L'ENSEIGNEMENT DE L'ASTRONOMIE

Hélène Merle
Yves Girault

un état des lieux de la recherche en didactique de l'astronomie

La première partie de ce numéro d'*Aster* regroupe des contributions de recherche en didactique de l'astronomie, dont l'enseignement a trouvé sa place de l'école élémentaire au lycée, puis à l'université. Il nous a semblé intéressant d'y associer l'analyse de partenariats qui peuvent s'exercer avec des planétariums et/ou des structures scientifiques. Malheureusement, si de nombreux partenaires (institutionnels, animateurs et enseignants) soulignent une grande capacité d'innovation de ces structures, ils regrettent "*des liens relativement aléatoires avec le milieu de la recherche pédagogique qui constituent un frein à la dynamique de recherche pédagogique*" (1). C'est la raison pour laquelle il existe trop peu de réels travaux d'évaluation sur l'impact de ces activités à destination des milieux scolaires, et trop d'écrits restent descriptifs (2). On constate enfin une absence de réflexion générale sur "*le positionnement de ces acteurs de la culture scientifique et technique, ce qui permettrait à chacun de mieux se situer dans un contexte plus large*" (3).

associé à une rubrique "actions" qui reflète les innovations en cours

Compte tenu de ces carences en terme de recherche d'une part, et d'autre part de la richesse des actions de terrain innovantes prônées par des structures qui travaillent de façon privilégiée avec le public scolaire, le comité de rédaction de la revue ASTER a souhaité créer, à titre exceptionnel pour ce numéro thématique, une rubrique "actions". Celle-ci regroupe des articles qui, sans répondre aux critères habituels d'une revue de recherche, ont le mérite de refléter les innovations en cours.

L'astronomie tient une place particulière dans l'histoire des sciences : reconnue comme une des sciences les plus anciennes, elle a subi une rupture épistémologique fondamentale avec la "révolution copernicienne" qui enleva à la Terre sa place centrale dans l'univers, et elle connaît actuellement, grâce à la spectroscopie et aux recherches spatiales, des développements considérables dans le domaine de l'astrophysique.

---

(1) Extrait du compte rendu du Congrès des quarante ans de l'ANSTJ : "2010, le futur de nos projets", synthèse du troisième atelier.

(2) Comme le montre l'étude suivante, toujours d'actualité : Girault Y., Sirard P.-A., Bigeault M., Amélie Rivest A., Monsché E. La science en spectacle au Planétarium : pertinence et limites. In A. Giordan, J.-L. Martinand, D. Raichvarg. *Sciences et techniques en spectacles. Actes JIES, 15*, 363-370, 1993.

(3) Extrait du compte rendu du Congrès des quarante ans de l'ANSTJ : "2010, le futur de nos projets", synthèse du premier atelier.

Ces deux facettes de l'astronomie, l'astronomie de position qui a connu son apogée avec Newton et l'astrophysique actuelle, semblent si éloignées l'une de l'autre que l'on peut se demander ce qui légitime une dénomination commune. Certes l'objet d'étude est le même, comme le souligne la définition du Petit Larousse : *"science qui étudie la position, les mouvements, la structure et l'évolution des corps célestes"* (4).

l'astronomie, science de l'observation et de la modélisation par excellence...

Mais surtout, dans l'étude des cieux, l'unique message que nous envoient les astres est un faible faisceau de lumière, que les hommes n'ont eu de cesse de déchiffrer : lumière visible tout d'abord, exploitée à l'œil nu puis à travers lunettes et télescopes, puis spectres, d'abord dans le domaine visible puis dans tous les domaines de longueur d'onde, exploitables en particulier grâce au développement des techniques spatiales qui permettent d'échapper au filtre de l'atmosphère terrestre.

Sous un apparent éclatement, le messager essentiel de l'information en provenance des astres est donc le même, et fait de l'astronomie la science de l'observation par excellence : toute action sur les phénomènes étudiés étant exclue, les astronomes comme les astrophysiciens se contentent presque exclusivement *"d'observer, d'échafauder des modèles, d'en déduire des effets observables et de retourner les chercher dans le ciel"* (5) On constate ainsi une réelle convergence de tous les volets de l'astronomie à la fois sur l'objet d'étude et la méthodologie employée. Cette méthodologie basée sur l'observation et la modélisation se retrouve, comme nous le verrons, tant au niveau de l'enseignement que dans des démarches de vulgarisation.

...qui suscite la motivation de tous les publics

L'intérêt manifesté par les élèves de tous âges pour l'astronomie n'est sans doute pas étranger au choix de ce thème pour un numéro d'Aster. Plus que toute autre, l'astronomie est une science qui offre à l'imagination les domaines les plus vastes dans le temps et l'espace, tout en proposant des spectacles d'une grande beauté. L'intérêt des jeunes comme du public adulte se porte naturellement sur les découvertes récentes relatives à l'univers et il s'accompagne souvent de questions métaphysiques. La place de l'homme dans l'univers, son origine et son devenir sont naturellement questionnés dès qu'on aborde un thème d'astronomie et l'engouement des jeunes pour ce domaine s'explique sans doute autant par cet aspect que par les découvertes scientifiques proprement dites. Cet intérêt se manifeste par ailleurs, chez les enfants comme chez les adultes, par un questionnement centré sur quelques "éléments-phare" souvent difficiles à vulgariser comme les trous noirs, les super-nova ou le big-bang.

---

(4) Petit Larousse Illustré

(5) Jean-Pierre Verdet. *Une histoire de l'astronomie*. Seuil, collection Points Sciences.

un enchevêtrement de connaissances et de conceptions erronées...

