

ARTICLE DE FOND

Le développement des connaissances en astronomie

Valérie Frède et Sören Frappart, ECCD, Université Toulouse - Jean Jaurès

Les auteurs nous présentent les principaux résultats de recherche relatifs au développement des connaissances en astronomie chez l'enfant dans le cadre d'un débat théorique et méthodologique de la littérature.

Connaissances "cohérentes" ou "fragmentées" ?

La nature des connaissances des enfants à propos du monde physique a été largement étudiée (Tiberghien *et al.*, 2002). Les études ont mis en évidence le fait que des connaissances alternatives aux savoirs scientifiques sont répandues et plus ou moins persistantes au cours de l'ontogenèse. L'identification de ces connaissances, en vue de comprendre les processus de développement conceptuels, a été effectuée dans divers domaines de la physique. Il en ressort que les enfants ne sont pas sans *a priori* au moment où ils sont confrontés aux théories scientifiques. Ils possèdent déjà des connaissances initiales, formées à partir de leurs observations spontanées du monde physique et des informations issues du contexte culturel auquel ils prennent part. Ces connaissances initiales peuvent être décrites *via* deux cadres différents : la théorie des connaissances fragmentées ou la théorie des modèles mentaux.

La *théorie des connaissances fragmentées*, développée notamment par Andrea di Sessa à la fin des années 80, est basée sur l'idée selon laquelle les connaissances des enfants consistent en une collection de fragments relativement indépendants qui proviennent d'interprétations, ou d'abstractions minimales de la réalité. Au cours du temps, les enfants acquièrent et construisent divers fragments de connaissances simples qui ne sont pas nécessairement reliés entre eux. De ce point de vue, les processus d'acquisition et de construction des connaissances consistent en une accumulation graduelle et une (ré)organisation de ces fragments sous la forme de structures de plus en plus complexes, jusqu'à ce qu'elles coïncident avec les conceptions scientifiques. Dans ce cadre, les réponses des enfants, lorsqu'on les interroge à propos de concepts scientifiques, sont plurielles et leurs connaissances sont conçues comme fondamentalement « fragmentées ». Cette fragmentation est mise en évidence quand des questions similaires, du point de vue du physicien, sont posées à un enfant

et que celui-ci fournit des réponses qualitativement différentes.

La *théorie des modèles mentaux* est basée sur l'idée selon laquelle des présupposés, c'est-à-dire des connaissances initiales précoces, contraignent le développement conceptuel au sein de domaines spécifiques. Ces présupposés, supposés innés et universels, orientent le processus de développement ultérieur qui évolue du fait de l'acquisition de connaissances culturelles, notamment scientifiques. Dans ce cadre, l'apparente pluralité des réponses est interprétée comme reflétant une organisation conceptuelle sous-jacente erronée mais structurée de manière cohérente, appelée modèle mental. Les modèles mentaux sont vus comme des structures dynamiques stables qui sont créées pour répondre à un problème spécifique (Philippe Johnson-Laird, 1983). Dans ce cadre, le développement conceptuel des enfants est conçu comme fondamentalement unitaire et leurs connaissances sont conçues comme cohérentes.

Développement conceptuel en astronomie

Les concepts en astronomie sont difficiles à acquérir dans la mesure où l'explication scientifique diffère de la perception quotidienne de l'enfant. En ce sens, ils sont contre-intuitifs. Dans l'histoire de l'évolution des connaissances en astronomie, plusieurs "révolutions scientifiques" ont été nécessaires afin de dépasser les conceptions naïves, en particulier au sujet de la forme de la Terre, de sa place dans l'Univers et de ses mouvements. À l'échelle du développement de l'enfant, de nombreuses recherches ont été menées pour caractériser les processus d'acquisition et de construction des connaissances en astronomie et leurs étapes.

