le risque que, comme l'écrit Giordan : « elles se maintiennent et les connaissances enseignées glissent à la surface des élèves sans les imprégner. » (Giordan, *Les conceptions de*

l'apprenant comme tremplin pour l'apprentissage... !, s.d.). Les obstacles doivent donc devenir des clés de l'apprentissage et, selon Astolfi, l'enseignant doit les traiter « non pas négativement comme ce qui empêche l'apprentissage, mais plutôt les considérer comme l'enjeu conceptuel. » (Astolfi, Comment les enfants apprennent les sciences, 1998). En effet, recueillir mais surtout prendre en compte et analyser les conceptions des élèves permet de connaître les obstacles et de proposer des situations et des activités qui transformeront ces idées erronées.

On en vient alors à la troisième possibilité qu'ont les enseignants face aux conceptions des élèves. En effet, pour une prise en compte efficace des conceptions des élèves, Giordan conseille de « faire avec pour aller contre » (Giordan, Les conceptions de l'apprenant comme tremplin pour l'apprentissage... !, s.d.). Cette attitude consiste à utiliser les conceptions initiales des élèves pour les amener à se rendre compte par eux même de leurs erreurs. Les différentes idées des élèves vont se confronter dans le but de transformer les conceptions erronées mais pas de les détruire.

Il convient, premièrement, d'entendre ces conceptions en laissant les élèves s'exprimer librement. Par la suite, il est important de comprendre les idées en cherchant leur sens puis de les comparer car c'est ce qui va engendrer et favoriser le changement de point de vue. Une vraie discussion entre les élèves doit avoir lieu, prenant la forme d'un débat qui devrait remettre en doute les idées initiales. Pour finir le professeur doit, tout au long de la séquence, suivre les conceptions en surveillant leurs évolutions.

Recueillir et confronter les conceptions initiales des élèves a de nombreux intérêts aussi bien pour les élèves que pour l'enseignant. En effet, cela permet au professeur de constater le niveau de connaissances des élèves ainsi que les obstacles rencontrés. De plus, ce recueil conduit les élèves à argumenter pour défendre leur point de vue mais aussi à cimenter le débat, en respectant le point de vue différent des autres élèves et en apprenant à s'exprimer devant la classe. Sans le savoir les enfants se retrouvent dans une situation de respect et d'écoute envers leurs camarades.

Cette dernière possibilité appelée « faire avec pour aller contre » est l'attitude préconisée par les didacticiens car elle place l'élève au cœur du processus

d'apprentissage. Cependant, face aux nombreuses conceptions différentes, l'enseignant peut relever ces dernières de plusieurs manières, certaines étant plus pertinentes que d'autres.

c- Comment les relever ?

Il existe différentes façons de relever les conceptions initiales des élèves. Ce relevé est un moyen de débiter la réflexion sur le thème à étudier. Cette étape permet également de motiver les élèves en les intéressant sur le sujet et permet surtout de donner du sens à cette étude. Parmi les 7 manières de recueillir les conceptions initiales, nous pouvons différencier celles qui se relèvent à l'oral de celles qui se relèvent à l'écrit.

En effet, pour relever les conceptions à l'écrit l'enseignant peut, en premier lieu, demander aux élèves de faire un dessin ou un schéma en demandant par exemple de dessiner un volcan en le légendant. Il peut également demander de compléter un schéma en demandant « montre le trajet de la pomme dans le corps en légendant les organes que tu connais ». Cette méthode permet de connaître le vocabulaire déjà acquis ainsi que les failles. Elle peut être faite individuellement pour commencer puis collectivement, ce qui obligera les élèves à argumenter leur point de vue pour convaincre les autres.

Par la suite, il est possible de relever les conceptions initiales par la rédaction libre. Ici l'enseignant demande aux élèves d'écrire ce qu'ils connaissent sur le sujet ou de répondre à une question. Ces deux façons de recueillir les conceptions peuvent être liées, en effet le professeur peut demander de faire un dessin ou un schéma puis de l'expliquer avec quelques phrases.

De plus, on peut proposer un questionnaire aux élèves avec diverses questions ouvertes qui laissent une liberté de réponse et non une question fermée, où l'élève ne peut répondre que par oui ou non et donc répondre au hasard.

Pour finir sur le recueil des conceptions à l'écrit, le professeur peut proposer un nuage de mots aux élèves contenant plusieurs mots relatifs au thème abordé. Ici l'élève doit entourer les mots qui lui semble le plus en rapport avec le thème travaillé.

L'enseignant peut aussi relever les conceptions oralement. Premièrement, il peut organiser un débat guidé en posant une question générale. Il pourra se rendre compte de ce que savent les élèves mais aussi quelles sont les questions qu'ils se posent. Le professeur coordonne seulement le débat et ce sont les élèves qui font part de leurs idées et enrichissent leurs réponses mutuellement. Cependant, dans ce type d'exercice, la vigilance doit être omniprésente car il est primordial que chaque élève participe et exprime son idée.

De plus, il est possible d'utiliser des images d'album de jeunesse, des schémas ou des vidéos. Les élèves sont amenés à critiquer et à justifier ce qui leur semble vrai ou faux.

Pour finir, l'enseignant peut faire un brainstorming : il peut demander aux élèves d'exprimer leurs pensées sur le sujet. Le professeur écrit alors les mots au tableau sous forme de carte mentale.

Que les idées soient recueillies à l'oral ou à l'écrit il conviendra par la suite de les vérifier pour montrer aux élèves que leurs conceptions sont vraies ou fausses. Le but étant de faire évoluer leurs conceptions malgré les obstacles.

d- L'évolution des conceptions et les obstacles à cette évolution

André Giordan, didacticien, pense « qu'on ne peut éviter de s'appuyer sur les conceptions en place. C'est le seul outil à la disposition de l'élève pour décoder la situation et les messages. Dans le même temps, il faut les dépasser. » (Giordan, Apprendre, comprendre, s'approprier le savoir, s.d.). Il s'agit alors d'aider les élèves à faire évoluer leurs conceptions à partir d'un remaniement profond. Cependant, l'enseignant ne va pas utiliser la même stratégie si les conceptions sont fondées ou si elles sont erronées. En effet, si elles sont justes le professeur doit s'appuyer dessus pour amener l'élève vers un savoir plus scientifique. Au contraire, si elles sont erronées, il faut le montrer à l'élève puis construire le nouveau savoir scientifique. L'élève passe dans les deux cas, d'une conception ancienne à une conception nouvelle.

Cependant, pour que l'élève passe d'une conception à une autre, il faut qu'il accepte de remplacer ses conceptions. En effet, si l'élève est sûr de ses idées et que son

raisonnement lui paraît juste et logique, il ne verra aucun intérêt à changer de raisonnement. Pour créer un doute chez les élèves et donc déstabiliser ses conceptions l'enseignant peut utiliser la confrontation d'idées. Deux types de confrontations sont possibles.

Premièrement, les différentes idées des élèves peuvent être confrontées, ce qui va engendrer un conflit sociocognitif. Cette situation d'échange va permettre à chaque élève d'exprimer ses idées et donc de créer le doute dans les idées des camarades. Ceci va l'amener progressivement à accepter de nouvelles idées. Cet échange entre pairs permet un apprentissage coopératif.

De plus, l'enseignant peut confronter les idées des élèves à la réalité en s'aidant d'activités d'investigation comme la modélisation, c'est une idée que nous détaillerons dans la partie suivante. Ces deux types de confrontations peuvent faire évoluer par la suite les conceptions des élèves.

Cependant, l'enseignant peut faire face à différents obstacles face à l'évolution des conceptions. En effet, il est possible que l'élève reste sur sa position de départ pour différentes raisons : il ne s'intéresse pas au sujet, il n'a pas envie de changer d'idées, il va à l'encontre des questions de la classe. Ces conceptions négatives vont perdurer dans la scolarité de l'élève et sa conception erronée ne pourra donc pas évoluer.

De plus, les activités proposées par le professeur peuvent s'avérer inefficaces dans l'évolution des conceptions. Elles doivent progressivement amener l'enfant à s'intéresser au sujet étudié. Il doit pouvoir exprimer ses conceptions qui petit à petit évolueront au cours de la séquence.

Ainsi, les élèves ne peuvent pas changer d'idée en une séance seulement. L'évolution de leurs conceptions va se faire progressivement, c'est pourquoi le professeur doit prendre son temps et laisser aux élèves le temps de manipuler, de douter, de se questionner et de comprendre. C'est une idée que partage Astolfi dans son livre, en effet il écrit que « L'attention portée à l'évolution intellectuelle des élèves, aux idées qu'ils ont en tête au sujet des thèmes et activités traités est à la vérité indispensable pour que les objectifs qu'on se fixe soient réellement atteints. » (Astolfi, Comment les enfants apprennent les sciences, 1998)

Auparavant, nous nous sommes intéressés à la modélisation car c'est une activité d'investigation où les élèves vont pouvoir manipuler pour se questionner. Mais comment la modélisation fait évoluer les conceptions et quels sont les risques ?

e- Conception et modélisation

Comme nous l'avons vu précédemment, grâce au modèle, l'élève visualise et manipule afin de mieux comprendre, c'est un outil visuel utile. De plus, la modélisation est un outil permettant de confronter les idées des élèves afin de les obliger à réfléchir différemment pour les amener vers une évolution de leurs conceptions. Toutefois, le modèle est aussi une représentation simplifiée de la réalité. On pourra ainsi observer des concepts abstraits dans la réalité. Ces représentations simplifiées d'objets d'enseignement sont cependant représentées sous une forme plus ou moins abstraite et donc plus ou moins proche de la réalité que les élèves devront, au cours des séances et avec l'aide du professeur, s'approprier et comprendre.

