



HAL
open science

Exploration des conceptions en astronomie de futurs professeurs d'école

Valérie Frède, Patrice Venturini

► **To cite this version:**

Valérie Frède, Patrice Venturini. Exploration des conceptions en astronomie de futurs professeurs d'école. *Didaskalia* (Paris), 2006, 29, pp.41-65. halshs-00218122

HAL Id: halshs-00218122

<https://shs.hal.science/halshs-00218122>

Submitted on 25 Jul 2008

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.

Frede, V., & Venturini, P. (2006). Analyse des conceptions en astronomie de futurs professeurs d'école. *Didaskalia*, 29, 41-65.

Exploration des conceptions en astronomie de futurs professeurs d'école.

Exploration of pre-service elementary teachers' conceptions about astronomy.

Titre abrégé : Futurs enseignants et concepts astronomiques

FREDE Valérie, IUFM Midi-Pyrénées, ERT 34, et Université Toulouse 2 Le Mirail, ECCD.
VENTURINI Patrice, Université Toulouse 3 Paul Sabatier, EA 3692, LEMME (DESEI).

Résumé :

Ce travail est axé sur l'analyse des conceptions de futurs professeurs d'école à partir d'un questionnaire ouvert portant sur l'astronomie. Les questions concernent principalement des notions de base au programme du cycle 3 de l'école élémentaire (grades 3 à 5¹). Nous mettons en évidence que ces professeurs possèdent majoritairement des conceptions non scientifiques au sujet de phénomènes astronomiques qu'ils devront enseigner à leurs élèves. Plus particulièrement nous pointons une conception naïve de la notion d'horizon visuel ainsi qu'une conception naïve de la notion de verticale sur Terre indiquant ainsi que certains de ces futurs enseignants n'ont pas construit complètement le concept de sphéricité de la Terre.

Mots Clés : conception, astronomie, professeurs, formation, école élémentaire.

Abstract :

This study is devoted to an analysis of pre-service elementary teachers from the results to an open questionnaire about astronomy. The questions concern principally basic astronomical concepts taught from grade 3 to 5 at elementary school. We point out that those teachers hold essentially non scientific conceptions about astronomical notions they will have to teach. More precisely, we point out that some of the appearing concepts of visual horizon and verticals on the Earth belong to primitive models. This shows that some of those future teachers don't have totally constructed the concept of spherical Earth.

Key words : conception, astronomy, teachers, pre-service, elementary school.

1. Introduction :

De nombreuses études sont consacrées à l'analyse des conceptions d'individus au sujet de phénomènes physiques et biologiques. Ces études portent essentiellement sur le recueil et l'analyse de conceptions d'apprenants, de l'école élémentaire à l'Université (par exemple, Séré, 1982, au sujet des conceptions de l'état gazeux pour des enfants de 11-13 ans; Tiberghien et Barboux, 1983, sur la notion de chaleur pour des collégiens de 6^{ème} (grade 6); Maurines, 2002, sur les conceptions d'étudiants à propos de surface d'onde, de phase et du principe d'Huygens). Il en est de même dans le domaine plus spécifique de l'astronomie où de nombreux travaux s'intéressent à l'évolution des conceptions d'enfants de cycle 3 (Vosniadou et Brewer, 1992, 1994 ; Merle, 2002 ; Merle et Munier, 2003).

Il semble que des recherches concernant l'analyse de conceptions en matière d'astronomie des enseignants ou des futurs enseignants soient plus rares dans la littérature. A notre

¹ Les grades 3 à 5, du système international, correspondent en France au cycle 3 (CE2=grade3, CM1=grade4, CM2=grade5).

connaissance, aucun travail de ce type n'a été réalisé en France. Le but de cette étude est de recueillir les conceptions de futurs professeurs d'école français en matière d'astronomie en lien d'une part avec la culture générale scientifique que l'on peut attendre de tout enseignant et d'autre part en lien avec les programmes de l'école élémentaire.

Après avoir défini quelle était la problématique de cette recherche, nous présenterons l'état de la question concernant l'analyse des conceptions d'enseignants à travers une présentation de travaux essentiellement anglo-saxons. Nous décrirons ensuite la méthodologie adoptée et une analyse quantitative et qualitative des réponses au questionnaire sera menée. Après une catégorisation des types de réponses données en fonction des conceptions sous-jacentes à ces réponses, nous verrons comment se répartissent réellement les idées de ces futurs professeurs d'école en matière d'astronomie et proposerons des pistes d'activités pour leur formation.

2. Problématique

Les professeurs des écoles ont à enseigner l'astronomie, entrée dans les programmes de sciences de l'école élémentaire en 1985 au cycle 3 dans la partie « Le ciel et la Terre ». Les notions travaillées avec les élèves sont détaillées dans les fiches d'application des programmes (MENESR, 2002). Elles concernent des éléments généraux au sujet de la lumière et des ombres (propagation rectiligne de la lumière, ombre propre, ombre portée) ainsi que des points cardinaux et de la boussole. Puis dans la continuité, des travaux spécifiques sont menés sur le mouvement apparent du Soleil (observation de l'ombre d'un bâton au cours de la journée), sur la rotation de la Terre sur elle-même (explication de l'alternance journée/nuit), sur sa révolution autour du soleil ainsi que la durée des journées et son évolution au cours des saisons. Enfin, l'étude de la composition et des dimensions du système solaire au sein de l'Univers est proposée. Un des prérequis à toutes ces notions est la sphéricité de la Terre même si ce point n'apparaît pas explicitement dans les programmes. Les notions d'horizontales et de verticales qui sont, pour nous, nécessaires pour faire de l'astronomie sont traitées dans la partie « Matière » des programmes.

S'il appartient aux IUFM de préparer les futurs enseignants à mettre en œuvre des activités dans le domaine de l'astronomie, la question du niveau de maîtrise des contenus se pose aussi aux formateurs. En effet, les professeurs stagiaires qui arrivent en formation à l'Institut de Formation des Maîtres (IUFM) n'ont eu que peu ou pas de formation en astronomie antérieurement et de plus, cette formation est généralement très ancienne. En effet, bien qu'il existe depuis 1979 des éléments d'astronomie dans le programme de collège en classe de 4^{ème}, (grade 8) l'astronomie n'est entrée dans la formation académique de lycée en classe de seconde (grade 10) qu'en 2000 en Sciences de la Vie et de la Terre. On retrouve aussi des éléments d'astronomie au lycée en sciences physiques et en sciences de la vie et de la Terre mais uniquement dans les filières scientifiques (1^{ère} S (grade 11) : interaction gravitationnelle, origine de la Terre ; Terminale S (grade 12) : lois de Képler, paramètres de l'orbite). Or environ 60 % des futurs professeurs des écoles à l'IUFM de Midi Pyrénées sont issues de filières non scientifiques où ces notions ne sont pas abordées. Pour les autres, elles sont relativement anciennes. On pourrait donc penser a priori que pour ces futurs enseignants, les connaissances scientifiques nécessaires pour enseigner les notions d'astronomie sont insuffisantes voire ont laissé place à des conceptions très personnelles construites à partir de leur expérience quotidienne, un peu à la manière dont celles de leurs élèves se construisent.