L'exemple de la forme de la Terre Modèles mentaux

En 1992, Stella Vosniadou et William Brewer ont mené une étude sur les connaissances relatives à la

Terre chez des enfants américains d'école élémentaire. Les auteurs ont conclu que les enfants développent des modèles mentaux cohérents qui sont potentiellement différents du modèle scientifique. L'identification de ces modèles a été réalisée grâce à l'utilisation de questions ouvertes et de tâches de production graphiques. Les réponses et les dessins de l'enfant sont interprétés comme rendant compte de sa compréhension de la Terre, c'est-à-dire de son modèle mental. Ce travail a permis d'identifier (1) des modèles mentaux dits "initiaux" (Terre plate, rectangulaire ou circulaire), (2) plusieurs modèles "synthétiques" (Terre creuse, Terre aplatie, double Terre) reflétant un effort de conciliation entre les connaissances intuitives et les savoirs scientifiques, et (3) le modèle scientifique (Terre sphérique, figure 1). La découverte d'un nombre limité de modèles mentaux cohérents de la Terre permet d'expliquer, selon les auteurs, les incohérences apparentes dans les réponses des enfants et revêt un caractère universel.

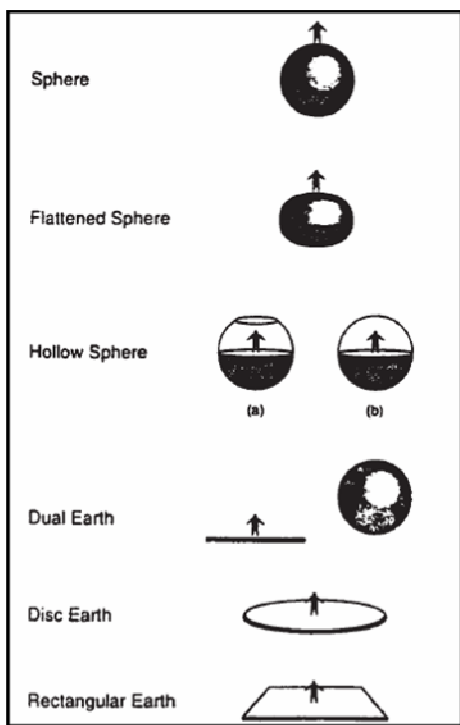


Fig.1. Modèle développemental de la conceptualisation de la forme de la Terre (d'après Stella Vosniadou & William Brewer, 1992, p.549)

Connaissances fragmentées

Récemment, une série d'études a discuté le cadre théorique précédent à partir d'un changement de méthodologie. En effet, l'utilisation de la méthodologie précédemment présentée auprès d'adultes montre que ces derniers produisent des dessins assez proches de ceux des enfants bien qu'ayant une compréhension scientifique de la

forme de la Terre (c.f., figure 2.). Gavin Nobes et Georgia Panagiotaki (2007) concluent que la production d'une représentation graphique de la forme de la Terre génère des biais du fait du passage de 3 dimensions (i.e., sphéricité de la Terre) à 2 dimensions (i.e., production graphique) et que la formulation des questions est ambiguë.

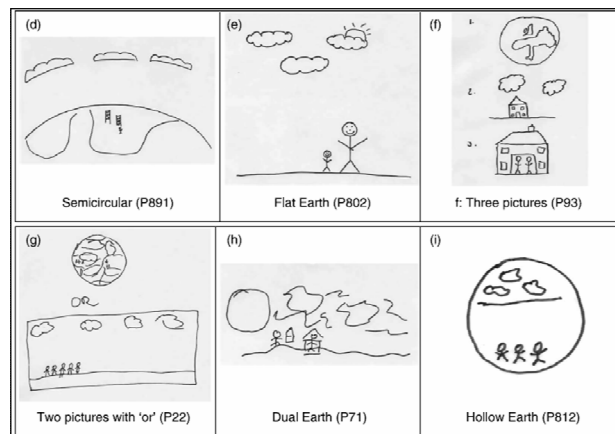


Fig.2. Productions graphiques de la forme de la Terre par des adultes anglais. (d'après Gavin Nobes & Georgia Panagiotaki, 2007, p. 652)