En effet, toutes les caractéristiques représentées ne peuvent pas correspondre concrètement au phénomène étudié. L'infiniment petit des molécules et l'infiniment grand du système solaire, par exemple, ne peuvent être représentés véritablement avec toutes leurs caractéristiques. Le professeur se doit de trouver ce qui peut matérialiser au mieux le phénomène avec ses caractéristiques pour que les élèves puissent le visualiser correctement. Le matériel présent sur l'école et la complexité du phénomène peuvent être un frein à la bonne représentation.

De ce fait, l'évolution et la transformation des conceptions initiales des élèves grâce au modèle peuvent être dangereuses si le lien avec la réalité n'est pas précisé. Un élève peut facilement assimiler le modèle à la réalité, ses nouvelles conceptions pouvant alors être erronées. L'enseignant a un rôle important car c'est lui qui doit faire le lien avec la réalité, il doit préciser les distorsions existantes entre le modèle proposé et la réalité. C'est dans la phase de structuration des apprentissages que ces représentations doivent être déconstruites. Les conceptions des élèves et la modélisation sont donc deux choses liées, si bien que la manière dont la modélisation est abordée en classe peut influencer les conceptions des élèves. L'enseignant doit être vigilant afin de ne pas dissocier le modèle étudié et la réalité.

II- Cadre expérimental

1- Problématique et hypothèses de recherche

Au regard du cadre théorique, il semblerait que la modélisation, en simplifiant la représentation de la réalité, puisse faire évoluer les conceptions des élèves et donc la compréhension d'un phénomène scientifique. Mais dans quel sens la modélisation fait-elle évoluer les conceptions ? Permet-elle de mieux comprendre un phénomène non observable grâce à sa représentation simplifiée ? Mais le modèle est-il indispensable pour traiter un sujet non observable pour les élèves ? Je me suis également demandé si la modélisation permet vraiment de faire évoluer les conceptions des élèves et jusqu'à quel point ? Toutes ces interrogations m'ont amené la problématique suivante :

La modélisation permet-elle de faire évoluer les conceptions initiales des élèves en améliorant la compréhension d'un phénomène astronomique et existe-t-il un risque de confusion entre certains éléments du modèle et la réalité ?

D'après cette problématique et les informations de mon cadre théorique, j'ai émis l'hypothèse que la modélisation fait évoluer les conceptions des élèves et les amène à mieux comprendre un phénomène de par la manipulation. Cependant, je pense également qu'il existe un risque de confusion entre certains éléments du modèle et la réalité, du fait de la représentation simplifiée.

C'est à travers mon travail de recherche qui suit que je vais tenter de répondre à cette question afin de valider ou d'invalider mes hypothèses. Mon recueil de données s'effectuera dans une classe de cycle 2 dans une classe de CE1/CE2. De plus, les séances proposées pour le recueil de données s'effectueront dans le cadre des sciences de la Terre et plus précisément sur le thème de l'alternance jour / nuit.

2- L'alternance jour/nuit

L'astronomie est un domaine privilégié pour la modélisation. Dans ce domaine, l'observation est omniprésente pour la compréhension de phénomènes car toute action sur les phénomènes étudiés est impossible. Comme l'écrit Nicolas Chenin dans son mémoire professionnel en 2004 : « L'astronomie est la science de l'observation par excellence, mais aussi de la modélisation. » Cette notion d'observation et de modélisation en astronomie se retrouve dans l'enseignement scientifique, où de nombreux phénomènes sont expliqués aux élèves par la modélisation, l'observation et la manipulation. C'est pour cette raison que j'ai choisi l'alternance jour / nuit dans le cadre de ce mémoire de recherche pour mon recueil de données.

A l'origine de l'alternance jour/nuit : La Terre tourne sur elle-même, autour de l'axe des pôles. En effet, la Terre est une sphère et qui tourne sur elle-même. À un instant donné, une moitié de la sphère est tournée vers le Soleil et reçoit donc sa lumière, tandis que l'autre moitié est tournée de l'autre côté et donc est dans l'obscurité. Au cours du temps, la face exposée au Soleil passe peu à peu du côté obscur et la face dans l'obscurité entre dans la lumière. C'est donc le mouvement de rotation de la Terre qui est la cause de l'alternance de jour et de nuit.

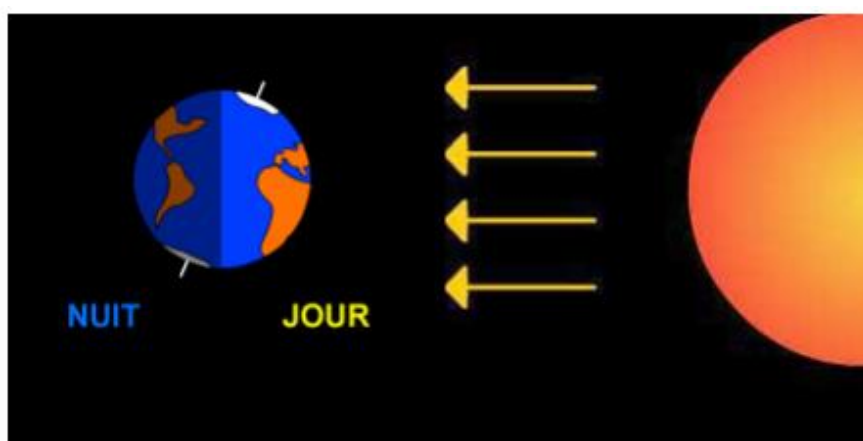


Illustration de l'alternance jour / nuit

Source : Eduscol, Sciences et Technologie, Mars 2016

3- Expérience

a- Méthodologie du recueil de données

Afin de valider ou d'invalider mes hypothèses et donc de répondre à ma problématique, j'ai décidé de réaliser une modélisation en classe sur la thématique de l'alternance jour/nuit avec une classe de CE1/CE2. En effet, comme je l'ai écrit précédemment, l'astronomie est un domaine privilégié pour modéliser un phénomène avec des élèves. Il aurait été préférable de faire ce recueil de données avec une classe de cycle 3 car c'est un thème généralement plus abordé lors de ce cycle, mais ayant une classe de maternelle et n'ayant pas trouvé d'enseignant de cycle 3 pouvant réaliser en peu de temps les séances, j'ai décidé de la faire dans une classe de cycle 2. En effet, j'ai réalisé un premier recueil de données dans une classe de CM1/CM2 mais qui ne m'a malheureusement pas permis d'analyser des données convenablement au regard de la problématique de ce mémoire. J'ai donc dû, en urgence, trouver une autre classe pour réaliser à nouveau les séances en ayant des critères plus précis pour mon recueil de données me permettant de faire une analyse cohérente.

Au cycle 2, il est demandé, dans l'enseignement « Questionner le monde » et plus précisément dans « questionner l'espace et le temps » de travailler sur l'alternance jour / nuit. En effet, l'élève apprend à se repérer dans le temps à travers des calendriers, des emplois du temps... et il va, petit à petit, passer à l'explication de ce phénomène à la fin du cycle 2 car c'est une thématique qui sera reprise et approfondie tout au long du cycle 3. (BO du 26 novembre 2015).

Pour réaliser mon recueil de données, 3 séances de sciences-physique ont donc eu lieu sur un temps restreint de 2 semaines et demi, dans une classe composée de 25 élèves. Sur ces 25 élèves, 5 sont en CE1 et 20 sont en CE2. C'est une classe qui a l'habitude de travailler les sciences avec la méthode de la démarche d'investigation. Les élèves ont donc l'habitude de manipuler et de chercher pour apprendre. Le recueil de données sera réalisé sur une classe seulement car le but ici n'étant pas de comparer 2 classes en variant un paramètre dans la modélisation dans une des deux classes, mais de voir si les conceptions des élèves évoluent après la modélisation et comment elles évoluent.

De ce fait, lors de la première séance, un relevé de conceptions initiales spontanées a été réalisé. Pour cela, l'enseignant a demandé aux élèves « Selon toi, pourquoi il fait jour puis il fait nuit au cours d'une journée ? ». Les élèves ont alors essayé de répondre à la question à l'aide de quelques phrases et d'un schéma sur une moitié de feuille A4. Il n'y a pas eu de temps limite imposé par le professeur afin de laisser à chaque élève le temps nécessaire pour réfléchir, faire un schéma et expliquer à l'aide de quelques phrases.

Lors de la deuxième séance, qui s'est effectuée une semaine après, un échange oral a eu lieu entre les élèves et le professeur. Ici les élèves ont exposé leurs idées afin d'expliquer, d'après eux, qu'est ce qui explique l'alternance jour nuit. Cette étape permet de retranscrire à l'écrit, au tableau, toutes les idées que les élèves ont émises lors de la première séance. Ils ont expliqué à leurs camarades leurs idées, c'est dans cette étape que le conflit sociocognitif a lieu, car les différentes idées des élèves sont confrontées. Aucune réponse n'a été validée ou invalidée au moment par le professeur, ce dernier a relevé les idées et les a marquées sur le tableau. (Ce recueil de données a été retranscrit en annexe 1). En effet, c'est la modélisation qui, par la suite, a permis de valider ou invalider les hypothèses des élèves.