Par ailleurs, la question des connaissances initiales en astronomie d'adultes ou celles de jeunes étudiants en formation qui se destinent à être enseignants du primaire a été peu étudiée dans les recherches en éducation scientifique, en particulier en France.

La question de savoir ce qu'ils connaissent du sujet à enseigner reste donc entière.

Ainsi, afin d'une part de former ces adultes à des notions scientifiques élémentaires mais aussi de former des enseignants prêts à instruire les enfants sur ces thématiques, se dégage la question suivante : quelles sont les conceptions des enseignants en formation dans le domaine du ciel et de la Terre ?

Après avoir présenté la problématique de notre étude, nous allons maintenant décrire des recherches sur l'état de la question.

3 Etat de la question : Conceptions des enseignants

Dans le domaine particulier de l'astronomie, quelques études se sont penchées sur les conceptions de futurs enseignants du primaire au sujet de :

- l'alternance du jour et de la nuit. Atwood et Atwood (1995) ont montré que la principale conception alternative mobilisée par des futurs professeurs d'école américains, au sujet de la journée et de la nuit, est celle de la révolution de la Terre autour du Soleil. En second plan arrive la conception de la révolution du Soleil autour de la Terre.
- des saisons. L'étude précédente a été poursuivie par l'analyse des conceptions de futurs professeurs d'école américains au sujet des saisons (Atwood et Atwood, 1996). Ils montrent qu'un seul des 49 futurs enseignants interrogés possède une compréhension scientifique du phénomène des saisons. La distance entre la Terre et le Soleil apparaît comme la principale cause à l'origine des saisons, la seconde étant liée à la variation d'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre au cours de la révolution de la Terre autour du Soleil. Kikas en 2004 retrouve ces conceptions alternatives chez des enseignants du primaire en Estonie.
- des phases de la Lune. Plusieurs études américaines ont relevé les conceptions de futurs enseignants (Shoon, 1995 ; Callison et Wright, 1993, Parker, 1998, Trundle et al., 2002). Ces études montrent que la conception la plus répandue reste celle de l'ombre de la Terre sur la Lune (qui traduit une confusion avec le phénomène d'éclipse). Les résultats de Shoon indiquent que sur 122 enseignants, seulement 18% modélisent correctement le phénomène tandis que 62,3% utilisent la conception alternative décrite précédemment (Shoon, 1995). Callison et Wright ont étudié les conceptions de 76 futurs enseignants et mettent eux aussi en évidence la même conception majoritaire. Seulement 6,6% de leur échantillon explique correctement le phénomène (Callison et Wright, 1993). Enfin, plus récemment Trundle et al. ont étudié les changements conceptuels avant et après instruction de futurs professeurs d'école au sujet des phases de la Lune. Ils montrent que pour un des groupes étudiés (21 individus), seulement 2 possèdent, avant instruction, le modèle scientifique ; après instruction, ils sont 15. Parmi les autres conceptions alternatives observées avant et après enseignement, ces auteurs mentionnent l'influence de la rotation de la Terre sur elle-même ou une combinaison entre le modèle scientifique et cette dernière.

Au-delà de l'absence, à notre connaissance, de travaux français sur le sujet, on peut constater à travers ces études, le peu de futurs enseignants étrangers qui mobilisent des connaissances scientifiques ainsi que la prédominance de certaines conceptions (comme celle de la distance de la Terre au Soleil pour expliquer les saisons).

Par ailleurs, on constate aussi une absence de travaux sur les concepts d'horizon et de verticalité. Il existe cependant, sur ces deux aspects, des travaux qui ont été réalisés avec un public d'élèves de l'école élémentaire. En particulier, concernant le concept d'horizon, Merle (2002) a proposé une activité à des élèves français de CM1 (grade 4, 10-11 ans) concernant la

détermination de l'horizon visuel dans laquelle il s'agissait d'identifier les étoiles vues par deux observateurs situés à des endroits différents sur Terre. Elle a mis en évidence des conceptions non attendues de la notion de champ visuel passant par des visions conique ou parabolique (figures 1a et 1b).

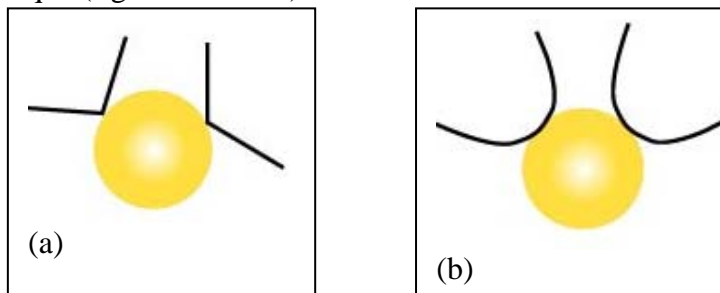


Figure 1 : Représentation de l'horizon visuel en deux points de la surface de la Terre : (a) vision conique, (b) vision parabolique.

Concernant la verticalité, des travaux ont été réalisés par Nussbaum (1979) à propos de la construction de la notion de gravité sur Terre pour des enfants d'école élémentaire en Israël. Si l'on se réfère aux 5 modèles de la Terre prenant en compte la gravité définis par Nussbaum (figure 2), la conception correspondant à une Terre sphérique avec des verticales absolues (modèle (c)) est la plus répandue pour des enfants de CM1 (47%) (Merle, 2002).

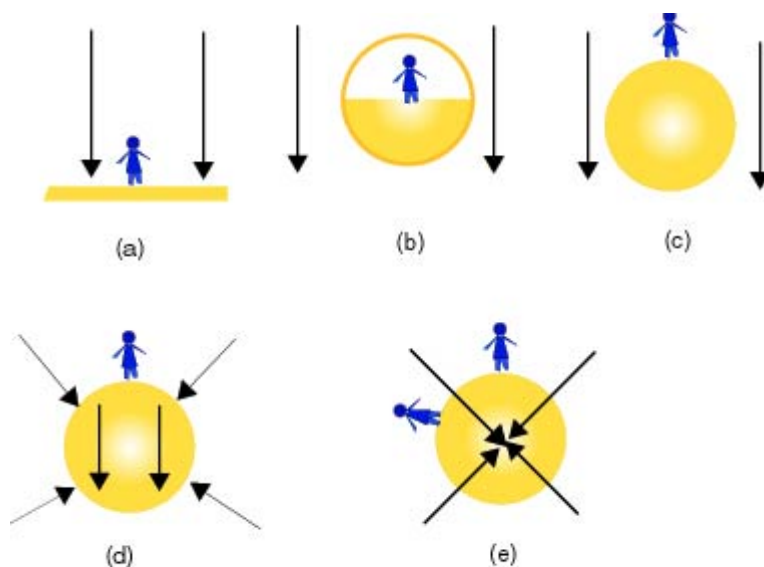


Figure 2 : Modèles définis par Nussbaum : (a) Terre plate et verticales absolues, (b) Terre creuse et verticales absolues, (c) Terre sphérique et verticales absolues, (d) Terre sphérique, verticales absolues à l'intérieur de la Terre, (e) Terre sphérique et verticales non absolues.