...nécessite une grande rigueur dans l'élaboration et la conduite d'actions de formation

Il est étonnant de constater en même temps une très grande ignorance et des confusions concernant des phénomènes beaucoup plus accessibles : confusion entre étoile du Berger (Vénus) et étoile polaire, entre les phases de la Lune et les éclipses, identification entre étoiles filantes et étoiles, confusion étoile-planète... À côté de cela, quelques connaissances émergent fréquemment, comme par exemple l'idée fort répandue selon laquelle nous observons des étoiles qui, du fait de leur distance, n'existent peut-être plus. Plus que dans tout autre domaine, cet enchevêtrement de connaissances et de conceptions erronées nécessite de la part du formateur comme du vulgarisateur une grande rigueur dans l'élaboration et la conduite d'actions de formation.

un caractère interdisciplinaire affirmé

De plus la particularité de l'astronomie tient à son caractère interdisciplinaire très affirmé : la mécanique classique puis relativiste, l'optique géométrique et la spectroscopie, les phénomènes électromagnétiques, la physique quantique et la physique nucléaire, la chimie, les mathématiques, pour ne citer que ces domaines, sont fortement sollicités en astronomie. Ainsi l'astronomie est un domaine qui permet d'engager les élèves dans des projets pluridisciplinaires comme le préconisent de nombreux textes ministériels.

Enfin les programmes scolaires français actuels, dans lesquels ont été introduits depuis une période récente des thèmes d'astronomie, justifient la thématique choisie. Il y a seulement vingt-cinq ans, les programmes scolaires ne comportaient aucun enseignement d'astronomie, après la suppression des éléments de cosmologie qui existaient dans les programmes de mathématiques élémentaires en terminale, dans les années soixante.

Voyons donc comment l'astronomie est apparue peu à peu dans les programmes (6).

C'est le collège qui est le premier concerné, avec les programmes de 1979 pour la classe de Quatrième où, dans la rubrique "optique" :

> *"...se développe une composante astronomique où l'univers appelle une première description, où le monde déborde les limites du système solaire et où quelques rudiments d'optique indiquent comment on peut parvenir à toutes ces connaissances : la lumière est véhicule d'informations ; elle renseigne sur sa source comme sur les objets qu'elle rencontre sur son trajet" (7).*

---

(6) La classe de Quatrième en France est la troisième année de collège (élèves de 13 ans). Le cycle 3 de l'école primaire correspond aux trois dernières années de la scolarité primaire (élèves de 8 à 10 ans) : Cours élémentaire 2 (CE2), Cours Moyen 1 (CM1) et Cours Moyen 2 (CM2).

(7) Goery Delacôte. Préface du Livre du professeur de 4e de la collection Libre Parcours, Hachette. 1979.

Suivent ceux de l'école élémentaire, plus exactement du cours moyen en 1985 :

des programmes scolaires qui intègrent peu à peu l'astronomie

> *Éléments d'astronomie : Le repérage dans l'espace. La mesure du temps*
> *La Terre et les astres : La rotation de la Terre sur elle-même et autour du Soleil.*
> *La succession des jours et des nuits, et des saisons. Les fuseaux horaires.*
> *Les phases de la Lune et son mouvement autour de la Terre ; les marées.*
> *Les planètes du Soleil.*

Au lycée à cette période, l'astronomie n'apparaît pas en tant que telle et on se limite à l'étude des planètes et des satellites en mécanique dans le cadre de l'étude des actions à distance. C'est seulement dans le cadre des 10 % d'activités libres, puis dans les projets d'action éducatives que l'astronomie est alors abordée.

Dans la vingtaine d'années qui a suivi, les programmes d'astronomie de l'école élémentaire ont évolué : suppression de l'étude des marées en 1995, de l'explication des saisons en 2002, mais les nouveaux programmes dépassent maintenant les limites du système solaire en incluant une approche de l'Univers. Malgré ces modifications, la partie astronomie reste à ce jour clairement identifiée au cycle 3 sous la rubrique "Le ciel et la Terre".

Au collège, c'est actuellement toujours en classe de Quatrième, dans la rubrique "lumière", qu'apparaissent quelques éléments d'astronomie (8):

> *Structure du système solaire. Phases de la Lune. Éclipses.*
> *Vitesse de la lumière dans l'espace (ordres de grandeurs des distances dans l'univers ou des durées de propagation de la lumière qui lui correspondent).*

Au lycée enfin, les programmes applicables depuis la rentrée 2000 comportent une partie intitulée : *"Exploration de l'espace"*, qui présente l'Univers qui nous entoure, de l'atome aux galaxies.

> *"On apprend à s'y repérer par la mesure de distances, de l'échelle atomique à l'échelle astronomique, et à utiliser la lumière pour obtenir des renseignements sur les astres et la matière contenue dans l'espace" (9).*

Cette partie du programme est totalement nouvelle et soulève chez les enseignants un certain nombre de questions qui justifieraient une recherche didactique.

---

(8) Programmes de la classe de Quatrième de 1992.

(9) Programmes de la classe de Seconde de 2000.

Par rapport à ces programmes, on peut constater que les articles de ce numéro relatifs à l'enseignement dans le cadre scolaire concernent essentiellement l'école primaire ou une situation de formation des maîtres de l'école élémentaire, très peu le collège ; quant au lycée il n'est concerné qu'à travers deux articles portant sur les travaux personnels encadrés (TPE). Hormis l'école primaire, on peut donc regretter un vide didactique au collège et au lycée, alors même que les élèves manifestent leur intérêt pour l'astronomie à travers les TPE, comme le soulignent divers auteurs dans ce numéro. Ce thème semble ne pas avoir encore acquis, auprès des didacticiens, une place qui semblerait justifiée par l'ensemble des problèmes posés. L'apparition de ce thème dans les programmes de lycée est récente, c'est sans doute un élément d'explication de cet état de fait.

mais peu de recherches hormis pour l'école primaire ou dans le cadre des TPE au lycée

Les méthodes d'investigation de l'astronomie constituent un objet privilégié de recherche didactique : observation, modélisation, schématisation et recherche documentaire. Deux d'entre elles sont abordées dans les articles relatifs à l'école élémentaire : la recherche documentaire dans l'article de Norbert Froger et l'observation dans l'article d'Hélène Merle et Valérie Munier. Si ces deux articles ciblent des objets différents, on peut constater dans chacun d'eux l'importance accordée à la résolution de problèmes par les élèves, conformément aux démarches préconisées dans les Instructions Officielles de l'école élémentaire de 2002.

deux premiers articles qui soulignent l'importance accordée à la résolution de problèmes par les élèves de primaire