La modélisation s'est déroulée en classe entière. En effet, par manque de matériel, il était impossible de faire manipuler les élèves seuls ou en groupe. Lors de cette étape, l'enseignant a modélisé la Terre à l'aide d'une boule blanche de polystyrène et une pique pour pouvoir la faire tourner. Le soleil a été modélisé par une lampe de torche. Ici il est important, pour ne pas fausser le recueil de données, que l'enseignant n'incline pas la Terre comme dans la réalité. En effet, c'est ce paramètre qui va permettre de voir si la modélisation, quand elle ne représente pas complètement la réalité, et que l'enseignant ne le précise pas aux élèves, peut induire de fausses représentations.

Lors de cette étape de modélisation, l'enseignant a répondu aux différentes hypothèses des élèves afin de les valider ou de les invalider. Toutes les idées ont alors été testées, ce qui leur a permis de visualiser si leurs hypothèses expliquent réellement le phénomène de l'alternance jour/nuit. Les élèves ont conclu à la fin de cette séance que c'est le fait que la Terre tourne sur elle-même qui explique le phénomène de l'alternance.

La dernière séance, qui a eu lieu 5 jours après la modélisation a permis de récupérer les conceptions après modélisation. Ce relevé de conceptions s'est fait à l'écrit, dans les mêmes conditions que le recueil des conceptions initiales. En effet, il n'y avait pas de limite de temps et aucune aide n'a été apportée par le professeur. Les élèves ont de nouveau répondu à la question « Selon toi, pourquoi il fait jour puis il fait nuit au cours d'une journée ? » mais ont également dû répondre à la question « Quelle est la durée du jour et la durée de la nuit ? ».

En effet, si lorsqu'on modélise la Terre qui tourne sur elle-même on modélise l'axe de rotation toujours vertical et non incliné, on perçoit que la durée de la nuit est égale à la durée de la journée sur Terre, ce qui est faux. Or, dans les hypothèses des élèves, aucunes ne parle d'inclinaison de la Terre, le professeur a donc modélisé la Terre sans l'inclinaison. De ce fait, la réponse à cette question permet de voir si, à la suite de la modélisation, les élèves pensent que partout sur Terre la durée de la journée est égale à la durée de la nuit et cela tout au long de l'année.

Tous ces relevés d'informations vont me permettre de comparer les conceptions initiales des élèves avec les conceptions après la modélisation. Cela me permettra alors d'analyser l'influence qu'a eu la modélisation sur la compréhension du phénomène par les élèves mais cela me permettra surtout de voir si des confusions entre le modèle et la réalité sont apparues dû à la modélisation.

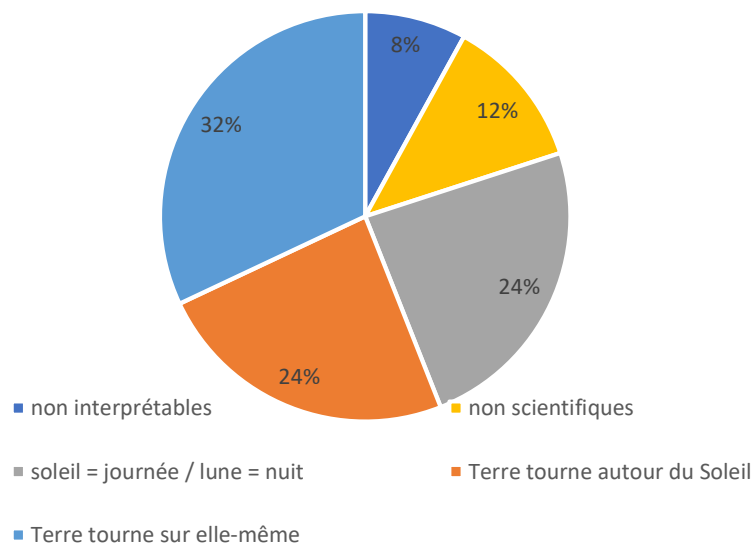
Au vu de la problématique, l'évolution des conceptions avant et après la modélisation est le premier indicateur qui me permettra de répondre à la problématique. Cette évolution est propre à chaque élève et sera visible par le changement d'idée entre les deux relevées de conceptions et donc par l'évolution ou non du schéma et des phrases explicatives. Cette évolution dépend bien évidemment de l'idée de départ émise par l'élève. Par la suite, la réponse à la question « Quelle est la durée du jour et la durée de la nuit ? » est un deuxième indicateur me permettant de répondre à la question posée dans ce mémoire.

b- Les conceptions initiales : résultats du recueil de données et analyse de ces résultats

Dans un premier temps, le recueil des conceptions initiales a été effectué à l'écrit. Les élèves ont dû répondre à la question : « Selon toi, pourquoi il fait jour puis il fait nuit au cours d'une journée ? ». Les réponses des élèves à cette question peuvent être classées en 5 catégories :

- Les conceptions non interprétables : des élèves n'ont pas fait de phrases où des phrases incompréhensibles. Ces conceptions ne peuvent donc pas être analysées. (cf annexe n°2)
- Les conceptions non scientifiques : des élèves ont répondu à cette question par une explication non scientifique comme : « c'est la météo qui décide » ou encore « il fait nuit car il faut dormir » (cf annexe n°3)
- Les conceptions où les élèves assimilent le soleil à la journée et la lune à la nuit mais sans explications. Par exemple un élève a répondu « Parce que la nuit la lune cache le Soleil, et le jour la lune est de l'autre côté » ou encore « Le soleil éclaire d'un côté de la Terre et la Lune de l'autre » (cf annexe n°4)
- Les conceptions où les élèves pensent que c'est parce la Terre tourne autour du Soleil et ne parle pas de la rotation de la Terre sur elle-même. (cf annexe n°5)
- Les conceptions où les élèves pensent que c'est parce que la Terre tourne sur elle-même. C'est la réponse attendue par l'enseignant car c'est ce phénomène qui explique l'alternance entre le jour et la nuit. (cf annexe n°6) Ici, certains élèves ont également noté que la Terre tourne autour du Soleil, or cela n'explique pas l'alternance du jour et de la nuit. Cependant, ces élèves ont compris que la rotation de la Terre sur elle-même explique le phénomène. De ce fait, si un élève a marqué par exemple « Car la Terre tourne sur elle-même et autour du Soleil » je considère que cette conception est juste.

Répartition des conceptions initiales des élèves



Les différences entre les conceptions des élèves relèvent de leur vécu différent comme j'ai pu l'expliquer auparavant. Il est possible que les élèves qui savent que le phénomène de l'alternance jour nuit s'explique par la rotation de la Terre sur elle-même, aient déjà étudié cette notion dans le contexte familial ou autre. Ici c'est le champ psychosocial qui entre en jeu. En effet le milieu social, culturel et familial dans lequel il vit, lui a permis de construire ses propres connaissances, en dehors de l'école. Pour les élèves qui ont des explications non interprétables ou non scientifiques, le milieu social, culturel et familial peuvent également expliquer ces réponses. Cependant, la psychologie génétique, lié à l'âge de l'enfant et à la maturité de son développement comme je l'ai expliqué précédemment, peut également influencer les réponses des élèves. Leurs idées et donc leurs conceptions évolueront avec le temps. De plus, les différentes conceptions s'expliquent aussi par le travail de l'inconscient de l'élève. En effet ces derniers sont guidés par le contexte situationnel, et la simple formulation de la question par l'enseignant peut influencer les réponses. Pour exemple, un élève a répondu que le jour et la nuit s'expliquait par la météo car « c'est la météo qui décide s'il fait jour ou s'il fait nuit ». Il est possible ici qu'une autre formulation de la question par le professeur aurait engendré une autre réponse de cet élève.

Nous pouvons voir dans le graphique ci-dessus que la majorité des élèves (32%), soient 8 sur 25, ont répondu que l'alternance du jour et de la nuit s'explique par le fait que la Terre tourne sur elle-même. Ces élèves ont la réponse attendue à la question, de ce fait la modélisation aura pour rôle de conforter leur idée. De plus, pour ceux qui ont noté comme explication que la Terre tourne sur elle-même et que la Terre tourne autour du Soleil, il sera important de leur faire comprendre par la modélisation que seul le phénomène de rotation de la Terre sur elle-même explique l'alternance. Pour cela, il faut leur montrer que même si l'on ne fait pas tourner la Terre autour du Soleil mais que l'on fait tourner la Terre uniquement sur elle-même, le phénomène d'alternance jour/nuit est quand même présent. De plus, si ces élèves expliquent la rotation de la Terre sur elle-même, aucun d'entre eux ne parle d'inclinaison de la Terre et donc de la différence entre la durée du jour et de la nuit en un point de la planète. Il est donc possible, même pour ces élèves, que la modélisation de la Terre non inclinée leur fasse penser que, partout sur Terre, le jour dure 12h et la nuit dure 12h. C'est ce que nous étudierons par la suite à l'aide des conceptions finales des élèves.

De plus nous pouvons constater qu'une petite proportion d'élèves, 24%, soit 6 sur 25, pensent que c'est le fait que la Terre tourne autour du Soleil qui explique l'alternance du jour et de la nuit. Ces élèves ont des éléments de réponses et des connaissances sur le système solaire, comme le fait que la Terre tourne autour du Soleil ou encore qu'il y a des phénomènes de rotation. Il est possible que ces élèves aient déjà étudié la rotation de la Terre autour du Soleil, où qu'il l'ait lu quelque part. Cette réponse, logique pour eux, devra être déconstruite lors de la modélisation et devra être remise en question lors des échanges entre les élèves sur les différentes idées. Il va être important ici de montrer aux élèves que leur phrase n'est pas fautive car effectivement la Terre tourne autour du Soleil, mais que ce n'est pas ce phénomène qui explique l'alternance entre le jour et la nuit. Aucun de ces élèves non plus n'a évoqué l'inclinaison de la Terre, il est donc possible que pour eux aussi, la modélisation de la Terre sans inclinaison leur fasse comprendre le phénomène mais qu'il leur fasse croire aussi que le jour et la nuit durent 12h partout sur Terre.