4. Méthodologie :

Nous allons présenter dans cette partie, d'une part le contenu du questionnaire et le contexte de l'étude et d'autre part la manière dont nous avons analysé et catégorisé les réponses.

4.1 Questionnaire

Nous avons réalisé un questionnaire ouvert permettant à la fois d'identifier les conceptions relatives aux phénomènes et aux mouvements astronomiques visibles et la maîtrise de définitions plus générales liées à l'astronomie. Six questions portent sur les phénomènes et mouvements astronomiques relatifs à des événements quotidiens ou annuels visibles depuis la Terre (jour/nuit, saisons, phases de la Lune, horizon/verticalité). Elles ont pour but de mesurer l'écart entre la référence scientifique que le futur enseignant aura à transmettre et la conception qu'il en a et sont ainsi formulées :

- *Pourquoi y a-t-il des journées et des nuits sur Terre ?* (Q1)
- *Expliquer le phénomène des saisons sur Terre* (Q2)
- *A quoi sont dues les phases de la Lune ?* (Q3)
- *Pourquoi fait-il plus chaud l'été que l'hiver dans l'hémisphère Nord ?* (Q4) Cette question a pour objectif de vérifier la cohérence de la réponse de l'étudiant avec la question 2 au sujet des saisons. Ces deux questions seront traitées simultanément dans la partie résultats.
- *Quelles sont les étoiles vues par A et vues par B ?* (Q5) Cette question, destinée à questionner la conceptualisation de l'horizon, est identique à celle posée par Merle (Merle, 2002) à des élèves de CM1 (grade 4, 10-11 ans). Les étudiants doivent répondre sur un dessin reproduit en figure 3. Il est explicité oralement ce que représentent les différents éléments du dessin. En particulier il est précisé que les observateurs A et B bénéficient d'un horizon dégagé dans toutes les directions.

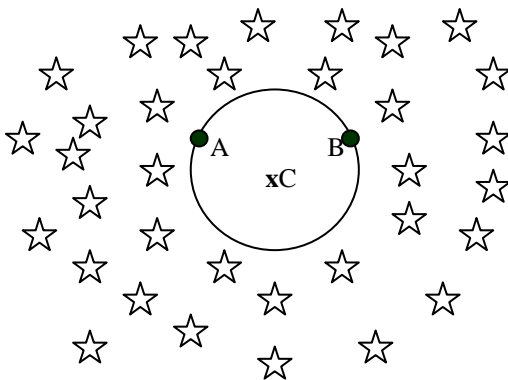


Figure 3 : Le cercle de centre C représente la planète Terre, les points A et B sont des points de la surface de la Terre et quelques étoiles sont schématiquement matérialisées.

- *Dessinez les verticales par rapport à la Terre en A et B.* (Q6) La question sur les verticales est évidemment étroitement liée à la précédente. Elle est choisie afin d'une part de recueillir les conceptions des verticales sur Terre qu'ont les enseignants stagiaires mais aussi afin de voir de quelle manière ils relient verticales et horizon sur Terre.

Les trois dernières questions relatives aux définitions (différence étoile/planète, étoile polaire, étoile filante) ont pour but de situer la culture scientifique du futur professeur toujours en lien avec les programmes de l'école élémentaire.

- *Quelle est la différence entre une étoile et une planète ?* (Q7) : Cette question est posée car elle fait partie du programme de cycle 3.
- *Qu'est-ce qu'une étoile filante ?* (Q8)
- *Qu'est-ce que l'étoile polaire ?* (Q9) Cette question nous paraît importante puisqu'elle est indirectement liée à la rotation de la terre sur elle-même et donc à l'explication de l'alternance journée/nuit. En effet, l'étoile polaire indiquant le Nord, se situe donc dans le prolongement de l'axe de rotation de la Terre et est la seule à être immobile

dans le ciel : sa connaissance et son identification sur la sphère céleste sont indispensables à la conceptualisation du mouvement diurne.

Le choix de l'utilisation d'un questionnaire ouvert est motivé par le fait que nous souhaitons recueillir des données écrites brutes avec un vocabulaire propre à l'étudiant. En effet, nous avons fait le choix de ne pas présenter par exemple au sein d'un QCM, de réponses textuelles (la référence scientifique ou tout autre type de conceptions) de manière à pouvoir analyser le langage utilisé et y détecter le degré de compréhension du concept.

De plus, dans le cadre d'un recueil de conceptions initiales, nous souhaitons éviter les deux biais éventuels mis en évidence par Vosniadou et al. (2004) pouvant apparaître lors de l'utilisation d'un questionnaire à choix multiples ou fermés (oui/non) :

- limitation des réponses possibles et donc des conceptions à recueillir,
- le fait de présenter la réponse scientifique peut induire un choix en sa faveur alors que spontanément le sujet ne sera pas capable d'y avoir recours.

4.2 Echantillon, contexte

L'échantillon choisi pour cette étude est constitué de 50 professeurs d'école stagiaires en formation professionnelle n'ayant reçu aucune formation à l'enseignement de l'astronomie au sein de l'IUFM. Le questionnaire a été proposé pendant environ 30 minutes, largement suffisantes pour répondre à toutes les questions. Ce questionnaire a été posé en milieu d'année scolaire et les stagiaires étaient prévenus qu'il s'agissait d'un questionnaire ouvert destiné à mesurer l'état de leurs connaissances en sciences dans le cadre d'un travail de recherche. Les stagiaires étaient volontaires pour participer à cette étude.

4.3 Analyse des réponses

Comme cela a été souligné par Clément (1994), nous avons conscience que les questions posées ne permettent de recueillir que les conceptions conjoncturelles des personnes interrogées. En effet, nous n'avons accès ici qu'à l'ensemble des concepts mobilisés dans les situations proposées.

Chaque réponse a été analysée à partir d'une grille de lecture élaborée selon le cas :

1. de manière purement inductive à partir du corpus, pour catégoriser les réponses des questions Q6 à Q9.
2. a priori, à partir des conceptions mises à jour par les études déjà réalisées (cf. partie 3) pour les questions Q1 à Q4. L'analyse a priori a permis de fournir des points de repère qui ont été complétés par les éléments issus d'une analyse inductive.
3. a priori à partir des conceptions d'élèves de CM1 (grade 4 : 10-11 ans) dans le cas de l'horizon visuel (Q5). En effet, aucune étude concernant le concept d'horizon n'a été réalisée avec un public d'adulte. Ainsi, nous avons utilisé les situations proposées par Merle au CM1 afin de définir a priori les catégories et les avons ajustées à partir d'une analyse inductive complémentaire.