Dans son article, Norbert Froger aborde donc le problème de la recherche documentaire qui constitue, à l'école primaire, la seule ressource disponible lorsqu'on aborde le système solaire ou l'univers. Son questionnement est intéressant car, comme il le souligne à juste titre, l'approche documentaire ne va pas de soi et l'auteur s'interroge sur la possibilité d'articuler une recherche documentaire avec les activités d'investigation préconisées au cycle 3, activités qui amènent les élèves à sélectionner des questions, à poser un problème et à le résoudre. La séquence didactique analysée ici porte sur les caractéristiques des planètes et concerne une classe de cours moyen engagée dans un projet pluridisciplinaire visant à construire un hypermédia sur les planètes.

engager les élèves dans un processus de problématisation dans le cadre d'une recherche documentaire

Souhaitant éviter une approche factuelle qui résulte d'une utilisation exclusive de données déjà traitées sous forme de tableaux, l'auteur considère qu'il est nécessaire de confronter les élèves à des ressources documentaires multiples. Cette confrontation permet d'engager les élèves dans un processus de problématisation, qui consiste à identifier et confronter les caractéristiques des planètes, permettant ainsi d'établir une classification en planètes telluriques et planètes géantes ou gazeuses.

L'auteur analyse trois situations et montre comment les élèves, malgré des difficultés conceptuelles, didactiques et

méthodologiques, parviennent à s'engager dans un processus de construction de problèmes par petits groupes, pour déboucher collectivement sur une problématique commune qui permet ensuite une sélection des informations pertinentes et l'élaboration d'une solution argumentée. L'auteur considère comme une nécessité la construction d'un problème qui donne sens à la solution, et permet ainsi aux élèves d'élaborer une réelle connaissance scientifique tout en développant des compétences transférables à d'autres situations. Mais il souligne la difficulté à identifier le problème le mieux adapté en fonction de la notion scientifique visée et l'intérêt de développer de telles recherches.

aider les élèves à concevoir la hauteur du Soleil en tant qu'angle, en particulier grâce à la conception d'un instrument d'observation

L'article d'Hélène Merle et Valérie Munier s'intéresse, quant à lui, à l'observation du mouvement apparent du Soleil au cours d'une journée, et plus particulièrement à la détermination de sa hauteur. Cette hauteur est l'angle formé par la direction des rayons solaires avec l'horizontale, mais elle est souvent assimilée à une longueur : si cette difficulté a été souvent évoquée, aucune recherche n'avait mis en œuvre et analysé des séquences didactiques ayant pour but d'aider les élèves à concevoir la hauteur du Soleil en tant qu'angle.

Cette recherche, qui s'intègre dans un travail plus large sur la construction du concept d'angle à partir de situations physiques, se propose d'analyser les capacités des élèves à identifier la hauteur du Soleil à un angle, alors même que le concept d'angle est difficile pour de jeunes élèves.

Les auteurs présentent une étude comparant la mise en œuvre de deux méthodes. Dans la première la détermination de la hauteur du Soleil s'appuie sur des relevés d'ombre, dans la seconde les élèves sont amenés à élaborer puis utiliser un instrument de visée directe. L'analyse des réactions et des productions d'élèves ainsi que le suivi de l'évolution conceptuelle des élèves permet aux auteurs de proposer quelques éléments de conclusion et, en particulier, de souligner l'importance de la conception et de la manipulation de l'instrument de mesure de la hauteur du Soleil dans le processus de conceptualisation.

une formation basée sur l'élaboration conjointe d'un concept scientifique et d'un concept didactique

C'est l'analyse d'une situation de formation intégrée que nous propose Catherine Lecoq. Cette approche consiste à concevoir des dispositifs de formation pilotés par l'appropriation conjointe de deux, voire trois types de savoirs : les savoirs disciplinaires, didactiques et pédagogiques. De plus les situations de formation permettent aux formés de vivre et d'analyser des situations semblables à celles qu'ils pourront faire connaître à leurs élèves. Dans la situation qui est proposée et qui a été expérimentée en formation initiale et continue, le concept visé en astronomie est celui de "constellation", alors que dans le domaine de la didactique, c'est le concept de "niveau de formulation" qui doit être élaboré par les stagiaires.

L'originalité de ce travail consiste donc dans cette élaboration conjointe d'un concept scientifique et d'un concept didactique. Catherine Lecoq montre que les premières activités vécues par les stagiaires leur permettent d'aboutir à un premier niveau de formulation du concept de "constellation", lui-même accessible aux élèves de cycle 3 comme le montre l'analyse d'une pratique de classe. Des activités de modélisation conduisent les stagiaires à d'autres niveaux de formulation de ce même concept et des analyses réflexives leur permettent alors de construire le concept didactique de "niveau de formulation". Ce concept didactique deviendra opérationnel pour eux quand ils débattront du niveau de formulation exigible pour les élèves de l'école primaire. Ces imbrications fortes entre construction d'un concept scientifique et d'un concept didactique sont analysées ainsi que leurs articulations.

qui se conclut par une ouverture sur les problèmes de maîtrise de l'espace

L'article se conclut par une ouverture sur les problèmes de maîtrise de l'espace (micro, méso et macro-espace décrits par Galvez puis Berthelot et Salin) et rejoint les conclusions d'Hélène Merle et Valérie Munier qui s'interrogent également sur la représentation de l'espace céleste et plus particulièrement la représentation du mouvement apparent du Soleil. Ces problèmes, liés à la didactique de la géométrie, restent donc posés et ouvrent le champ à de nouvelles recherches susceptibles d'enrichir la réflexion sur l'enseignement de l'astronomie.

cerner certaines conditions d'une structuration des connaissances en TPE

Le seul article de recherche relatif au lycée concerne l'analyse du travail d'un groupe d'élèves engagés dans un TPE (Travail Personnel Encadré) relatif à l'astronomie. Ce travail s'inscrit dans une recherche pilotée par l'Institut National de Recherche Pédagogique sur "la structuration des connaissances et les nouveaux dispositifs d'enseignement" et les auteurs, Bernard Andrieu, Isabelle Bourgeois, Éric Gaspard et Yvette Renauld, se proposent, à partir d'un exemple pris dans l'ensemble des travaux d'élèves analysés, de faire le point sur les résultats d'une première année de recherche et de montrer comment la problématique s'est précisée progressivement. Les conditions d'une structuration des connaissances dans ce contexte sont caractérisées par rapport à trois dimensions : la variété des sources de savoir sollicitées ; le mode de traitement des informations, en lien avec une action finalisée par une problématique ; la diversité des postures d'encadrement.