Afin de tester une nouvelle méthodologie, Gavin Nobes et collaborateurs ont conduit en 2003 une étude à propos de la compréhension de la Terre en interviewant des enfants britanniques. Ils ont construit un questionnaire fermé, à partir du questionnaire ouvert de Stella Vosniadou et William Brewer (1992) et un jeu de modèles de la Terre en trois dimensions (3D). Leurs résultats suggèrent que les connaissances des enfants sont fragmentées et aucun modèle mental n'est identifié. Michael Siegal et ses collaborateurs ont étudié en 2004 les connaissances d'enfants âgés de 4 à 9 ans à propos de la Terre en utilisant la même méthodologie. Là encore, des inconsistances sont apparues dans les réponses des enfants mais aucun modèle mental initial ou synthétique n'a pu être identifié. De plus, aucune preuve n'est trouvée en faveur de l'hypothèse selon laquelle des présupposés issus du domaine de la physique contraignent le processus d'acquisition de connaissances dans le cas de la Terre.

Ainsi, les diverses critiques quant aux conclusions de Stella Vosniadou et William Brewer sont imputées essentiellement à leur méthodologie, c'est-à-dire à l'utilisation de dessins (modélisation en 2D) et de questions ouvertes identiques répétées.

Considérations culturelles

Vosniadou et ses collègues font l'hypothèse que les modèles mentaux en cosmologie sont influencés par

deux sortes de contraintes. Le premier ordre de contraintes est supposé être inné et universel, ce sont les présupposés : (1) les objets physiques tombent s'ils ne sont pas soutenus (la Terre initialement conçue comme un objet physique, répondrait à cette contrainte, c'est pourquoi les êtres vivants habitent nécessairement au-dessus de la Terre), (2) nous percevons quotidiennement que la Terre est plate, nous la concevons donc initialement comme étant plate. Les contraintes de second ordre sont supposées être dépendantes du contexte culturel. Ce deuxième ordre de contraintes dépend de cosmologies locales et génère des différences quant aux spécificités des modèles mentaux.

Alla Samarapungavan et ses collaborateurs ont étudié en 1996 les réponses et les productions d'enfants indiens qui expliquent que la Terre repose sur de l'eau. En effet, dans la cosmologie indienne, l'Univers ressemble à un œuf, la Terre ressemble à un disque et "flotte" sur un océan. Diakidoy *et al.* (1997) ont répliqué l'étude avec des enfants amérindiens (Dakota du Nord et du Sud aux États-Unis), pour lesquels la culture traditionnelle est essentiellement animiste. Le modèle de la Terre creuse y apparaît dominant ce qui concorde avec la mythologie. Enfin à Samoa, la recherche conduite par William Brewer et ses collaborateurs (1987) a montré que le principal modèle initial de la Terre était celui d'un anneau. La forme « en anneau » a pu être associée à l'organisation sociale et physique de l'espace samoan (*c.f.*, figure 3.).



Fig.3. Modèle samoan de la Terre en anneau. (d'après Stella Vosniadou, 1994, p.425).

Lors de leur étude en 2003, Gavin Nobes et ses collaborateurs ont également réalisé une comparaison entre les performances d'enfants britanniques et asiatiques (originaires de l'Ouest de l'Inde, mais vivant à Londres) à propos de leur compréhension de la forme de la Terre. Les auteurs supposaient que les enfants originaires de l'Inde auraient de meilleures connaissances en astronomie du fait d'une sensibilisation plus forte à la présence

d'habitants de « l'autre côté » de la Terre. Néanmoins, aucune différence n'a été observée entre ces enfants évoluant dans un contexte culturel commun. Michael Siegal et ses collaborateurs en 2004 ont quant à eux comparé les connaissances d'enfants australiens et anglais évoluant dans des contextes culturels relativement similaires (*i.e.*, société occidentale) mais ayant un curriculum scolaire différent. Des enseignements en astronomie sont proposés dès l'école maternelle en Australie alors qu'ils ne sont introduits qu'en cours élémentaire de deuxième année en Angleterre. Il s'avère que les Australiens ont plus de connaissances scientifiques que leur homologues anglais. Toujours dans une perspective comparative, Valérie Frède et ses collaborateurs ont mis en évidence que des enfants qui évoluent dans un contexte culturel où le mode narratif est similaire à celui adopté à l'école (explications majoritairement mécanistes) ont plus de facilités à développer une compréhension scientifique en astronomie comparativement à des enfants évoluant dans un contexte culturel où le mode narratif diffère de celui proposé à l'école (explications majoritairement animistes *versus* mécanistes à l'école).