Ensuite, l'analyse qualitative a été complétée par une analyse quantitative portant sur la fréquence d'apparition de chaque conception. Les éléments qui permettent d'interpréter les réponses se basent sur les phrases écrites par les étudiants.

5. Résultats²

Nous présentons l'analyse des réponses à la fois sous forme du nombre d'individus appartenant à une catégorie et sous forme de pourcentages de manière à faciliter la lecture. Nous rappelons que notre échantillon comporte 50 individus, et que nous ne présentons nullement une analyse statistique.

5.1 Conceptions relatives à des phénomènes astronomiques

5.1.1 Alternance Journée/Nuit

Le tableau 1 récapitule les résultats obtenus pour la question Q1.

Q1	Pourquoi y a-t-il des journées et des nuits sur Terre ?		
Rotation de la Terre sur elle-même (*)	27		54%
Rotation de la Terre sur elle-même et révolution autour du Soleil	16	32%	46%
Révolution de la Terre autour du Soleil	4	8%	
Autres ou ne sait pas	3	6%	
Total	50	100%	

Tableau 1 : Répartition des réponses des professeurs stagiaires à la question Q1.

On constate tout d'abord qu'environ la moitié des stagiaires répond correctement en identifiant la cause des jours et des nuits comme due uniquement à la rotation de la Terre sur elle-même. On observe cependant un tiers des réponses combinant rotation de la Terre sur elle-même et révolution autour du Soleil. Ceci indique que ces futurs professeurs n'ont pas identifié précisément le phénomène responsable de l'alternance des journées et des nuits. Ils semblent connaître l'origine du phénomène mais sont cependant incapables d'expliquer correctement comment il intervient.

5.1.2 Les saisons

On trouve dans le tableau 2 ci-dessous les résultats aux questions Q2 et Q4. Celles-ci concernent toutes deux les saisons et la cohérence dans les réponses faites à chacune d'elle permet de les présenter en un seul tableau.

Q2 et Q4	Expliquer le phénomène des saisons sur Terre Pourquoi fait-il plus chaud l'été que l'hiver dans l'hémisphère Nord ?		
Inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport à l'écliptique (*)	8		16%
Distance de la Terre au Soleil	25	50%	84%
Les deux phénomènes (distance et inclinaison)	9	18%	
Autres (2) (rotation de la Terre, inclinaison du Soleil...) ou ne sait pas (6)	8	16%	
Total	50	100%	

Tableau 2 : Répartition des réponses des professeurs stagiaires aux questions Q2 et Q4.

On constate que 84% des réponses concernant ce phénomène sont erronées ou absentes. Parmi celles-ci, la majorité met en jeu la distance entre le Soleil et la Terre. Cette conception,

². Dans chaque tableau de résultats, l'astérisque (*) désigne la réponse attendue. La ligne grisée désigne la réponse la plus fréquente.

modèle naïf que nous pouvons nommer « théorie de la distance », correspond au sens commun. La réponse exacte mettant en jeu l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre sur le plan de l'écliptique ne représente que 16 % des réponses (8 individus). Cependant, c'est une borne supérieure car parmi ces réponses, en raison de la forme ouverte du questionnaire, il nous est impossible de savoir si le terme « inclinaison » est utilisé avec l'idée d'inclinaison fixe (modèle scientifique) ou bien d'inclinaison variable (conception alternative). Certaines réponses sont très ambiguës ou impliquent un vocabulaire savant mal utilisé (solstices). On remarque qu'aucune saison n'est mentionnée et qu'un seul schéma est proposé. La conception proposant les deux explications simultanément (inclinaison de l'axe et distance au Soleil) représente 18% des réponses (9 individus) et témoigne du fait que bien qu'un savoir ait pu être acquis, sa construction n'est pas complète puisqu'il s'ajoute simplement à la conception initiale qui reste bien présente. Dans cette partie, les réponses sont globalement très imprécises (confusion rotation, révolution, utilisation du terme inclinaison de manière très vague).

5.1.3 Les phases de la Lune

Le tableau 3 récapitule les résultats obtenus pour la question Q3.

Q3	A quoi sont dues les phases de la Lune ?		
Révolution de la Lune autour de la Terre et positions relatives de la Lune et de la Terre (*)	16		32%
Confusion Ombre portée	17	34%	68%
Autres (effets de marées ...)	11	22%	
Ne sait pas	6	12%	
Total	50	100%	

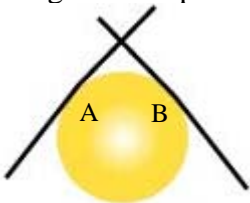
Tableau 3 : Répartition des réponses des professeurs stagiaires à la question Q3.

On constate que environ deux tiers des réponses sont erronées ou absentes (tableau 3) et qu'un tiers des réponses porte sur une confusion entre ombre portée et phases de la Lune. Ce dernier modèle fréquemment énoncé, relève d'une confusion explicite avec le phénomène d'éclipse. La réponse attendue expliquant le rôle des positions relatives de l'observateur par rapport au demi-globe lunaire éclairé par le soleil est recueillie à hauteur de 30%. Les réponses « autres » assez nombreuses témoignent de connaissances explicites sur la Lune (ex. les marées) mais sans aucun lien avec le concept interrogé.

5.2 Les concepts d'horizon et de verticale

5.2.1 Horizon

Le tableau 4 récapitule les résultats obtenus pour la question Q5.

Q5	Quelles sont les étoiles vues par A et vues par B ?	
Tangente aux points considérés (*)	21	42%
		

Conceptions coniques, paraboliques, curvilignes	24	48%	58%
Ne sait pas	5	10%	
Total	50	100%	

Tableau 4 : Répartition des réponses des professeurs stagiaires à la question Q5.

On constate qu'un peu moins de la moitié des professeurs questionnés répond correctement et dessine l'horizon en un point de la Terre comme la tangente au cercle en ce point. Les visions coniques et paraboliques restent très présentes. Ceci montre que le concept d'horizon tel qu'on l'entend sur le plan scientifique n'est pas construit pour près de la moitié de notre échantillon.

5.2.2 Verticales

Le tableau 5 récapitule les résultats obtenus pour la question Q6.

Q6	Dessinez les verticales par rapport à la Terre en A et B		
Vers le centre de la Terre (*)	27		54%
Verticales ne se rapportant pas au centre de la Terre (mais en prenant la direction globale)	4	8%	46%
Verticales absolues	9	18%	
Ne sait pas ou pas de réponse	10	20%	
Total	50	100%	

Tableau 5 : Répartition des réponses des professeurs stagiaires à la question Q6.

46 % des étudiants interrogés n'ont pas mis en œuvre le modèle scientifique attendu concernant les verticales. En effet :

- le modèle de verticales absolues est proposé par 18 % (9 individus) des futurs professeurs d'école. Parmi ces 9 individus, un d'entre eux propose une représentation verticale de l'horizon visuel passant par le centre de la Terre (Figure 4).
- 8 % ou 4 individus dessinent des directions verticales non absolues mais ne se rapportant pas au centre de la Terre.
- 20 % (10 individus) ne fournissent aucune réponse.