L'objet de recherche se précise : l'acquisition des connaissances se faisant hors de la présence du tuteur, les entretiens tuteur-élèves sont à la fois le lieu et le moyen de la structuration de ces connaissances. La mise au point d'une méthodologie adaptée à cet objet (enregistrement systématique des entretiens et construction d'un outil d'analyse) devra permettre à l'équipe d'identifier les différents registres de structuration des connaissances, l'influence des jeux de postures entre élèves et tuteur et les différents types de connaissances mis en jeu.

Ces auteurs soulignent que les sources de savoir dans les Travaux Personnels Encadrés se doivent d'être multiples, or les élèves comme le grand public disposent à ce jour, en dehors des ressources documentaires, d'un grand nombre de structures destinées à vulgariser la connaissance scientifique. Parmi elles, le Muséum national d'Histoire naturelle qui a consacré, à trente ans d'intervalle, deux expositions temporaires aux météorites. Jean-Guy Michard et Florence Raulin-Cerceau présentent une analyse comparative de ces deux expositions, en dégageant l'évolution des messages scientifiques et l'incidence du développement des supports muséologiques. Les auteurs montrent que certains thèmes de l'exposition de 1968 se retrouvent, traités de façon très voisine, dans l'exposition de 1996. D'autres au contraire font ressortir de notables différences, dues à l'actualité scientifique du moment (l'exploration de la Lune pendant les années soixante et celle du système solaire actuellement) et aux acquis scientifiques des trente années écoulées. L'autre différence réside dans des efforts de mise en scène qui permettent, dans la seconde exposition, de mieux exploiter la collection de météorites du musée ainsi que dans une interactivité rendue possible par les récents progrès technologiques.

dégager l'évolution des messages scientifiques

et l'incidence du développement des supports muséologiques

par l'analyse comparative de deux expositions

Si depuis quelques années, en France, les programmes scolaires intègrent l'enseignement de l'astronomie, ce n'était pas le cas, comme nous l'avons spécifié plus haut, il y a seulement vingt-cinq ans. Cet enseignement était alors exclusivement dispensé par des organismes qui font la promotion de l'astronomie en dehors du réseau scolaire. Ainsi, certaines structures comme les planétariums, musées, CCSTI (Centres de Culture Scientifique, Technique et Industrielle), associations d'éducation populaire comme l'ANSTJ (Association Nationale Sciences et Technique Jeunesse), sensibilisent le public à l'astronomie, d'autres comme le CNES (Centre National d'Études Spatiales) sont davantage axés sur la formation du public amateur à la compréhension des phénomènes astronomiques. Face aux difficultés des enseignants dans le domaine de l'astronomie, un maillage relativement étroit s'est tissé entre l'école et ces organismes. Le Comité de Liaison Enseignants Astronomes (CLEA), créé en 1976, s'est ainsi donné pour but la formation des enseignants et la réalisation de matériel pédagogique.

des actions innovantes de la part des acteurs de la culture scientifique et technique

Trois objectifs de nature différente semblent initier la formation en astronomie. Il s'agit tout d'abord de mettre l'accent sur le mouvement des astres (création des planétariums). Dans un deuxième temps, il s'agit de développer la pratique d'activités scientifiques expérimentales (exemple : création de l'ANSTJ en 1962). Enfin, certains (10) s'attachent à répondre à un réel intérêt que portent les élèves dès leur plus jeune âge à l'astronomie (exemple : création du CLEA en 1976). Nous regroupons donc, comme nous l'avons spécifié plus haut, dans la partie "Actions" quelques articles relatant des expériences originales innovantes.

Ainsi, Gérard Azouley (Centre National d'Études Spatiales) et Agnès Acker (Association des Planétariums de Langue Française) décrivent un projet tout à fait original qu'ils ont monté en partenariat : un spectacle de planétarium qui présente les différentes représentations de la Terre observée depuis l'espace.

une pluralité d'images qui doivent être rendues compréhensibles par le non-spécialiste

Ils sont partis d'un premier constat : la pluralité des images dont nous disposons à ce jour a permis aux spécialistes de se construire une représentation d'un univers en évolution constante, or ces images ne sont pas toujours aisément compréhensibles par le non-spécialiste. Les auteurs ont souhaité analyser l'utilisation de ces différentes représentations par les médiateurs, en se focalisant particulièrement sur l'image de la Terre. En effet, l'accès à l'orbite terrestre a permis un renversement de perspective et la seconde finalité de cette opération avait pour objet de présenter au plus grand nombre ce changement de perspective puisque la Terre est de nos jours considérée comme un objet d'astronomie à part entière.

"La planète aux mille regards", un projet axé sur le caractère évolutif et dynamique de l'environnement terrestre

Sur un mode narratif, ce spectacle a donc pour objet de mettre en évidence le caractère évolutif et dynamique de l'environnement terrestre. Il se situe de fait en totale rupture avec les visions fixistes des cartographes du début du XXe siècle. La question légitime que se posent alors les auteurs est de savoir si, et comment, un tel dispositif de médiation peut permettre aux visiteurs d'appréhender cette importante rupture épistémologique. Cette question devient encore plus cruciale quand il s'agit des médiateurs eux-mêmes. Les réponses qu'ils nous proposent sont issues d'une enquête qualitative menée auprès des médiateurs et des publics de ces Planétariums.

le CLEA, une association qui réunit astronomes et enseignants dans le but de promouvoir l'enseignement de l'astronomie...

La formation initiale et continue des enseignants en astronomie n'est pas un problème récent comme le rappelle Lucienne Gouguenheim. Ainsi, dans les années soixante-dix, l'astronomie étant alors totalement absente des programmes, de nombreux enseignants ont souhaité exploiter la mise en place d'activités libres (10 %) pour enseigner l'astronomie. Ils se sont alors tout naturellement tournés vers des astronomes professionnels, qui ont ainsi pris conscience du problème et de l'enjeu de l'enseignement de leur discipline à plus grande échelle.