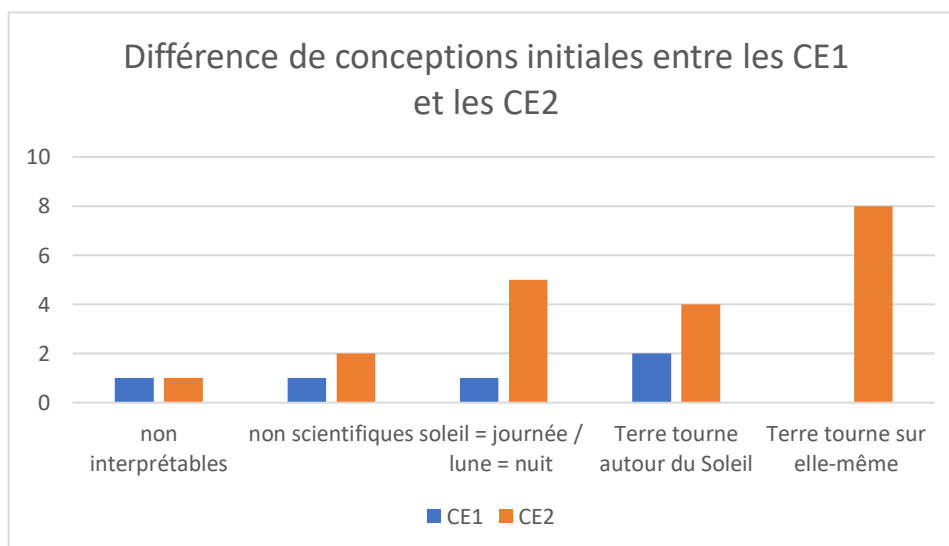
Par la suite, 24% des élèves, soit 6 sur 25 ont répondu à la question en assimilant simplement le soleil à la journée et la lune à la nuit mais sans une réelle explication. En effet, pour ces élèves la journée s'explique par la présence du soleil et la nuit par la présence de la lune. Ils décrivent ce qu'ils voient mais ne savent pas l'expliquer. Leur raisonnement est, pour la plupart d'entre eux juste, mais il leur manque l'explication scientifique que va leur apporter la modélisation ou même les échanges d'idées avec les autres élèves. Pour exemple, 1 de ces 6 élèves a écrit « Le soleil éclaire d'un côté de la Terre et la lune de l'autre ». La phrase est juste, mais la modélisation devrait montrer à cet élève que c'est parce que la Terre tourne sur elle-même qu'il y a cette alternance et que ça change. Le savoir scientifique se construit petit à petit lors de la scolarité de l'élève, et l'explication d'un phénomène scientifique est également quelque chose qui s'apprend. Ces élèves doivent passer de l'étape « je décris ce que je sais et ce que je vois » à l'étape de l'explication scientifique. La démarche d'investigation, qui met les élèves en situation de recherche, permet le passage d'une étape à une autre. En effet, j'ai pu citer dans mon cadre théorique, les paroles de Corinne Dècle et Danielle Laurent qui affirment que : « Le plaisir intellectuel qu'apporte la possibilité de pouvoir commencer à expliquer le monde qui nous entoure, pour agir sur lui de façon plus rationnelle et pertinente, est un puissant moteur pour développer l'appétit d'apprendre. » (Dècle & Laurent, 2005). C'est en manipulant et en observant que les élèves vont comprendre le monde qui les entoure et vont donc pouvoir commencer à l'expliquer. Ces élèves n'ayant pas conscience que la Terre tourne sur elle-même, il est probable que la modélisation leur fasse croire également que la durée du jour est égale à la durée de la nuit ou qu'ils ne sachent pas répondre à la question même après la modélisation du fait de l'absence d'explication.

Enfin, 12% des élèves, soit 3 élèves sur les 25 présents, ont répondu à la question sans parler du soleil, ni de la Terre ni même de la lune. Ces élèves ont des conceptions non scientifiques. En effet, pour deux d'entre eux, il fait nuit car « il faut qu'on dorme sinon on ne dormirait jamais » et pour le troisième, il fait jour et il fait nuit car « c'est la météo qui décide ». On peut supposer que ces élèves n'ont jamais étudié ou même entendu parler du système solaire ainsi que de la rotation de la Terre et du Soleil et donc que ces élèves répondent ce qui est logique eux et pour des enfants de leur âge. Leur réponse fait sens pour eux, et il va falloir déconstruire

leur conception pour qu'ils acceptent qu'une explication scientifique permet d'expliquer ce phénomène.

Pour finir, malgré la consigne claire de l'enseignant qui était d'expliquer à l'aide d'un schéma et de quelques phrases « pourquoi il fait jour et pourquoi il fait nuit », 8% des élèves soit 2 élèves sur 25 ont des réponses non interprétables. En effet, un des élèves a écrit une phrase incompréhensible et le schéma ne permet pas de comprendre non plus l'idée que cet élève a voulu expliquer. Après discussion avec l'enseignant, cet élève a d'importantes difficultés scolaires. De plus, le second élève n'a fait qu'un schéma et n'a pas écrit une phrase pour expliquer son idée. Il m'est donc impossible de comprendre son idée car il a seulement dessiné la Terre, le soleil et la lune.

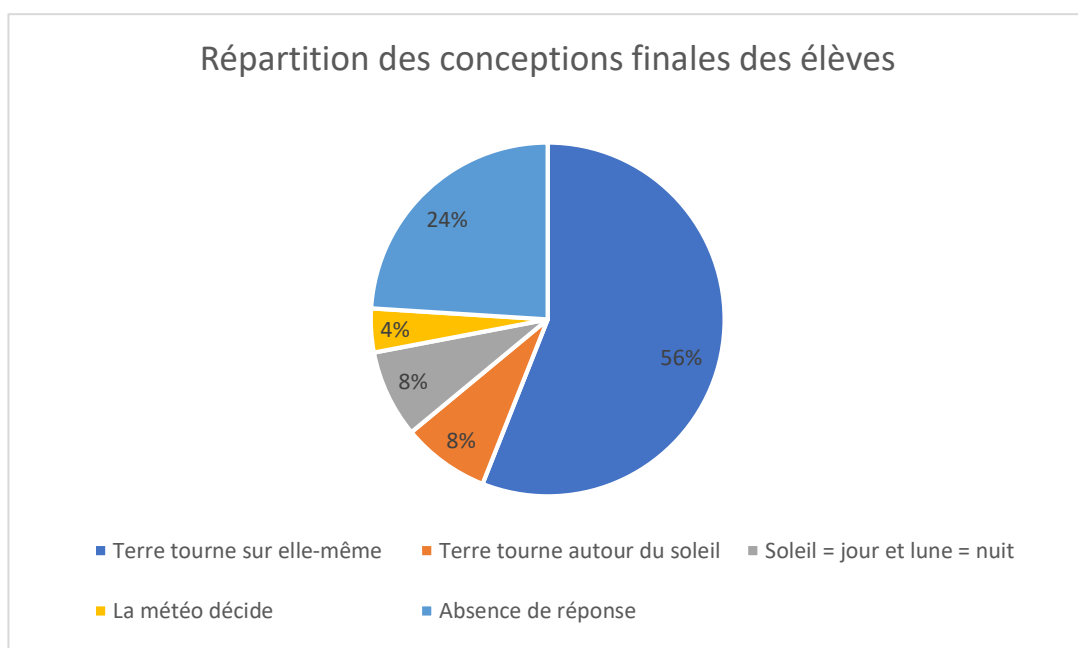
On peut donc remarquer qu'il existe une certaine disparité dans les conceptions initiales des élèves. Comme je l'ai expliqué précédemment, le contexte social et culturel ainsi que la formulation de la question peuvent être des facteurs qui influencent les idées des élèves. Cependant, il est également important de préciser que cette classe est une classe à double niveau et qu'il y a 5 élèves de CE1. Il m'a paru intéressant de voir dans quelles catégories de conceptions ces élèves se trouvent par rapport aux élèves de CE2 pour voir la différence de conceptions entre les deux niveaux. Cependant, cette différence n'est pas significative du fait du peu d'élèves dans la classe et les réponses des CE1 ne permettent pas de conclure sur une différence si ce n'est qu'aucun de ces 5 enfants ne se trouve dans la catégorie où les élèves ont répondu « car la Terre tourne sur elle-même » comme on peut le voir dans le graphique si dessous.