Cependant, la majorité (54%, 27 individus) des réponses des futurs professeurs conceptualisent les verticales sur Terre.

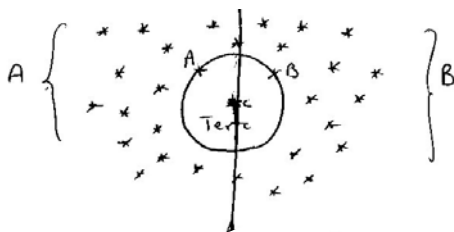


Figure 4 : Vision verticale locale de l'horizon visuel : droite passant par le centre de la Terre et séparant l'horizon visuel en deux parties égales.

5.2.3 Lien entre horizon et verticales

Globalement, on observe une meilleure conception de la verticale que de l'horizon en un point du globe. Cependant en analysant de manière croisée les réponses Q5 et Q6 pour un même professeur stagiaire, on constate que le lien entre les concepts d'horizon et de verticale sur Terre n'est pas systématiquement fait.

Ainsi, la notion d'horizon n'est pas conceptualisée, « horizon » et « horizontales » ne sont pas mis en relation explicites, et de ce fait non reliées à la verticale pour les stagiaires interrogés.

- Certaines réponses montrent que la notion d'horizon est bien construite tandis que la notion de verticale est associée à une représentation locale de « haut, bas » (figure 5).

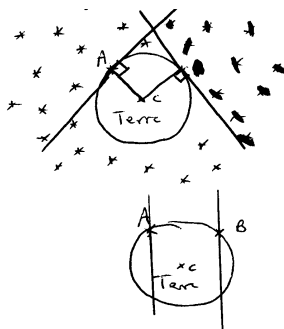


Figure 5 : Vision correcte de l'horizon visuel associé à une vision locale des verticales (haut, bas).

- A l'inverse, d'autres réponses proposent une représentation acceptable de la verticale et un horizon curviligne, conique ou parabolique (Figures 6, 7 et 8). Si on se réfère au formalisme fonctionnel de la modélisation des conceptions par Giordan et De Vecchi (1994), on se rend compte que le cadre de référence lié à « horizontal et horizon » d'une part et à « vertical et verticales » d'autre part, n'est pas le même pour certains professeurs. Bien qu'ils soient capables de définir correctement la verticale du lieu, ils ne mobilisent pas le même cadre de référence pour construire l'horizon(tale) associé(e).

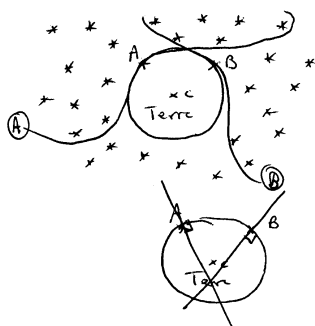


Figure 6 : Vision curviligne de l'horizon visuel associé à une vision des verticales ne passant pas par le centre de la Terre. Il y a un souci de perpendicularité par rapport certainement à l'horizontale ?

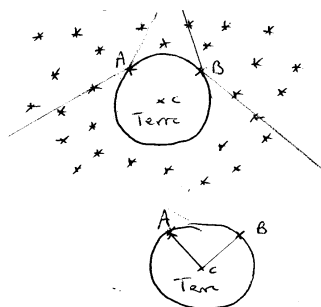


Figure 7 : Vision conique de l'horizon visuel associé à une vision correcte des verticales.

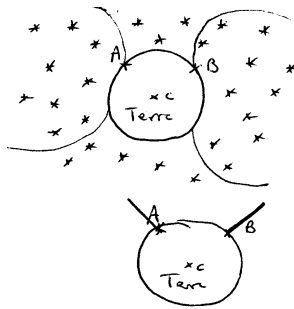


Figure 8 : Vision parabolique de l’horizon visuel associé à une vision des verticales non complète (s’arrêtant à la surface de la Terre, ne rejoignant pas le centre de celle-ci).

Notons que tous les stagiaires de notre échantillon ont la connaissance de la sphéricité de la Terre mais ont des difficultés à construire le concept global intégrant les notions d’horizon et de verticales associées.

5.3 Définitions

5.3.1 Etoile versus planète

Le tableau 6 récapitule les résultats obtenus pour la question Q7.

Q7	Quelle est la différence entre une étoile et une planète ?		
Idée de rayonnement propre durable pour une étoile et non pour une planète (*)	18		36%
Autres conceptions (cf. texte)	20	40%	64%
Ne sait pas	12	24%	
Total	50	100%	

Tableau 6 : Répartition des réponses des professeurs stagiaires à la question Q7.

Pour cette question, on obtient 64 % de réponses incorrectes. Concernant les différences déclarées entre une étoile et une planète, il a été surprenant de constater que la majorité des professeurs stagiaires constituant notre échantillon donne des réponses très diversifiées ou ne sait pas. La réponse attendue concernant l’idée de « rayonnement propre durable pour une étoile » ou de « source d’énergie interne nucléaire durable pour une étoile » est proposée par 18 étudiants. Une autre différence qui aurait pu être mentionnée, liée aux scénarii de formation de ces corps est absente des réponses de notre échantillon. Pour les autres, il n’existe pas comme dans les autres cas des conceptions initiales communes et bien partagées. Il est donc apparu impossible d’isoler un nombre faible de catégories de réponses. Dans la mesure où les expressions employées sont intéressantes, nous avons choisi de ne pas regrouper les éléments mais de présenter dans le détail leurs réponses.

Plusieurs caractérisations, toutes erronées, sont relevées. Elles concernent :

- la durée de vie de ces corps : pour certains « une étoile est éphémère » ou « un astre mort », « une étoile a une durée de vie courte » ;
- l’activité des corps : « une planète est en rotation³ tandis qu’une étoile est immobile » ;
- la transformation de l’un en l’autre : « une étoile est une planète morte », « une planète est une ancienne étoile refroidie », « une étoile est une planète non éclairée » ;

³ Peut-être faut-il entendre « révolution » (autour d’une étoile) et non « rotation »

- la provenance ou la limitation au système solaire: « une étoile vient d'un autre système », « les planètes appartiennent au système solaire⁴ », « une planète tourne autour du Soleil », « une étoile est un astre tandis qu'une planète est interne » ;
- la composition : « une planète possède une atmosphère » ;
- le fait qu'il n'y a aucune différence.

Ceci montre que la catégorisation claire étoile/planète n'est pas acquise.

5.3.2 Etoile versus météore

Le tableau 7 récapitule les résultats obtenus pour la question Q8.