C'est dans ce contexte qu'a été créé, en 1976, le CLEA, association qui réunit des enseignants et des astronomes professionnels qui veulent ensemble promouvoir l'enseignement

(10) Françoise Héritier-Augé (1991). *Les musées de l'Éducation Nationale. Mission d'étude et de réflexion. Rapport au Ministre d'État, Ministre de l'Éducation Nationale.* La documentation française, Paris. Jeannine Geyssant (mai 1999) *Rapport d'étape au Ministre d'État, Ministre de l'Éducation Nationale de la Recherche et de la Technologie sur la collaboration entre les établissements d'enseignement et les institutions muséales scientifiques.*

de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement. Cette association qui se refuse à diffuser des "Travaux Pratiques clés en main" a fait évoluer ses activités au cours du temps, en fonction des objectifs à atteindre. Dans une première phase, c'était essentiellement la mise en œuvre par les enseignants d'activités libres, adaptées aux classes transplantées, aux activités de clubs, aux Projets d'action éducative (PAE) qui était visée. Il s'agissait donc de donner à la fois des éléments solides de formation en termes de connaissances et en même temps d'élaborer des activités pratiques. Une attention très particulière était portée à la réalisation d'instruments d'observation ou de grandes maquettes utilisables avec un groupe d'élèves. Par la suite, quand des thèmes d'astronomie sont entrés dans les programmes scolaires, les membres du CLEA ont plus spécifiquement réfléchi aux types de travaux pratiques qu'il était possible de proposer compte tenu des contraintes de temps et de lieu différentes de celles des activités de type PAE. Dans tous les cas deux idées fortes guident les responsables de cette association : toujours maintenir une place prépondérante pour les observations, quitte à utiliser un document de substitution (photo, diapo...), et surtout inciter l'enseignant à construire sa propre progression.

...par des écoles d'été, des productions de ressources pédagogiques

C'est une posture tout à fait opposée qui est retenue au sein du projet international : Mesurer la Terre avec un bâton, "Sur les pas d'Ératosthène" réalisé dans le cadre de l'opération "La main à la pâte". Comme le relatent Emmanuel Di Folco et David Jasmin, le cadre est ici très clairement défini, le projet est proposé clef en main pour l'enseignant. Les enfants, issus de centaines de classes de cycle 3 et de collège doivent mesurer l'ombre, à midi au soleil, d'un bâton vertical. En échangeant sur Internet leur(s) résultat(s) avec un partenaire situé à une latitude différente mais à une distance connue, ils obtiennent par un calcul simple la circonférence de la Terre.

un projet international : Mesurer la Terre

Selon les auteurs, le succès auprès des élèves est assuré par un projet ambitieux et enthousiasmant qui repose sur la coopération entre les classes et l'utilisation des nouvelles technologies pour l'échange des données. Les enfants y découvrent de manière ludique les principes d'une démarche scientifique d'investigation. La diversité des pays engagés facilite l'obtention de résultats précis en mettant à disposition des élèves des mesures effectuées par des partenaires très éloignés en latitude. Il n'en reste pas moins vrai pour les auteurs que ce projet de longue haleine exige un investissement important de l'enseignant, et qu'il est parfois difficile à insérer dans le cadre strict des horaires alloués à l'enseignement des sciences, ce qui les contraint à une certaine souplesse dans la gestion de la classe. L'équilibre dans la gestion du temps semble donc difficile à trouver.

Si, dans le projet du Centre National d'Études Spatiales, le spectacle semblait trop éphémère pour permettre d'ancrer les

où le cadre est ici très clairement défini, le projet est proposé clef en main pour l'enseignant

apprentissages, ici a contrario la durée du projet semble induire d'éventuelles difficultés de mémorisation des acquis à long terme. Les auteurs constatent que la grande majorité des élèves qui vont au bout du projet acquièrent avant tout, par l'observation et l'expérimentation, les bases d'un raisonnement rationnel et d'une démarche scientifique d'investigation.

C'est principalement l'acquisition d'une démarche d'investigation qui fait l'originalité de la mise en place du nouveau dispositif pédagogique des "Travaux Personnels Encadrés" des élèves de lycée (TPE). Michèle Sagot et Daniel Fossaert livrent, dans leur article, l'analyse qu'ils ont effectuée de "fiches de synthèse" rédigées par vingt élèves de terminale S et par quatre élèves de première S, en vue de l'évaluation de leur travail personnel, sur des TPE en Astronomie.

certaines notions difficiles de physique peuvent-elles s'acquérir par un TPE ?

Il est tout d'abord intéressant de noter les raisons qui ont conduit ces lycéens à choisir le thème de l'astronomie. Les élèves parlent tous d'intérêt, de passion, ou d'attirance et de curiosité, mais en même temps ils évoquent leur ignorance, d'où leur désir d'en savoir plus et de ne pas en rester à un niveau superficiel. C'est ce dernier point qui va les conduire, avec l'aide de leurs enseignants, à mieux cibler leur sujet, à le restreindre pour *in fine* commencer à "approfondir" leurs connaissances, comme ils le souhaitaient au départ.

Cependant, à partir des productions écrites des élèves et de leur présentation orale, les enseignants ont été convaincus que certaines notions difficiles de physique ne pouvaient s'acquérir ainsi : elles nécessitent selon eux un enseignement construit, comme il se donne actuellement dans la classe de Terminale S. Il s'est par contre avéré avec des élèves de terminale que des notions non acquises, mais néanmoins utilisées au cours du travail personnel, qui ont été reprises ultérieurement par un enseignement rigoureux ont pu être plus facilement acquises car les élèves avaient déjà à leur disposition des exemples concrets pour leur donner du sens.

l'autonomie dans la recherche appréciée par les élèves

Enfin et ce n'est pas le moins intéressant, les auteurs précisent que les élèves n'ont finalement pas privilégié, contrairement à leur motivation de départ, l'acquisition d'un nouveau savoir, mais qu'ils ont particulièrement apprécié dans leur TPE : la découverte de l'autonomie, du travail en groupe, de l'organisation collective, du sens de la recherche et de l'esprit critique.