Après avoir étudié les résultats des conceptions initiales des élèves, les conceptions finales vont être analysées et mises en correspondance avec les conceptions initiales afin de voir l'évolution. Ici, cette évolution va être analysée mais il est important, au regard de la problématique, de regarder également si la modélisation a engendré de fausses représentation chez les élèves. En effet, pour rappel, ce relevé de conceptions finales a été fait une semaine après la modélisation. Lors de cette modélisation, l'enseignant a modélisé les différentes idées des élèves pour arriver à la conclusion que la rotation de la Terre sur elle-même, est le phénomène qui explique l'alternance du jour et de la nuit. Cependant, l'enseignant a modélisé la Terre droite et non inclinée, de ce fait lorsque qu'il allume la lampe sur un côté de la planète on pourrait croire que le jour et la nuit durent 12h/12h partout sur Terre.

c- Les conceptions finales : résultats du recueil de données et analyse de ces résultats

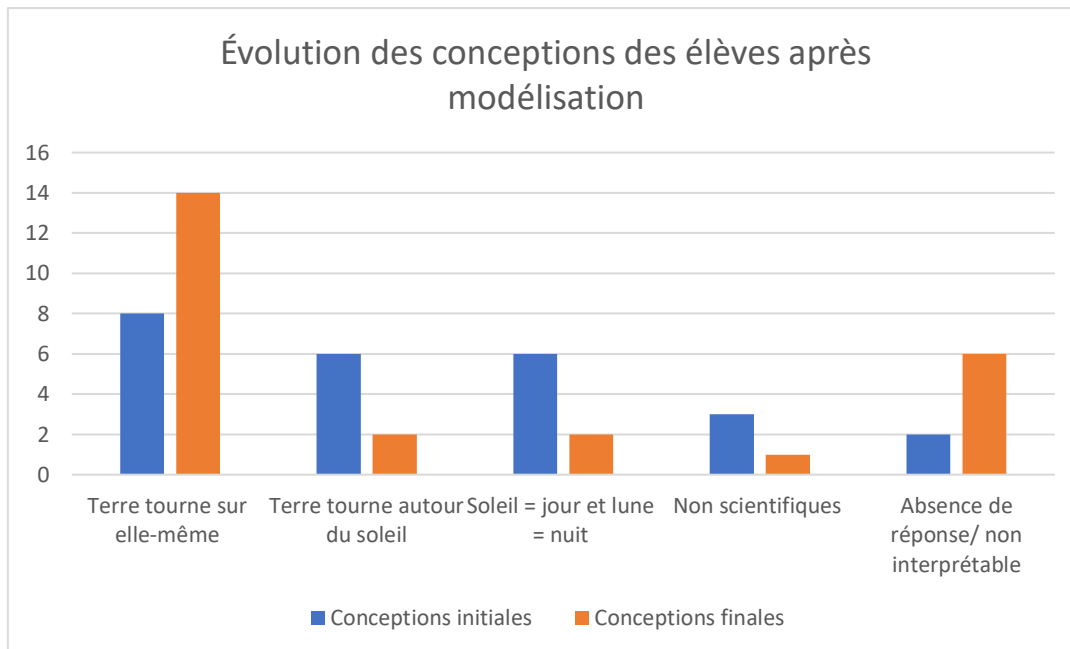
A la question « Selon toi, pourquoi il fait jour puis nuit au cours d'une journée ? », les élèves ont, après la modélisation, eu des réponses similaires aux réponses initiales. Cependant, la proportion de chaque réponse a changé :



- En premier lieu la majorité des élèves ont répondu que ce phénomène s'explique par la rotation de la Terre sur elle-même. Ces 56% d'élèves, autrement dit 14 sur 25 (soit plus de la moitié) ont la réponse attendue par l'enseignant. (cf annexe n°7)
- Par la suite, 8% des élèves soit 2 sur 25 pensent que c'est parce que la Terre tourne autour du soleil. (cf annexe n°8)
- Également, 8% des élèves assimilent le soleil à la journée et la lune à la nuit sans donner d'explications. (cf annexe n°9)
- Enfin, 1 seul élève, soit 4% a répondu par une réponse non scientifique : « c'est la météo qui décide ». (cf annexe n°10)
- Pour finir, 6 élèves étaient absents ce jour-là et n'ont donc pas répondu à la question. C'est pourquoi nous observons 24% d'absence de réponses.

Nous pouvons remarquer qu'il n'y a pas de nouvelles réponses si on compare ces conceptions finales aux conceptions initiales. Cependant nous remarquons aussi que toutes les conceptions erronées n'ont pas disparu. En effet, comme nous l'avons expliqué auparavant, l'évolution des conceptions est quelque chose de difficile pour des enfants car pour eux, leur idée est logique, cohérente et a du sens. Leur conception doit être déconstruite progressivement et ici, par manque de temps, certains élèves n'ont, je pense, pas eu le temps nécessaire pour déconstruire leur idée. Seulement 3 séances ont été menées avec les élèves, de ce fait, le temps de manipulation et d'échange entre pairs a été restreint, ce qui peut expliquer la persévérance de ces conceptions.

Afin de répondre à la première partie de la problématique, à savoir : « la modélisation permet-elle de faire évoluer les conceptions initiales des élèves en améliorant la compréhension d'un phénomène astronomique ? », nous allons par la suite étudier l'évolution de ces conceptions, d'abord généralement (catégorie par catégorie) puis pour chaque élève. Ceci nous permettra de valider ou non la première partie de l'hypothèse.



Nous pouvons voir sur ce graphique que, hormis pour l'absence de réponse, la réponse « car la Terre tourne sur elle-même » est la seule ayant augmentée. En effet, lors du relevé des conceptions initiales, seulement 8 élèves avaient l'explication correcte alors que, après la modélisation, ils étaient 14.

A l'inverse, les autres conceptions erronées, ont, quant à elles, diminuées. On peut voir sur le graphique ci-dessus que 6 élèves pensaient au départ que l'explication était « La Terre tourne autour du soleil » et que seulement 2 ont gardé cette conception après la modélisation. Il en est de même pour l'explication « Il fait jour car il y a le soleil et il fait nuit car il y a la lune ». Le nombre de conceptions non scientifiques a aussi diminué, passant de 3 à 1. Enfin, on peut remarquer une certaine augmentation des réponses non interprétables car 6 élèves étaient absents ce jour-là.

On peut alors penser que c'est grâce à la modélisation que certains élèves ont changé de conceptions et sont passés d'une conception erronée à une conception correcte. Cette nette évolution confirme alors l'hypothèse que la modélisation permet de faire évoluer les conceptions initiales des élèves en améliorant la compréhension d'un phénomène astronomique, soit ici l'alternance du jour et de la nuit.

Cependant, le nombre d'élèves absents le jour du relevé des conceptions finales nous permet de conclure que partiellement. En effet, on ne peut pas prévoir les réponses de ces élèves, ces dernières pouvant être correctes ou erronées.

De ce fait, il me paraît intéressant d'analyser l'évolution des conceptions à l'échelle d'un élève, c'est-à-dire élève par élève. Pour cela nous allons comparer pour chaque élève, sa conception initiale et sa conception finale. Pour que cette analyse soit structurée, nous allons commencer par analyser les élèves qui avaient pour conception initiale « la Terre tourne sur elle-même », c'est-à-dire les élèves qui avaient déjà la bonne réponse avant d'effectuer la modélisation.

Tableau de synthèse des conceptions des élèves ayant pour conception initiale « car la Terre tourne sur elle-même »

	Conceptions initiales	Conceptions finales
Élèves		
Élève 1	Terre tourne sur elle-même	Terre tourne sur elle-même
Élève 2	Terre tourne sur elle-même	Terre tourne sur elle-même
Élève 3	Terre tourne sur elle-même	Terre tourne sur elle-même
Élève 4	Terre tourne sur elle-même	Terre tourne sur elle-même
Élève 5	Terre tourne sur elle-même	Terre tourne sur elle-même
Élève 6	Terre tourne sur elle-même	Terre tourne sur elle-même
Élève 7	Terre tourne sur elle-même	x
Élève 8	Terre tourne sur elle-même	x

On peut voir sur ce tableau que tous les élèves qui étaient présents ont gardé la même conception après la modélisation. En effet, la modélisation n'a fait que confirmer leurs idées. Pour ces élèves le savoir scientifique était déjà établi, il aurait été intéressant de voir comment ces élèves ont défendu leur point de vue à leurs camarades lors des échanges entre pairs pour savoir véritablement si les élèves comprennent le phénomène et savent l'expliquer ou si c'est un savoir su mais non compris. Si l'on ne peut pas prévoir les réponses des deux élèves absents, on peut faire l'hypothèse que leur réponse aurait été identique à leur conception initiale.

Cette évolution des conceptions est logique et cohérente mais ne permet en aucun cas d'affirmer que la modélisation a conduit à une meilleure compréhension du phénomène physique.

Nous allons maintenant analyser l'évolution des conceptions pour les élèves ayant expliqué l'alternance jour/nuit par le fait que la Terre tourne autour du soleil.

Tableau de synthèse des conceptions des élèves ayant pour conception initiale « car la Terre tourne autour du soleil »

	Conceptions initiales	Conceptions finales
Élève 9	Terre tourne autour du Soleil	Terre tourne sur elle-même
Élève 10	Terre tourne autour du Soleil	Terre tourne sur elle-même
Élève 11	Terre tourne autour du Soleil	Terre tourne autour du soleil
Élève 12	Terre tourne autour du Soleil	Terre tourne autour du soleil
Élève 13	Terre tourne autour du Soleil	Terre tourne sur elle-même
Élève 14	Terre tourne autour du Soleil	Terre tourne sur elle-même

Nous voyons ici que sur les 6 élèves seulement 2 d'entre eux n'ont pas changé de conception et ont répondu la même réponse à la même question malgré la modélisation. Cette dernière n'a pas permis à ces élèves de déconstruire leur conception et l'échange entre pairs n'a pas été suffisant pour les faire évoluer. C'est avec le temps que ces conceptions évolueront, quand ces élèves accepteront que leurs idées sont erronées et qu'ils auront le temps de manipuler, de chercher et de se questionner. Cependant, nous remarquons que les 4 autres élèves ont, pour leur part, changé de conception. Ils sont passés d'une conception vraie, mais qui n'explique pas pour autant l'alternance du jour et de la nuit, à une conception attendue par le professeur. La modélisation ainsi que les échanges entre pairs ont donc favorisé cette évolution. Pour ce petit groupe d'élèves, nous pouvons conclure que, pour la majorité, la modélisation a permis de faire évoluer les conceptions des élèves en améliorant la compréhension de l'alternance du jour et de la nuit.