Q8	Qu'est ce qu'une étoile filante ?		
Idée de corps pénétrant dans l'atmosphère terrestre (météorite) (*)	14		28%
Confusion étoile	18	36%	72%
Réponse très imprécise et incomplète	5	10%	
Ne sait pas	13	26%	
Total	50	100%	

Tableau 8 : Répartition des réponses des professeurs stagiaires à la question Q8.

On constate que la majorité des futurs professeurs d'école interrogés pense qu'une étoile filante est une étoile. Seulement 14 d'entre eux écrivent la définition correcte. Les réponses incomplètes ne permettent pas une identification claire de la conception sous jacente et forment une catégorie à part entière.

5.3.3 Etoile polaire

Le tableau 8 récapitule les résultats obtenus pour la question Q9.

Q9	Qu'est ce que l'étoile polaire ?		
Etoile qui indique le Nord (*)	15		30%
Planète (ou Vénus ou étoile du Berger ou étoile très lumineuse)	20	40%	70%
Ne sait pas	15	30%	
Total	50	100%	

Tableau 9 : Répartition des réponses des professeurs stagiaires à la question Q9.

On remarque beaucoup de confusions entre étoile polaire, étoile du Berger et Vénus. Aucun étudiant ne mentionne le fait que l'étoile polaire pointe dans la direction de l'axe de rotation de la Terre (il n'y a aucune réponse indiquant un lien avec l'axe de rotation de la Terre). D'autre part 15 étudiants sur 50 déclarent ne pas savoir ce qu'est l'étoile polaire.

6. Discussion

Si ce travail a confirmé des résultats déjà connus par ailleurs dans d'autres pays sur le même type de public, il y a apporté une contribution nouvelle à partir de données françaises. D'autre part, c'est la première étude qui s'intéresse à la conceptualisation de la verticale et de l'horizon visuel chez des adultes et plus particulièrement chez de futurs enseignants. Un résultat nouveau proposé par cette étude concerne la mise en évidence d'une absence de lien

⁴ On voit ici une représentation conforme à celle en cours à une époque où l'on ne connaissait aucune exoplanète.

entre verticale et horizon et par extension d'une non conceptualisation complète de la forme de la Terre pour cette population.

Ce travail permet de plus de démontrer que les connaissances des futurs enseignants en matière d'astronomie sont insuffisantes et qu'il est nécessaire de proposer des formations spécifiques. Pour cela, il offre aux formateurs un spectre des principales conceptions de jeunes adultes se destinant à enseigner à l'école élémentaire en France.

Au-delà de ces considérations, nous souhaitons revenir sur la méthodologie et sur quelques uns des résultats.

1) Méthodologie et conceptions

L'ensemble de cette étude a pour but d'explorer les conceptions des professeurs stagiaires à partir d'une série de questions. Comme cela a été souligné par Clément (1994), nous avons conscience du risque de ne recueillir à partir des questions posées que les conceptions conjoncturelles des personnes interrogées. L'usage de plusieurs questions liées à un même concept, l'utilisation de certaines d'entre elles à deux moments différents, l'explicitation de certaines réponses lors d'entretiens, permettraient certainement de mieux s'assurer des invariants cognitifs caractérisant les conceptions des stagiaires.

Toutefois, comme on a pu le voir, nos résultats, à l'exception de ceux qui sont originaux, recourent de manière importante les conceptions déjà mises à jour par d'autres chercheurs avec une méthodologie un peu plus sophistiquée que la nôtre (Trumper, 2003, Callisson et Wright 1993, Shoon, 1995) tout comme celles identifiées à partir d'une méthodologie similaire à la nôtre dans son principe (Atwood et Atwood, 1995, 1996 ; Parker et Heywood, 1998, Merle, 2002, Kikas, 2004). Cette proximité de résultats nous laisse penser que les éléments que nous avons mis à jour ont une portée un peu plus large que celle de réponses conjoncturelles. C'est la raison pour laquelle nous parlons ici de conceptions.

2) L'existence de conceptions « mixtes »

Concernant l'explication du cycle journée/nuit, on observe un type de réponse que l'on pourrait qualifier de conception « mixte » car il allie modèle scientifique et conception alternative. Il s'agit de la réponse portant à la fois sur la rotation de la Terre sur elle-même et sur la révolution de la Terre autour du Soleil qui concerne 32 % de notre échantillon. Atwood et Atwood (1995), ne font pas état de cette conception couplée. Cependant on la retrouve dans des travaux concernant l'analyse des conceptions d'élèves d'école élémentaire. En effet, Vosniadou et Brewer, 1994 relèvent une série de conceptions alternatives chez des enfants entre 6 et 11 ans dont celle qui combine le mouvement de rotation de la Terre sur elle-même avec le mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil.

La catégorie « conceptions mixtes » apparaît également au niveau des réponses concernant l'explication du phénomène des saisons sur Terre puisque 18 % des réponses portent à la fois sur l'idée de distance (principale conception alternative) et sur celle d'inclinaison de l'axe de rotation (référence attendue). Cette catégorie mixte n'est pas non plus mentionnée dans les travaux de Atwood et Atwood (1996). On peut penser qu'elle témoigne d'une sédimentation des connaissances : à une conception ancienne et résistante s'ajoutent (se combinent) des connaissances scientifiques plus récentes sans que celles-ci ne parviennent à remplacer totalement les précédentes.

3) La confirmation des résultats déjà obtenus dans d'autres pays

Les principales conceptions que nous mettons en évidence dans les résultats sont qualitativement identiques à celles observées dans les études menées précédemment. Les différences quantitatives peuvent s'interpréter par la différence des méthodologies et par les différences dans la formation et la culture des publics interrogés. De plus, nous ne recueillons pas de conception liée à la rotation de la Terre sur elle-même concernant les phases de la Lune. Cependant, il est important de noter que qualitativement, notre travail confirme les résultats existants.

4) Des termes scientifiques sans signifié

A partir d'une analyse qualitative des réponses fournies, nous avons remarqué beaucoup d'approximations, d'imprécisions dans les explications produites.

On observe tout d'abord :

- L'utilisation d'un vocabulaire non scientifique et imagé: «*deux astres se croisent*», «*la chaleur touche*», «*la Terre vit un moment d'obscurité*», «*le soleil touche la Terre à l'équateur*», «*c'est du feu*», «*porte bonheur*», «*planète morte qui tombe*», «*corps qui se promène*».
- L'utilisation d'un vocabulaire scientifique:
 1. inadapté (c'est le cas par exemple des termes «*apesanteur, trou noir, magnétisme, fission, répulsion*» qui n'ont pas de raisons d'être mentionnés).
 2. Approximatif (par exemple «*matière en fusion, combustion*» à propos des étoiles).
 3. Qui tient lieu de réponse sans explicitation supplémentaire (comme par exemple les termes «*solstices, équinoxe, attraction, gravité...*»)
- Des tentatives de justification qui font référence à des «*lois de l'optique*» sans jamais les expliciter.