Ces études, si elles diffèrent quant au rôle accordé au contexte culturel et à l'influence des présupposés dans le développement cognitif, attestent de l'importance de prendre en compte les spécificités culturelles et scolaires dans la compréhension des processus de développement conceptuel en astronomie. En effet, l'acquisition de concepts en astronomie est un phénomène culturellement et historiquement situé.

Connaissance où es-tu ?

Les études réalisées sur le développement conceptuel en astronomie ont également permis de s'interroger sur le rôle des objets créés par l'homme pour penser. Les deux cadres théoriques jusqu'ici présentés convergent en effet quant à leur manière de concevoir la localisation des connaissances : elles sont internes, dans la « tête » des enfants. Cependant, nombreux sont ceux qui supposent qu'elles sont indissociables des contextes matériels et humains dans lesquels elles émergent.

En 2001, Jan Schoultz et ses collaborateurs font ainsi remarquer que le contexte d'entretien proposé dans les précédentes études est pauvre et parfois incongru. Notamment lorsqu'il est demandé à l'enfant d'indiquer où se situe l'Angleterre et l'Australie sur son propre dessin ou sur une boule de polystyrène peinte en bleu. De ce fait, ces auteurs ont réalisé des entretiens en présence d'un artefact considéré comme

pertinent au regard de la thématique abordée. Cet objet est le globe terrestre. Ainsi, ils ont pu montrer que dès 7 ans les enfants expriment sans ambiguïté la rotondité de la Terre et utilisent la notion de gravité pour expliquer que l'on peut habiter « au-dessus » mais aussi « au-dessous » de la Terre. Ainsi, dans un contexte de discussion approprié, les enfants suédois expriment des connaissances scientifiques beaucoup plus précocement que ceux des études précédentes. La question se pose alors de savoir si l'aide apportée par un artefact réside « dans » l'objet ou dépend plus largement de la connaissance qu'en a l'enfant. En 2009, Bertrand Troadec et ses collaborateurs ont ainsi montré que le globe terrestre ne permet pas à l'enfant d'exprimer des connaissances scientifiques du fait de sa seule présence lors de l'entretien. Il ne peut jouer le rôle de mémoire externe que si l'enfant en a construit une signification, notamment suite aux enseignements formels. Ainsi les auteurs ont montré qu'au Maroc, où le globe est moins présent qu'en Suède, c'est vers 10 ans et demi que les enfants expriment, en sa présence, la rotondité de la Terre.

Ces derniers résultats suggèrent la nécessité de prendre en considération l'interdépendance entre le sujet et son environnement dans l'étude du développement conceptuel en astronomie.

Conclusion et perspectives

L'étude du développement conceptuel en astronomie permet de s'interroger sur les processus d'acquisition et de construction de connaissances lorsque les phénomènes concernés ne sont que partiellement observables (ou contre intuitifs), et largement dépendants des explications culturelles. Les travaux ici présentés soulignent le rôle clef des conceptions initiales, du contexte culturel, des artefacts et des enseignements dans l'acquisition et la construction de connaissances en astronomie chez l'enfant.

Du point de vue pédagogique, il semble que la nature contre intuitive des connaissances en astronomie encourage un enseignement visant à répondre au questionnement de l'enfant. D'ailleurs, plusieurs études ont évalué les changements conceptuels consécutifs à des enseignements en astronomie basés sur la prise en compte explicite et la réfutation des connaissances intuitives des apprenants en comparaison avec des méthodes plus classiques basées sur la mémorisation. Un gain systématique pour ces méthodes « non traditionnelles » a été reporté, par exemple, lorsque les explications fournies visent à maximiser la plausibilité des conceptions scientifiques (Irene Diakidoy et Panayiota Kendeou en 2001), lorsque l'enseignement se base sur les

expériences et perceptions propres des enfants (Eve Kikas en 2000) ou lors de l'utilisation d'activités de réfutation d'hypothèses (Valérie Frède en 2008). De plus, Hayes et al. (2003) ont montré qu'un enseignement qui questionnait plusieurs aspects des connaissances intuitives quant à la forme de la Terre produisait davantage de gains conceptuels qu'un enseignement remettant en cause chacune des connaissances indépendamment.