Par la suite, nous allons analyser l'évolution des conceptions des élèves qui, lors de la première séance, ont répondu à la question sans donner d'explication scientifique au phénomène de l'alternance du jour et de la nuit. Pour ces élèves, le jour est expliqué par la présence du soleil et la nuit par la présence de la lune mais aucune explication n'est apparue sur leur feuille.

Tableau de synthèse des conceptions des élèves ayant pour conception initiale « le soleil explique le jour et la lune explique la nuit »

	Conceptions initiales	Conceptions finales
Élève 15	Soleil = jour et lune = nuit	Terre tourne sur elle-même
Élève 16	Soleil = jour et lune = nuit	Soleil = jour et lune = nuit
Élève 17	Soleil = jour et lune = nuit	Terre tourne sur elle-même
Élève 18	Soleil = jour et lune = nuit	Soleil = jour et lune = nuit
Élève 19	Soleil = jour et lune = nuit	Terre tourne sur elle-même
Élève 20	Soleil = jour et lune = nuit	x

Dans ce tableau, nous pouvons voir que sur les 6 élèves concernés, 3 d'entre eux ont changé de réponses et sont passés d'une conception erronée à la conception attendu par le professeur. A l'inverse, 2 de ces élèves n'ont pas changé de réponses. Comme pour les élèves précédents, la modélisation n'a pas permis à ces élèves de déconstruire leur conceptions et l'échange entre pairs n'a pas été suffisant pour les faire évoluer. Enfin un de ces élèves n'était pas présent le jour du recueil des conceptions finales, son évolution ne peut donc être analysée. Pour la majorité de ces élèves, tout comme les élèves précédents, la modélisation a permis un changement de conception, et l'hypothèse émise continue donc de se vérifier.

Pour finir, nous allons analyser l'évolution des conceptions des élèves qui ont donné une réponse non scientifique ou non interprétable lors du recueil des conceptions initiales.

Tableau de synthèse des conceptions des élèves ayant pour conception initiale des idées non scientifiques ou non interprétables

	Conceptions initiales	Conceptions finales
Élève 21	Météo décide	Météo décide
Élève 22	Car on dormirait jamais	x
Élève 23	Car il faut dormir	Terre tourne sur elle-même
Élève 24	x	x
Élève 25	x	x

Nous pouvons voir dans le tableau ci-dessus que sur les 5 élèves qui ont eu des réponses non scientifiques ou non interprétables, seulement 2 d'entre eux étaient présents lors du recueil des conceptions finales. Ceci ne nous permet pas d'analyser significativement l'évolution de leur conception. On peut tout de même remarquer que sur les 2 élèves présents, seul un a changé de réponse et a donné la réponse attendue.

Après avoir analysé l'évolution des conceptions des élèves avant et après modélisation nous pouvons conclure que, pour la majorité des élèves, la modélisation a permis de mieux comprendre ce phénomène physique qu'est l'alternance du jour et de la nuit. En effet, beaucoup d'élèves ont changé leur réponse après avoir manipulé, échangé entre pairs, et modélisé le phénomène. La première partie de l'hypothèse est donc vérifiée.

Cependant, dans la problématique, nous nous sommes également demandé s'il existait un risque de confusion entre la modèle et la réalité. En effet, le modèle représente la réalité mais pas dans son intégralité. Par exemple dans cette modélisation, l'enseignant a modélisé la Terre droite et non inclinée. De ce fait, les rayons de la lampe (qui modélisaient le soleil) coupaient la Terre en 2, comme on peut le voir dans le schéma ci-dessous. Je me suis alors demandé si en voyant ce modèle, les élèves ont pu croire que, partout sur Terre, le jour et la nuit durent 12 heures.

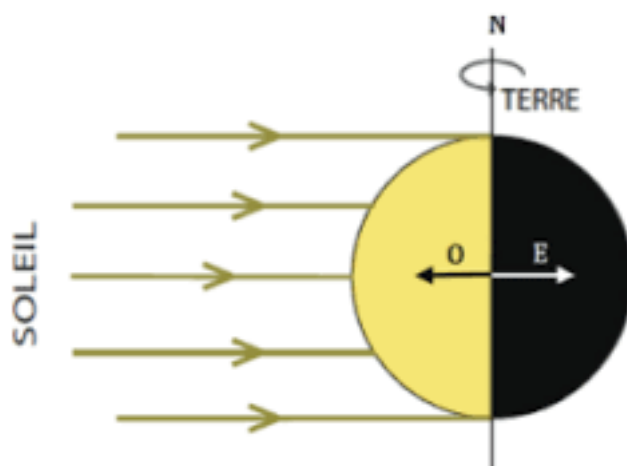
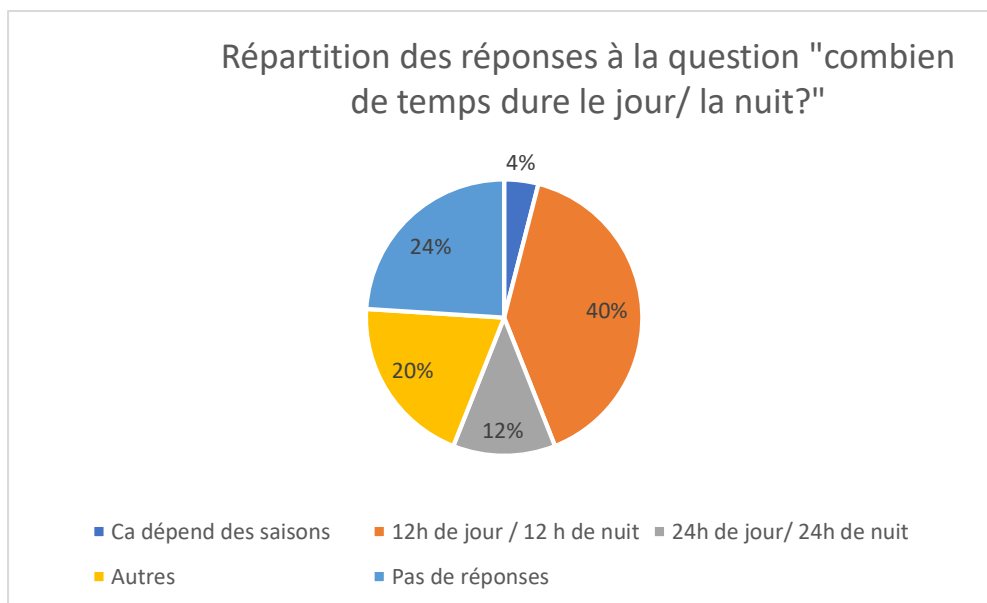


Schéma représentant l'arrivée des rayons du soleil lorsque la Terre n'est pas inclinée

Source : Site du CRDP (centre régional de documentation pédagogique) de Montpellier

Afin de répondre à cette question et donc de valider ou invalider la deuxième partie de mon hypothèse, une deuxième question a été posée aux élèves lors du recueil des conceptions finales. En effet, l'enseignant a demandé aux élèves : « Selon toi, combien de temps dure le jour, et combien de temps dure la nuit ? ». Le schéma ci-dessous représente la répartition des réponses des élèves à cette question.



Nous pouvons alors voir que différentes réponses ont été émises par les élèves :

- Premièrement, seul 4% des élèves, soit 1 élève sur les 25 a répondu que la durée du jour et de la nuit dépendait des saisons. Cet élève a la réponse attendue par le professeur. On peut supposer que le savoir scientifique était déjà acquis avant la modélisation car le phénomène des saisons n'a pas été abordé en classe. Pour cet élève, le fait de modéliser la Terre non inclinée n'a pas engendré de fausses représentations.
- Par la suite, 6 élèves (soit 24%) étaient absents ce jour-là, de ce fait nous n'avons pas pu recueillir toutes les réponses à cette question.
- On peut aussi voir sur ce graphique une catégorie « autres » incluant 20% des élèves. En effet, 5 élèves ont eu des réponses diverses comme « 20h de jour et 8h de nuit » ou encore « 24h de jour et 12h de nuit ». Ces élèves ont des fausses représentations du phénomène mais au vu de leur réponse, on ne peut pas affirmer que c'est la modélisation qui a engendré

ces fausses représentations. En effet, la réponse « 20h de jour et 8h de nuit » ne correspond pas à ce qui a été représenté lors de la modélisation. Ces élèves n'ont pas encore acquis la notion de temps et d'heure, ce qui est normal pour des élèves de cycle 2. Cette notion s'acquiert tout le long de l'école primaire.

- Enfin, nous voyons sur ce graphique que 12% des élèves, soit 3 élèves, ont répondu « la journée dure 24h et la nuit dure 24h ». Ces élèves n'ont pas non plus acquis la notion de temps. Cependant, ils pensent que la durée du jour est égale à la durée de la nuit partout sur Terre. On peut donc penser que même si la durée est fautive, c'est le fait que la Terre ne soit pas inclinée (et donc coupée en 2) qui engendre cette fautive représentation. En effet, les élèves ont vu, de par la modélisation, que la Terre était coupée en deux, avec 1 côté jour et 1 côté nuit, ils pensent alors que la durée est égale, ce qui est faux.
- Pour finir, la majorité des élèves, soit 40%, ont répondu que « le jour dure 12h et que la nuit dure 12h ». Ces élèves ont une notion du temps plus aboutie que les élèves précédents et ont une réponse cohérente quant à la durée du jour et de la nuit. Cependant, ces élèves ont également une conception erronée.