Venturini et Albe (2002) avaient utilisé dans un cas pratiquement similaire l'expression de «sac à mots» (scientifiques) «*dans lequel on puise pour fournir une combinaison de termes qui a une couleur scientifique*» sans en avoir le sens. Une phrase illustre cette situation et montre de plus avec quel type de conceptions sur l'évolution des astres et sur la lumière certains professeurs stagiaires arrivent en situation d'enseigner l'astronomie: «*Une planète est un morceau de soleil refroidi. Une lumière est un astre. Et le Soleil est un astre. Une planète est donc la transformation d'un ancien morceau d'astre.*»

5) Un problème particulier : horizontal et vertical

Un résultat nouveau nous a surpris : nous avons en effet observé que certains de ces futurs professeurs n'ont pas réussi à construire le concept d'horizon et donc n'ont peut être pas totalement intégré le concept de Terre sphérique. D'autre part, certains stagiaires restent au niveau de leur expérience sensible en ce qui concerne les verticales. Ils représentent les verticales sur Terre comme étant des droites orientées du « haut vers le bas ». Ainsi, même s'ils ont construit la notion de Terre sphérique, celle-ci semble décorrelée de la notion de gravité ou associée à une idée partielle de gravité. Le pourcentage d'individus dans cette situation est toutefois relativement faible (18 % des réponses soit 9 individus). Remarquons cependant que 20 % d'entre eux (10 individus) répondent qu'ils ne savent pas ou ne fournissent pas de réponses et 8 % (4 individus) dessinent des verticales ne se rapportant pas au centre de la Terre. Il y a donc dans notre échantillon près d'un individu sur deux qui a des difficultés avec le modèle sphérique de la Terre.

Enfin, la non corrélation entre horizon et verticale peut aussi paraître surprenante. Pour beaucoup de futurs professeurs, seul un des deux items est réussi. Ceci implique, en reprenant la représentation fonctionnelle de la conception de Giordan et DeVecchi, que leur réseau sémantique n'est pas s'organisé de façon à lier les deux concepts entre eux. Il est probable que l'enseignement de l'un et de l'autre n'ayant pas lieu au même moment, les professeurs stagiaires aient construit de manière indépendante les deux notions et ne réussissent pas seuls à faire le lien.

7. Prolongement à la recherche : exploitation pédagogique

Outre la mise en évidence de différents types de conceptions, les données quantitatives obtenues témoignent de la nécessité de s'attacher à la formation des futurs professeurs des écoles au sujet de l'astronomie même si Dickinson, Flick et Lerderman (1998) ont montré que les enseignants changeaient leurs conceptions grâce à leurs élèves. Selon eux en effet, ceux qui savent déjà approfondissent leurs connaissances, ceux qui ont de mauvaises conceptions s'orientent vers les modèles scientifiques, à condition d'avoir une démarche d'enseignement basée sur la prise en compte des conceptions initiales des enfants.

Mais le pourcentage majoritaire de réponses non scientifiques (en dehors des questions Q1 et Q6) souligne une insuffisance réelle de connaissances conceptualisées en astronomie de la part de ces futurs professeurs et questionnent deux points :

- Quelle formation à donner pour éviter que les stagiaires arrivent en classe avec des conceptions quasiment identiques à celles de leurs élèves ?
- Quel enseignement des modèles scientifiques peut-on donner à partir de conceptions non scientifiques ?

Plusieurs pistes de formation (pour les futurs enseignants) peuvent être proposées. Dans chacun des cas, la prise en compte des conceptions alternatives des futurs enseignants, avec pour objectif de faire évoluer ces conceptions en prenant appui sur elles, doit être considérée afin d'éviter les constructions de conceptions « mixtes » et tenter de réfuter ces conceptions.

Par exemple, il est possible de partir d'une situation problématisée de travail autour :

- de l'objet « calendrier » où une des tâches concernant les saisons pourrait être de tracer un diagramme de variation de la durée d'éclairement au cours de l'année, et de tenter d'expliquer l'évolution constatée au cours du temps ;
- de travail à partir de productions d'élèves de cycle 3 (grades 3 à 5) que les enseignants stagiaires auraient à évaluer, le conflit socio-cognitif naissant alors de la comparaison d'évaluations basées sur de références scientifiques différentes.

Il s'agit ensuite de faire expliciter, à l'issue de cette situation, les différentes hypothèses puis de faire imaginer un dispositif de vérification (expérimental, modélisation ou raisonnement selon les cas).

Ces pistes de formation, basées sur le test de plusieurs hypothèses correspondant aux diverses conceptions, et sur les interactions au sein des groupes, se situent dans un cadre socioconstructiviste.

Par exemple, à l'issue de la situation problématisée, concernant les saisons, les futurs enseignants pourront tester en groupes trois hypothèses :

- a) la distance : cette hypothèse peut être facilement invalidée par un raisonnement impliquant l'hémisphère sud.

b) La variation d'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre : cette hypothèse peut être invalidée par la prise en compte de l'étoile polaire (en ayant conscience de ses caractéristiques et en particulier de sa distance à la Terre).

c) L'inclinaison constante de l'axe de rotation de la Terre. Cette hypothèse peut être validée par diverses modélisations classiques à l'aide d'une lampe et d'un globe terrestre.

Concernant les phases de la Lune, il peut être proposé aussi de tester dans les mêmes conditions deux hypothèses :

a) L'ombre de la Terre sur la Lune : cette hypothèse peut être invalidée par une modélisation avec lampe et balle puisque les phases « quartier » ne pourront jamais être produites ainsi. En effet, l'ombre portée par une sphère ne peut être que circulaire.

b) La révolution de la Lune autour de la Terre : cette hypothèse peut être validée par une modélisation avec lampe suffisamment puissante (soleil), balle (lune) tenue par un élève en mouvement et observateur (terrestre immobile). Il est ainsi possible de créer artificiellement le cycle lunaire. Il est intéressant de faire tourner « l'élève Lune » (tenant la balle Lune) autour d'un groupe d'élèves « observateurs-terrestres » immobiles et au centre du système pour une bonne visualisation des différentes phases et ainsi de retrouver le sens de révolution de la Lune autour de la Terre.

Concernant les concepts d'horizontal et de vertical sur Terre, on peut tester deux hypothèses :

a) les verticales sur Terre sont toutes parallèles entre elles ;

b) les verticales sur Terre sont toutes dirigées vers le centre de la Terre et sont concourantes.

La première pourra être invalidée et la seconde confirmée à partir d'une réflexion sur la chute d'un corps sans vitesse initiale (un caillou lâché) en différents endroits autour de la Terre et de la schématisation correspondante. Celles-ci pourraient permettre à la fois de prendre conscience de la relativité de la notion de « haut/bas » et de préciser la direction que prend un corps en chute libre. Il reste ensuite à l'assimiler à celle du fil à plomb qui détermine la verticale locale.

La prise en compte de la relativité de la direction de la verticale pour un observateur terrestre permet de plus d'introduire la notion de plan horizontal local et de le définir en différents points du globe.