Ce tour d'horizon de ce numéro montre que trop peu de recherches didactiques portent sur les présentations muséologiques liées à l'Astronomie. Les visites dans les centres de culture scientifique sont encore trop souvent considérées comme une simple illustration de points du programme et ne sont pas suffisamment intégrées à la construction des savoirs scientifiques. Un champ de recherche devrait donc se développer, qui concerne les imbrications possibles et souhaitables entre l'enseignement en milieu scolaire et les visites de lieux de culture scientifique et technique.

des champs de recherche à explorer

Dans le domaine de l'enseignement secondaire, on peut regretter que l'intérêt pour l'astronomie ne concerne que les TPE. L'apparition de thèmes astronomiques au sein d'un enseignement obligatoire, dans le programme de seconde, ouvre également un champ de recherche à explorer.

En dehors de l'école élémentaire, la recherche en didactique de l'astronomie reste donc pour l'instant cantonnée à la marge puisque après les activités "libres", les PAE, ce sont maintenant les Itinéraires de découverte (IDD) et les TPE qui sont concernés. Sans partager forcément les craintes que Lucienne Gougenheim formule dans la conclusion de son article, on doit s'interroger sur le rapport que les enseignants et didacticiens entretiennent avec cette discipline et les raisons de cette "mise à la marge".

Hélène MERLE
IUFM de Montpellier, LIRDEF
Yves GIRAULT
Muséum national d'Histoire naturelle,
Équipe de recherche sur la médiation muséale

PROBLÉMATISER À PROPOS DES PLANÈTES À PARTIR D'UNE RECHERCHE DOCUMENTAIRE À L'ÉCOLE ÉLÉMENTAIRE ?

Norbert Froger

La recherche documentaire en astronomie est généralement présentée comme un moyen d'élaborer des connaissances à partir des informations étudiées. Cette approche ne va cependant pas de soi. Il ne suffit pas de mettre à disposition des données textuelles ou numériques, dans des livres ou sur Internet, pour que l'élève se les approprie et construise des connaissances. Il faut, d'une part, un cadre problématique qui donne sens à la recherche et, d'autre part, des compétences de lecteur pour extraire des multiples données que contient un document les informations pertinentes par rapport à la recherche. Cette double contrainte conduit à étudier le système solaire dans le cadre d'un projet pluridisciplinaire visant à faire construire le problème d'une classification des planètes et à le résoudre par une recherche documentaire. Il apparaît que, si des élèves construisent des problèmes, la difficulté didactique est de repérer quel est le problème scientifique le mieux adapté pour que le plus grand nombre d'élèves se l'approprie.

pour des élèves de 8 à 11 ans...

Dans les programmes de sciences du cycle 3 (8-11 ans) de l'école élémentaire, le domaine "le ciel et la Terre" mène généralement à des activités de modélisation telle que celle du système Terre-Soleil et à *"des activités documentaires permettant de prendre connaissance des caractéristiques propres de chaque planète"* comme l'indique le *Document d'Application des Programmes* de 2002 (désormais *DAP*). Mais cette approche ne peut être simplement descriptive car l'enseignement des sciences à l'école s'appuie sur des activités d'investigation qui amènent les élèves à sélectionner des questions, à poser un problème et à y réfléchir pour qu'il devienne celui des élèves (*op. cit.*). Comment peut-on faire de la recherche documentaire sur les caractéristiques des planètes une activité de construction et de résolution de problème ? Nous cherchons à montrer ici qu'un travail de recherche documentaire ne va pas de soi et que c'est précisément lorsqu'il s'organise à partir d'un problème qu'il prend sens pour l'élève. L'enjeu est alors de susciter la construction du problème par l'élève lui-même afin de l'impliquer dans la recherche, l'étude des ressources documentaires devenant un moyen pour élaborer une solution. Une difficulté didactique supplémentaire apparaît cependant du fait de l'hétérogénéité des élèves, si certains parviennent à prendre conscience du problème, la difficulté tient dans l'élargissement de ce questionnement à l'ensemble de la classe. Nous présentons ici un travail réalisé dans une classe de cours moyen afin de dégager le processus de problématisation tout en analysant les sources de cette difficulté.

1. L'ÉTUDE DU SYSTÈME SOLAIRE

L'enseignement des sciences vise la construction d'une représentation rationnelle de la matière et du vivant et l'analyse raisonnée de phénomènes qui suscitent la curiosité des élèves. L'étude des planètes est un de ces thèmes qui suscitent l'intérêt des élèves et de nombreux livres documentaires apportent des informations textuelles et iconiques pour y répondre. À ces supports traditionnels se sont joints les supports informatiques sous forme de cédéroms ou sites Internet qui multiplient les modes sémiotiques (par le texte, l'image et le son) pour construire une signification. Une initiation à la lecture documentaire s'inscrit désormais dans les programmes de sciences afin d'apprendre aux élèves, à partir de situations véritables, à lire et produire des écrits scientifiques : fiche technique, compte rendu, texte informatif, explicatif, tableau de chiffres. Le thème du système solaire nécessite donc d'articuler une étude raisonnée permettant d'engager les élèves dans une première démarche de construction d'un modèle scientifique avec une initiation à la lecture documentaire permettant notamment d'apprendre à trouver une information dans un support (un livre ou un site) à partir d'une compréhension de l'organisation de son contenu.

...des activités de recherche documentaire...

Il apparaît cependant possible de modéliser les dimensions relatives des planètes par des maquettes à l'échelle afin de se représenter les rapports entre les diamètres (*DAP*, 2002). Mais pour obtenir les données numériques permettant de réaliser cette représentation, comme d'une manière générale pour obtenir des informations sur leurs caractéristiques, il faut nécessairement opérer une recherche d'informations. Deux cas se présentent alors :

- le manuel donne le résultat de cette recherche sous forme de tableau de données, focalisant ainsi la réflexion sur la solution ;
- la recherche s'effectue dans des ressources documentaires multiples : livres et sites Internet. Il faut alors d'abord définir ce que l'on recherche puis élaborer la solution.