On peut alors conclure, d'après ces données, que pour la majorité des élèves, la modélisation fait apparaître de fausses représentations et qu'il existe donc un risque de confusion entre le modèle et la réalité. En effet, dans la modélisation proposée en classe, la Terre a été représentée droite et non inclinée ce qui a fait croire aux élèves que la durée du jour est égale à la durée de la nuit partout sur Terre. Cependant, cette confusion ne peut être généralisée à l'ensemble des élèves car toutes les réponses n'ont pas été recueillies et qu'un enfant avait la bonne réponse. La majorité des élèves étant concernés par cette confusion, on peut donc valider l'hypothèse « je pense également qu'il existe un risque de confusion entre certains éléments du modèle et la réalité, du fait de la représentation simplifiée ».

Malgré cette conclusion, certaines limites sont à prendre en compte dans cette étude. En effet plusieurs facteurs auraient pu modifier les résultats de cette expérience.

d- Discussion

Ce recueil de données nous a permis de valider l'hypothèse émise et donc de répondre à la problématique de ce mémoire. En effet, d'après les informations du cadre théorique et des résultats de l'expérience faite en classe, l'hypothèse : « la modélisation fait évoluer les conceptions des élèves et les amène à mieux comprendre un phénomène de par la manipulation. Cependant, je pense également qu'il existe un risque de confusion entre certains éléments du modèle et la réalité, du fait de la représentation simplifiée. » est vérifiée. Cependant, de nombreux facteurs rendent ces résultats non significatifs et non généralisables à l'ensemble d'une population d'élèves.

En effet, premièrement, la taille de l'échantillon n'est pas représentative d'une population entière. Le recueil de données s'est effectué sur une seule classe et donc seulement 25 élèves, ce qui ne permet pas d'élargir les résultats. Il aurait été intéressant de faire ce recueil de données sur plusieurs classes pour avoir un nombre d'élèves plus conséquent et pouvoir généraliser les résultats. La validation de l'hypothèse n'est donc valable que sur ce petit échantillon car nous ne pouvons pas assurer que les résultats soient similaires pour un échantillon plus important.

De plus, nous avons pu voir dans le cadre théorique que la modélisation s'inscrit dans la démarche d'investigation, cette dernière donnant lieu à l'élaboration d'une séquence complète sur le thème abordé. Or ici, par manque de temps, seulement 3 séances ont été réalisées sur le thème de l'alternance du jour et de la nuit et une seule a été véritablement consacrée à la modélisation et aux échanges entre les élèves de la classe. Le manque de temps se justifie par le fait que je n'ai pas pu réaliser le recueil de données dans ma propre classe car j'ai une classe de petite section / moyenne section. Le premier recueil de données, réalisé dans une classe de cycle 3 ne me permettait pas de répondre à ma problématique. J'ai alors dû trouver cette classe de cycle 2 mais le temps était insuffisant pour réaliser entièrement une séquence.

De ce fait, les élèves n'ont pas pu manipuler, et n'ont pas eu réellement le temps de se questionner et de chercher. Comme nous l'avons vu dans le cadre théorique, ce sont des étapes primordiales dans l'acquisition des connaissances scientifiques. C'est dans ces moment-là que l'élève se questionne et qu'il déconstruit son savoir afin d'en construire un nouveau. On peut supposer que certains élèves (pour qui les conceptions initiales n'ont pas évolué) n'ont pas eu ce temps pour déconstruire leurs idées. Tout de même, l'enseignant a utilisé la méthode « faire avec pour aller contre » car il est parti des idées des élèves pour les amener à se rendre compte par eux même de leurs erreurs. Les différentes idées des élèves se sont confrontées, dans un temps restreint, dans le but de transformer les conceptions erronées. L'échange entre pairs a eu lieu lors de la mise en commun des idées des élèves, mais tout au long d'une séquence, ces temps d'échanges doivent être nombreux car c'est ensemble, que les élèves cherchent, se questionnent et apprennent.

Je pense également que le relevé des conceptions finales des élèves a été réalisé trop tard après la modélisation. En effet, une semaine s'est écoulée entre les deux, durant laquelle les élèves n'ont pas travaillé sur le thème de l'alternance jour / nuit. De plus, lors du relevé des conceptions finales, aucun rappel n'a été réalisé et les élèves ont répondu aux questions : « Selon toi pourquoi il fait jour et il fait nuit au cours d'une journée ? » et « Combien de temps dure le jour et combien de temps dure la nuit ? » en s'aidant de leurs connaissances et de la séance de modélisation réalisée une semaine auparavant. Certains élèves n'ont, je pense, pas eu le temps d'intégrer et de comprendre cette nouvelle notion.

Pour finir, lors de ces séances, les élèves n'ont pas été assez acteurs de leurs apprentissages. En effet, ils n'ont pas été en situation de recherche. Il aurait été intéressant de leur faire chercher le matériel nécessaire à la modélisation et même de leur faire construire le modèle. De même, afin d'augmenter le temps de manipulation, un modèle aurait dû être disponible pour chaque élève. Augmenter le temps de manipulation permet d'augmenter le temps de réflexion et de questionnement et permet donc de comprendre plus rapidement une notion.

Conclusion

Pour conclure, les résultats de cette recherche semblent tout de même convaincants. En effet, nous pouvons affirmer que l'utilisation du modèle en classe permet une meilleure compréhension d'un phénomène astronomique et permet de passer d'une conception erronée à la conception qui explique le phénomène étudié, même si le recueil de données a été effectué sur un petit échantillon d'élèves. Cependant, les résultats de cette recherche montrent également que, en améliorant la compréhension, la modélisation peut également engendrer de fausses représentations chez les élèves, car du fait de l'aspect simplifié du modèle, il existe un risque de confusion entre les éléments du modèle et la réalité.

C'est pourquoi, le rôle de l'enseignant dans des séquences incluant de la modélisation, est de faire constamment le lien entre le modèle et la réalité, pour ne pas manifester des fausses représentations chez les élèves comme dans cette étude.

Tout de même, j'ai pris conscience des limites de mon travail de recherche du fait des nombreuses limites que j'ai pu citer auparavant. Mon étude aurait dû se porter à plus grand d'échelle, sur un échantillon d'élèves plus conséquent.

Pour finir, ce travail de recherche m'a également permis de m'intéresser spécifiquement à la modélisation et à l'évolution des conceptions des élèves. Ce sont deux choses importantes et récurrentes dans l'enseignement des sciences. Cela m'a permis de me rendre compte qu'il est important que les élèves soient les acteurs de leurs apprentissages, et que la manipulation permet une meilleure compréhension en donnant du sens à l'activité. Partir des conceptions des élèves est le meilleur moyen pour les faire évoluer par la suite.

Enfin, j'ai également pris conscience que l'élève a besoin de temps pour apprendre, que tous les élèves sont différents et que leurs idées n'évoluent pas de la même façon et au même moment. C'est pourquoi je peux terminer en disant que ce mémoire est un travail enrichissant pour ma pratique professionnelle en tant que professeur des écoles.

Bibliographie

- Astolfi, J. P. (1997). *Mots clés de la didactique des sciences*. Bruxelles: collection pratiques pédagogiques de Boeck.
- Astolfi, J. P. (1998). *Comment les enfants apprennent les sciences*. Pédagogie RETZ.
- Bachelard, S. (1979). *Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles*. Paris: Maloine SA Paris.
- Buty, C. (2000). *Étude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation informatique*. Lyon .
- Clenet, J. (1998). *Représentations, formations en alternance* . Harmattan.
- Dècle, C., & Laurent, D. (2005). *Guide pour enseigner les sciences à l'école primaire*. Paris: Retz.
- Drouin, A. M. (1988). Le modèle en questions. *Modèle et modélisation*, pp. 1-20.
- Giordan, A. (s.d.). *Apprendre, comprendre, s'approprier le savoir*. Récupéré sur André Giordan: <https://www.andregiordan.com/articles/apprendre/appppcompr.html>
- Giordan, A. (s.d.). *Les conceptions de l'apprenant comme tremplin pour l'apprentissage... !* Récupéré sur André Giordan: <https://www.andregiordan.com/articles/apprendre/concepttapp.html>
- Giordan, A., & Vecchi, G. d. (1989). *L'enseignement scientifique, comment faire pour que ça marche?*
- Giordan, A., & Vecchi, G. d. (1994). *Les origines du savoir*. Delassaux et Niestlé.
- Guichard, J. (2001). *Comprendre le vivant, la biologie à l'école*. Hachette .
- Halloun, I. (2004). *Modeling theory in science education*. Holland.
- Halte, J. F. (1992). La didactique du Français. *Revue Française de Pédagogie*, pp. 121-122.
- Lhoste, Y. (2006). La construction du concept de circulation sanguine en 3e : Problématisation,. *ASTER n°42*, 79-108.
- Martinand, J. L. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. INRP : Paris.
- Martinand, J. L. (1994a). Introduction à la modélisation. *Communication présentée à la conférence Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques*, (pp. 126-138). Cachan.
- Meirieu, P. (1987). *Apprendre... oui, mais comment?* . Paris: Collection Pédagogie.