Pour renforcer sa perception, il peut être aussi intéressant de travailler à partir de polyèdres réguliers en passant d'un octaèdre à un dodécaèdre et en approchant petit à petit en deux ou trois étapes supplémentaires, la sphère. Ceci permet de conforter les liens géométriques entre verticale et plan horizontal local, et de travailler en même temps sur la délicate question « comment la Terre peut-elle être ronde et plate en même temps ? »

On peut à partir des mêmes outils étendre la réflexion sur la notion d'horizon visuel et proposer de discuter de différents types d'horizons visuels :

a) horizon parabolique

b) horizon conique

c) horizon défini par la tangente au point d'observation

Si l'expérience en pensée ne suffit pas, il est toujours possible de placer l'œil au raz d'une des faces de l'un des polyèdres puis tangentiellement à la sphère et de repérer l'espace perçu dans la pièce pour préciser la forme de l'horizon visuel.

Ces exemples montrent le souci de travailler sur la référence scientifique en s'appuyant de façon constante sur les conceptions alternatives de manière à les invalider et à ce que les enseignants construisent de manière stable le modèle pertinent.

8. Conclusion

Cette étude a permis de relever les conceptions en matière d'astronomie de professeurs d'école stagiaires en nous fondant sur des questions relatives à un niveau de connaissances disciplinaire exigé des élèves de cycle 3 (grades 3 à 5). Le questionnaire a été proposé au milieu de leur année de formation. Les 50 professeurs ayant répondu au questionnaire témoignent de conceptions souvent « mixtes » c'est-à-dire de conceptions relevant parfois de compromis entre connaissances scientifiques et perceptions initiales. Nous mettons en évidence un écart parfois important entre les modèles à enseigner et les conceptions des futurs enseignants. Le résultat le plus frappant est la non construction du concept d'horizon visuel pour la moitié des stagiaires interrogés. On constate que pour des mouvements journaliers aussi simples que l'alternance des jours et des nuits, les changements saisonniers ou les phases de la Lune, ces professeurs ont un taux de réponses scientifiques très faible et beaucoup d'entre eux mobilisent des concepts non adéquats ou superflus pour expliquer les phénomènes. Dans un contexte de volonté de rénovation de l'enseignement des sciences il serait important de prendre en compte de manière plus profonde la formation des futurs professeurs d'école en astronomie.

Par ailleurs, cette étude constitue une amorce dans un projet de recherche plus vaste. D'une part, nous allons mettre à l'épreuve les résultats obtenus aux questions Q2 à Q6 en interrogeant au cours d'un entretien un nombre réduit de nouveaux professeurs stagiaires sur une première série de situations. D'autre part, nous allons analyser l'activité cognitive de ces mêmes personnes au cours de la formation telle que nous l'avons envisagée, réalisée pour l'occasion de manière individuelle. Enfin nous procéderons à de nouveaux entretiens quelques semaines après pour évaluer les évolutions cognitives à moyen terme. Nous espérons ainsi pouvoir examiner les relations entre les conceptions de départ, les raisonnements développés dans une situation de formation et les conceptions ultérieures.

Bibliographie

ATWOOD R.K. & ATWOOD V.A. (1995). Preservice elementary teachers' conceptions of what causes Night and Day. *School Science and Mathematics*, vol. 95, pp. 290-294.

ATWOOD R.K. & ATWOOD V.A. (1996). Preservice elementary teachers' conceptions of the causes of seasons. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 33, pp. 553-563.

CALLISON P.L. & WRIGHT E.L. (1993). The effect of teaching strategies using models on preservice elementary teachers' conceptions about earth-sun-moon relationships. *Paper presented at the annual meeting of the National Association for research in Science Teaching*, Atlanta, G.A.

CLEMENT P. (1994). Représentations, conceptions, connaissances. In Giordan A., Girault Y. & Clément P. *Conceptions et connaissances*, pp. 15-45, Bernes, Peter Lang.

DICKINSON V.L., FLICK L.B. & LEDERMAN N.G. (1998). Student and teacher conceptions about astronomy : influences on changes in their ideas. *Proceeding. of the 1998 Annual International Conference of the Assoc. for the Education of Teachers in Science*, pp. 120-146, P. Rubba and J. Rye, eds., Pensacola.

- GIORDAN A. & de VECCHI G. (1994). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Lausanne, Delachaux & Niestlé.
- KIKAS E. (2004). Teacher's Conceptions and Misconceptions Concerning Three Natural Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, vol.41, n°5, pp.432-448.
- MAURINES L. (2002). Analyse des difficultés des étudiants à propos des concepts de phase et de surface d'ode, du principe de Huygens. *Didaskalia*, n°22, pp. 9-39.
- MENESR (2002). Document d'application des Programmes, Sciences et Technologie. Paris : CNDP.
- MERLE H. (2002). Histoire des sciences et sphéricité de la Terre : compte rendu d'innovation. *Didaskalia*, n°20, pp. 115-136.
- MERLE H. & MUNIER V. (2003). Comment conceptualiser la hauteur du Soleil en tant qu'angle au cycle 3 ? *Aster*, n°36, pp. 39-68.
- NUSSBAUM J. (1979). Children's conceptions of the Earth as a cosmic body : A cross age study. *Science Education*, vol. 63, pp. 83-93.
- PARKER J. & HEYWOOD D. (1998). The earth and beyond : developing primary teachers' understanding of basic astronomical events. *International Journal of Science Education*, vol. 20, 5, pp. 503-520.
- SERE M.G. (1982). A study of some framework used by pupils aged 11 to 13 years in interpretation of air pressure. *European Journal of Science Education*, vol. 4, 3.
- SHOON K.J. (1995). The origin and extent of alternative conceptions in the earth and space sciences : A survey of pre-service elementary teachers. *Journal of Elementary Science Education*, vol. 7, pp. 27-46.
- TIBERGHIE A. & BARBOUX M. (1983). Difficulté de l'acquisition de la notion de température par les élèves de 6^{ème}. *Actes des 5^e Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*, Paris.
- TRUNDLE K.C, ATWOOD R.K & CHRISTOPHER J.E. (2002). Preservice Elementary Teacher's conceptions of Moon Phases before and after Instruction. *Journal of research in science teaching*, vol. 39, n° 7, pp. 633-658.
- VENTURINI P. & ALBE V. (2002). Interprétation des similitudes et différences dans la maîtrise conceptuelle d'étudiants en électromagnétisme à partir de leur(s) rapport(s) au(x) savoir(s). *Aster*, 35, 165-188.
- VOSNIADOU S. & BREWER W.F. (1992). Mental models of the Earth : A study of Conceptual Change in Childhood. *Cognitive Psychology*, vol.24, pp. 535-585.
- VOSNIADOU S. & BREWER W.F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, vol.18, pp. 123-183.
- VOSNIADOU S., SKOPELITI I. & IKOSPENTAKI K. (2004). Modes of Knowing and Ways of Reasoning in Elementary Astronomy. *Cognitive Development*, 19, pp. 203-222.