...qui ne se réduisent pas à une approche factuelle

Ces deux outils ne s'opposent pas. Le manuel peut être utilisé comme une source possible dans la confrontation des résultats. Mais nous cherchons à montrer ici que la première approche tend à réduire la démarche à l'acquisition d'une connaissance factuelle, rabattant le problème sur la solution ; alors que la seconde, en considérant comme une nécessité la construction d'un problème qui donne sens à la solution, permet d'élaborer une connaissance scientifique et de développer des compétences transférables à d'autres situations.

1.1. L'étude des planètes dans les manuels

Dans le manuel de sciences de la collection *Gulliver*, les auteurs (Astolfi *et al.*, 1996), considèrent que ce thème tient

une place limitée dans les apprentissages scientifiques à l'école primaire car on ne peut viser que quelques notions présentant un intérêt pédagogique :
- connaître la différence entre une étoile et une planète ;
- connaître le nom des planètes et de quelques uns de leurs satellites ;
- comparer les planètes entre elles par la taille et par leur distance au soleil.

Nous rejoignons les auteurs pour considérer que ces notions sont en nombre limité mais leur acquisition ne va pas de soi pour au moins deux raisons. La première tient, comme nous le montrons plus loin, dans la diversité des représentations des élèves qui indiquent des connaissances peu stabilisées. La seconde tient dans la prise en compte de la complexité de la tâche de recherche dans des documents dont les richesses textuelle et iconique constituent en même temps des sources de difficulté pour un jeune lecteur. L'intérêt de ce thème réside donc dans la démarche active d'enquête à mener pour construire ces quelques notions. La dernière peut cependant être développée en étudiant de manière plus approfondie les caractéristiques des planètes afin d'établir des similitudes et des différences, et donc d'établir une classification.

construire une classification des planètes...

C'est l'élaboration de cette classification des planètes à partir de critères déterminés par les élèves qui constitue l'objectif principal de cette étude. Nous faisons l'hypothèse que la mise en relation des caractéristiques des planètes peut amener les élèves à distinguer deux groupes : "les planètes solides" (*DAP*, 2002) et les planètes géantes ou gazeuses.

Dans le manuel cité, les auteurs proposent un tableau de données permettant de comparer les diamètres et les distances, et réservent le temps de recherche documentaire à l'identification des noms de satellites. Le tableau de synthèse n'apparaît donc pas comme le résultat d'un problème de recherche documentaire conduisant l'élève à sélectionner des informations mais comme un fait établi. De même, dans le manuel de la collection *"Savoirs scolaires"*, Guichard et Dana (1999) proposent une double page documentaire avec pour chaque planète une liste de quelques caractéristiques physiques. Ces données qui peuvent être collectées dans l'abondante production documentaire sur l'astronomie sont là encore sélectionnées par les auteurs en fonction de leur propre problématique qui privilégie une présentation de données numériques. On ne trouve pas de descriptions des planètes ou de certaines de leurs particularités (par exemple la tache rouge de Jupiter, les anneaux de Saturne...) alors que dans les livres documentaires, les informations sont souvent exprimées sous forme de courts textes descriptifs dont il faut dégager une signification. Le travail se limite donc à la lecture de fiches d'identité, réduisant la complexité des textes.

Cette rapide analyse critique vise simplement à montrer la nécessité didactique de compléter l'approche proposée dans

ces manuels par une démarche effective de recherche documentaire, suffisamment diversifiée pour ne pas faire de l'enseignement de l'astronomie une accumulation de connaissances factuelles mais une démarche de construction de connaissances scientifiques.

1.2. Le problème épistémologique d'une approche factuelle

La comparaison des diamètres est généralement une question posée par l'enseignant, et la solution, le résultat de l'analyse de données présentées dans un tableau, données elles-mêmes isolées parmi les données disponibles sur les planètes. Dans cette approche, la démarche scientifique de l'élève apparaît très réduite, la notion devient factuelle car elle n'est pas le résultat d'un processus individuel de construction de problème dont la classification est la solution.

...par une dialectique problème-solution

Pour Orange (2002), les savoirs scientifiques ne sont pas de simples propositions vérifiées, des résultats : ce sont des conclusions, des réponses à des questions bien posées. L'activité scientifique est avant tout problématisation, et pour Fabre (1995), les connaissances factuelles produites ne sont pas de simples résultats mais des solutions. C'est donc la dialectique problème-solution qui peut seule donner leur sens aux connaissances. Une connaissance – aussi factuelle qu'elle puisse paraître – n'est instructive que parce qu'elle pose ou résout un problème (*op. cit.*, p. 110). Ces deux auteurs se réfèrent à l'épistémologie de Bachelard (1938, p. 234), qui, à propos de l'enseignement des mouvements planétaires, insiste sur la nécessité de comprendre le processus qui amène à un résultat, et non pas, ce qui serait plus simple, de n'enseigner que le résultat car l'enseignement des résultats de la science n'est jamais un enseignement scientifique. Le fait ne devient scientifique que par son insertion dans un réseau de raisons, dans un contexte de connaissances qu'il vient étendre, préciser voire interroger. C'est en faisant fonctionner la connaissance comme la solution d'un problème qu'elle trouve sa signification épistémologique (Fabre, *op. cit.*). Il faut pour cela prendre au sérieux l'idée de construction de problème.

2. LE PROCESSUS DE PROBLÉMATISATION

L'approche didactique par la construction de problèmes (Fabre et Orange, 1997) vise à dépasser la centration habituelle sur la résolution de problèmes pour s'intéresser à la construction et à la reconstruction des problèmes par les élèves eux-mêmes avec la médiation de l'enseignant. Ce processus de problématisation transforme un problème perçu, une question, en un problème construit ou un ensemble de problèmes construits constituant une problématique.