- Moscovici, S. (1989). Des représentations collectives aux représentations sociales : éléments pour une histoire . Dans D. Jodelet, *Les représentations sociales* (pp. 62-86). Paris: Sociologie d'aujourd'hui.
- Nancy Narsessian, L. M. (1999). *Model Based Reasoning in Scientific Discovery* .
- Orange, C. (2000). *Idées et raisons : constructions de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en SVT*. Nantes.
- Sanchez, É. (2008). Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la terre? *Éducation & didactique* , 93-118.
- Sanchez, E., Prieur, M., & Devallois, D. (2005). *L'ENSEIGNEMENT DE LA GEOLOGIE EN CLASSE DE SECONDE* . Chamonix.
- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la Educación Secundaria Obligatoria* . Sintesis .
- Vecchi, G. d. (2006). *Enseigner l'expérimental en classe*. Paris: Hachette éducation.
- Willet, G. (1996). Paradigme, théorie, modèle, schéma : qu'est-ce donc? *Communication & Organisation* n°10, 1-20.

Annexes

Annexe n°1 : retranscription des idées des élèves au tableau

- La Terre tourne (entre le Soleil et la Lune)
- La Terre tourne sur elle-même → le soleil est derrière nous à un moment
- La Terre tourne sur elle-même et les rayons du soleil viennent sur la Terre
- La Terre tourne autour du Soleil
- La Lune vient cacher le Soleil
- La Terre tourne autour du soleil et sur elle-même en même temps
- Le Soleil éclaire le côté où il fait jour puis cela s'inverse
- La Terre tourne mais pas le Soleil
- La Lune tourne autour de la Terre

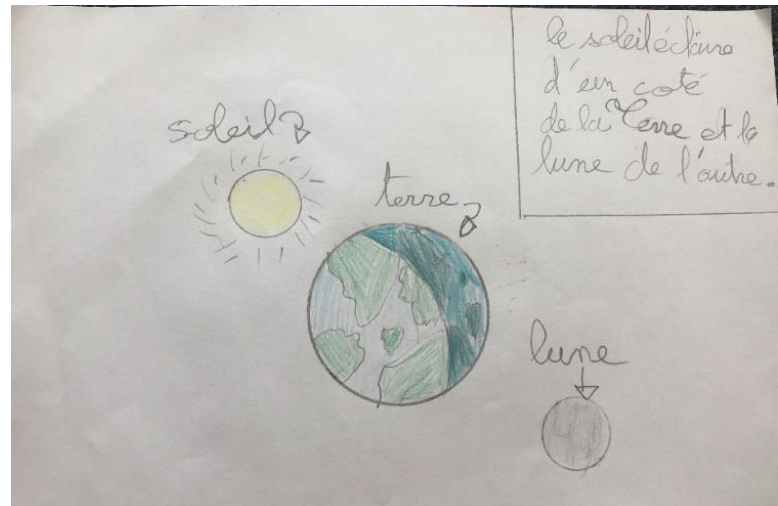
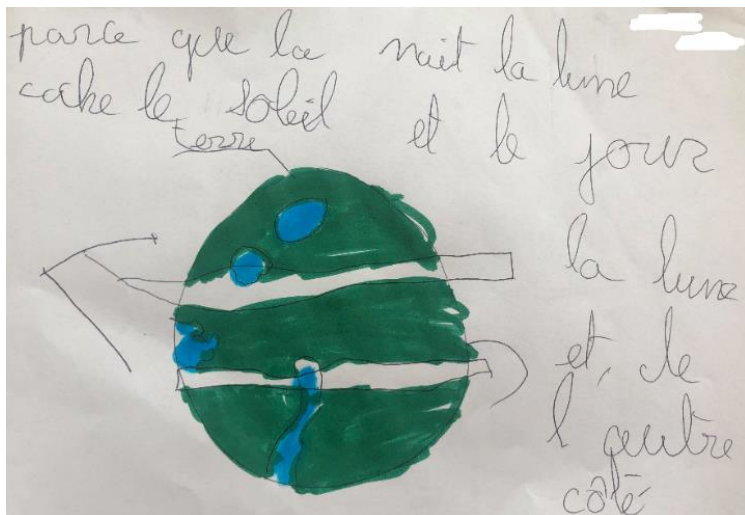
Annexe n°2 : Exemple de conception initiale non interprétable



Annexe n°3 : Exemple de conception initiale non scientifique



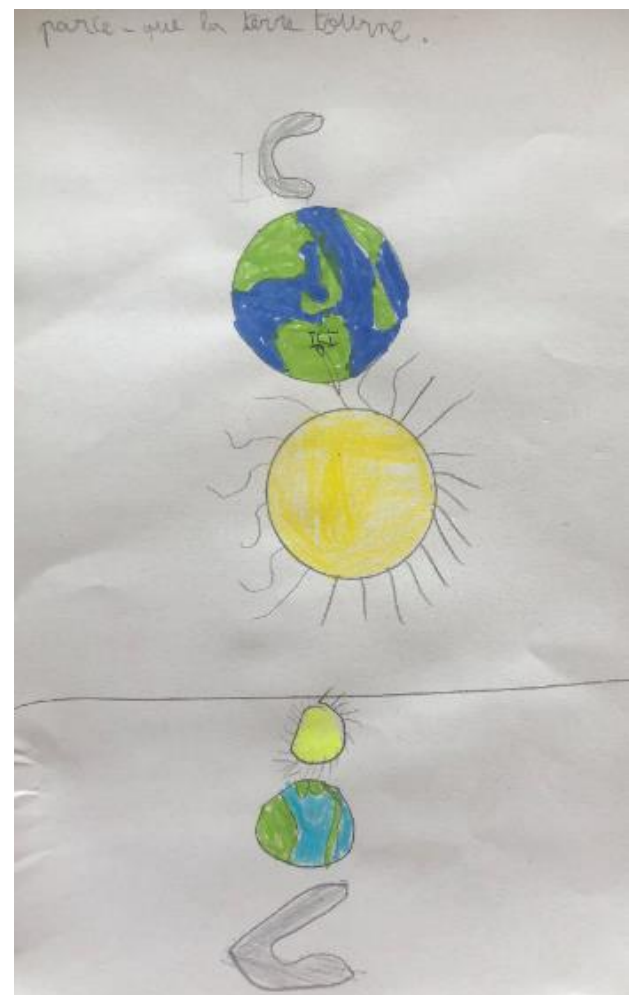
Annexe n°4 : Exemples de conceptions initiales où les élèves assimilent le soleil à la journée et la lune à la nuit mais sans explications.



Annexe n°5 : Exemple de conception initiale où l'élève pense que c'est parce que la Terre tourne autour du Soleil



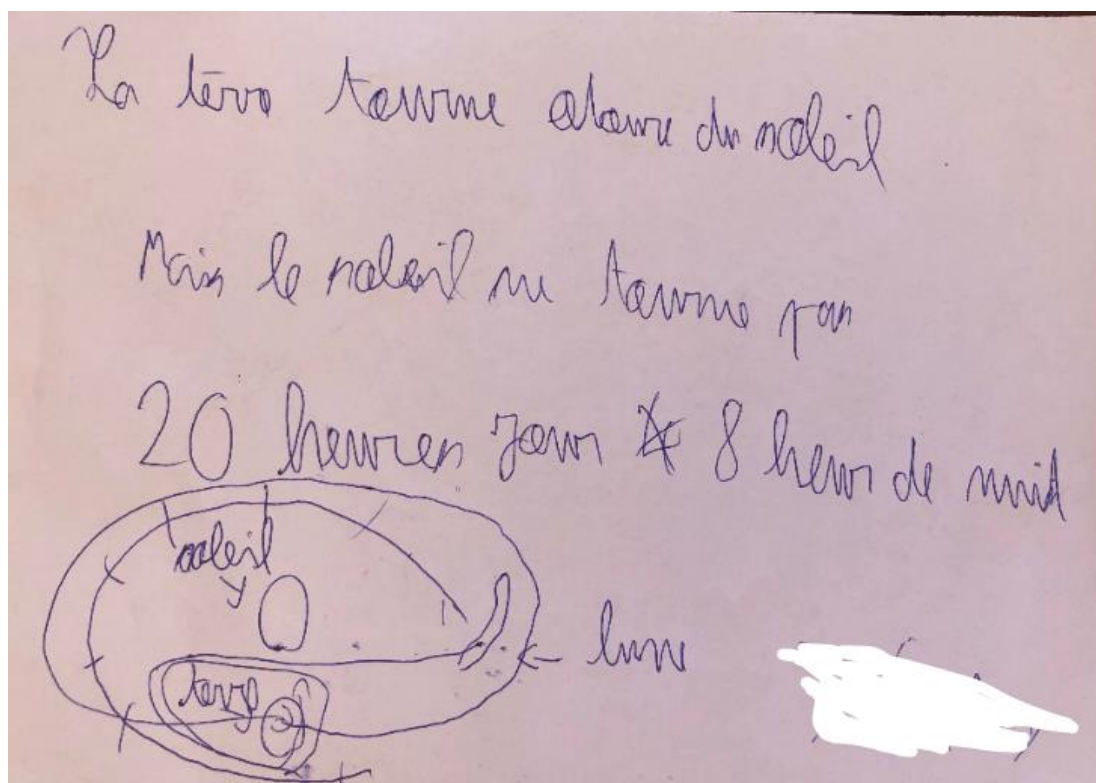
Annexe n°6 : Exemple de conceptions initiales d'élèves qui pensent que c'est parce que la Terre tourne sur elle-même



Annexe n°7 : Exemple de conception finale où l'élève pense que c'est parce que la Terre tourne sur elle-même



Annexe n°8 : Exemple de conception finale où l'élève pense que c'est parce que la Terre tourne autour du Soleil



Annexe n°9 : Exemple de conception finale où l'élève pense que le soleil explique le jour et la lune explique la nuit



Annexe n°10 : Exemple de conception finale non scientifique