Bibliographie

- Brewer, W.F., Herdrich, D.J., & Vosniadou, S. (1987). *A cross-cultural study of children's development of cosmological models: Samoan and American data*. Paper presented at the Third International Conference on Thinking, Honolulu.
- Diakidoy, I.A., & Kendeou, P. (2001). Facilitating conceptual change in astronomy: a comparison of the effectiveness of two instructional approaches. *Learning and Instruction, 11*, 1-20.
- Diakidoy, I.-A., Vosniadou, S., & Hawks, J.D. (1997). Conceptual change in astronomy: models of the Earth and of the day/night cycle in American-Indian children. *European Journal of Psychology of Education, 12*(2), 159-184.
- diSessa, A.A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman & P.B. Pufall (Eds.), *Constructivism in the computer age* (pp.49-70). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Frède, V. (2008). Teaching astronomy for pre-service elementary teachers: A comparison of methods. *Advances in Space Research, 42*(11), 1819-1830.
- Frède, V., Frappart, S. & Troadec, B. (soumis). Acquisition de connaissances en astronomie auprès d'enfants d'école élémentaire vivant dans un contexte culturel animiste versus mécaniste.
- Hayes, B., Goodhew, A., Hei, E., Gillan, J. (2003). The role of diverse instruction in conceptual change. *Journal of Experimental Child Psychology 86*, 253-276.
- Johnson-Laird, P.N. (1993). La théorie des modèles mentaux. In C. Vogel (Ed.), *Les modèles mentaux: approche cognitive des représentations* (pp. 1-22). Paris : Masson.
- Kikas, E. (2000). The influence of teaching on students' explanations and illustrations of the day/night cycle and seasonal changes. *European Journal of Psychology of Education, 15*(3), 281-295.
- Nobes, G., Moore, D.G., Martin, A.E., Clifford, B.R., Butterworth, G., Panagiotaki, G., & Siegal, M. (2003). Children's understanding of the Earth in a multicultural community: mental models or fragments of knowledge? *Developmental Science, 6*(1), 72-85.
- Nobes, G. & Panagiotaki, G. (2007). Adults' representations of the Earth: Implications for children's acquisition of scientific concepts. *British Journal of Psychology, 98*, 645-665.
- Samarapungavan, A., Vosniadou, S., & Brewer, W.F. (1996). Mental models of the Earth, Sun, and Moon: Indian children's cosmologies. *Cognitive Development, 11*, 491-521.
- Schultz, J., Säljö, R., & Wyndham, J. (2001). Heavenly talk: Discourse, artifacts and children's understanding of elementary astronomy. *Human Development, 44*, 103-118.
- Siegal, M., Butterworth, G., & Newcombe, P.A. (2004). Culture and children's cosmology. *Developmental Science, 7*(3), 308-324.
- Tiberghien, A., Buty, C., Cordier, F., Cornuéjols, A., Veillard, L., Laborde, C., Bouchard, R., Coquidé, M., & Rogalski, J. (2002). *Des connaissances naïves au savoir scientifique*, <http://edutice.archives-ouvertes.fr/docs/00/00/17/89/PDF/Tiberghien.pdf> Programme École et Sciences cognitives [2007, Octobre].
- Troadec, B., Zarhbouch, B., & Frède, V. (2009). Cultural artifact and children's understanding of the shape of the Earth: The case of Moroccan children. *European Journal of Psychology of Education, 24*(4), 485-495.
- Vosniadou, S. (1994). Universal and culture-specific properties of children's artifact and children's understanding of the shape of the Earth: Mapping the mind : domain specificity in culture and cognition (412-430). New York : Cambridge University Press.
- Vosniadou, S., & Brewer, W.F. (1992). Mental models of the Earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology, 24*, 535-585. ■