2.1. Les obstacles

Pour Fabre et Orange (*op. cit.*), un savoir scientifique n'est pas la simple description d'une réalité : il permet d'expliquer. Mais les conceptions des élèves constituent, elles aussi, des explications des phénomènes. L'élève doit donc connaître contre des connaissances antérieures, en renversant les obstacles amoncelés par la vie quotidienne (*op. cit.*, p. 39). Ainsi la conception géocentrique de Ptolémée (IIe siècle avant J.-C.), faisant de la Terre le centre du système solaire, a-t-elle prévalu jusqu'au XVe siècle. Le système héliocentrique de Copernic n'a réussi à s'imposer que plus tard parce qu'au-delà de l'absence de moyens d'observation, ce modèle nécessitait une rupture par rapport à une pensée commune, à l'image familière du Soleil tournant dans le ciel autour de la Terre. Dès lors, on peut penser que lorsque des élèves dessinent les planètes du système sur le modèle de la Terre, cette conception "géocentrique" constitue une forme d'obstacle à la construction d'une classification. Car, en se représentant une autre planète comme semblable à la Terre, l'enfant peut plus difficilement accéder à des raisons fondées sur des similitudes mais aussi sur des différences.

l'obstacle d'une représentation première

Dans l'expérimentation menée dans une classe de cours moyen comprenant vingt-deux élèves : 11 CM1 (10 ans) et 11 CM2 (11 ans), un recueil des représentations a été réalisé. Il a été demandé aux élèves ce qu'ils connaissaient du système solaire puis de dessiner les planètes en s'aidant du compas. Chaque élève a ensuite explicité individuellement sa production afin de vérifier que la représentation mentale coïncidait avec la représentation graphique. Les explications des élèves sont globalement de trois types quel que soit l'âge des enfants. Les planètes sont de taille différente (10/22). David : *"elles ne sont pas de la même taille, Jupiter est plus grande"*.

- Les planètes sont de la même taille que la Terre (9/22). Adeline : *"la Terre est grosse"*.
- Les planètes sont de taille aléatoire (3/22). L'élève ne peut proposer aucune explication.

On constate donc des différences inter-individuelles selon que l'élève a déjà ou non des connaissances sur les planètes. Mais celles-ci ne sont pas stabilisées et peuvent même susciter un conflit intra-individuel comme le montrent les propos de Camille :

des différences inter-individuelles au conflit intra-individuel

> *"Je voulais montrer qu'elles étaient toutes grandes, j'ai essayé de faire Jupiter un peu plus grande mais je ne savais pas quelle dimension prendre pour les grandes planètes. La Terre est plus petite mais elle est quand même grande."*

On peut voir ici un conflit entre une représentation forgée par des notions acquises et une représentation qui fait obstacle. La première est une représentation objective intégrant une distinction entre les grandes planètes et les autres ; la seconde est une représentation subjective de la Terre "quand

même grande" qui renvoie à sa perception du monde. Élaborer une notion scientifique c'est bien ici renverser l'obstacle de la vie quotidienne pour construire une représentation alternative fondée sur un savoir raisonné.

Mais l'obstacle peut tenir également dans le modèle explicatif que l'élève se donne. Ainsi lorsque Antoine dit : *"les planètes c'est du plus petit au plus grand, j'ai pris un diamètre (la Terre) et j'ai réduit"* ou lorsque Léa dit : *"ça fait du plus grand au plus petit"*, ces élèves semblent mobiliser des connaissances mathématiques mais l'étude des tailles s'en trouve déterminée par avance et ferme la pensée à une autre classification. En l'état, ces représentations constituent cependant des rationalisations individuelles issues d'une hypothèse à partir d'une observation empirique : si les planètes sont dans un ordre donné à partir du Soleil, celui-ci ne peut être que croissant ou décroissant. Pour Bachelard (*op. cit.*, p. 235), si le professeur de physique multipliait les enquêtes psychologiques il serait étonné de la variété des rationalisations individuelles pour une même connaissance objective. Il y a donc pour lui une suprématie de l'image sur le calcul et une simple étude illustrative des planètes peut entraîner des confusions. Il faut donc diversifier les modes de représentation pour mieux percevoir le problème.

des rationalisations individuelles...

Cette brève étude des représentations met en évidence la nécessité de fixer un objectif d'apprentissage permettant de dépasser ces obstacles par la construction d'une classification des planètes en deux groupes à partir d'une mise en relation de leurs caractéristiques.

2.2. Vers une classification des planètes

Il nous paraît possible de construire cette classification en appuyant la réflexion sur un travail documentaire visant à créer des fiches d'identité des planètes intégrant des données numériques et des informations sous forme de courts textes descriptifs à partir d'une collecte d'informations dans des ressources diverses.

L'élaboration d'une classification aide à comprendre la différence de nature entre les planètes, liée à leur mode de formation, à leur structure et à leur évolution (Hagène, 1993). L'auteur distingue ainsi deux classes.

- Les planètes telluriques (semblables à la Terre) sont les quatre plus proches du Soleil, relativement petites, constituées essentiellement de roches, et entourées de peu de satellites.
- Les planètes géantes (ou joviennes) sont plus éloignées du Soleil, leur noyau rocheux est enveloppé d'une épaisse couche de gaz (hydrogène et hélium). Une collection de satellites et un anneau les entourent.

...à une classification rationnellement partagée

La démarche didactique vise à catégoriser les planètes en dégageant des propriétés communes et les relations entre ces

propriétés. La taille et la distance au Soleil apparaissent ici liées. Dans la nébuleuse primitive, la composition chimique des grains dépendait évidemment de la température et donc de la distance au Soleil (Brahic, 2001, p. 217). La proximité du Soleil a entraîné l'évaporation des matériaux les plus légers et favorisé l'accrétion des métaux lourds formant le noyau rocheux des petites planètes. Alors que l'éloignement n'a pas permis cette agglomération des poussières de la nébuleuse primitive, amenant un autre modèle de formation : les planètes géantes constituées d'un petit noyau autour duquel se serait ensuite rassemblé le gaz présent loin du proto-Soleil (Brahic, *op. cit.*).

Cette hypothèse, qui est la plus généralement admise actuellement, indique que derrière la distinction des planètes en deux groupes se cache plus fondamentalement le problème de la formation du système solaire, problème qui pour Brahic est au cœur de l'histoire de l'émergence de la pensée scientifique et rationnelle (p. 187). La construction d'une classification n'est donc pas l'acquisition d'un savoir anecdotique mais bien un enjeu épistémologique. Il s'agit dès lors de constituer des critères de différenciation pour analyser les documents. Et c'est à partir de ces critères que la recherche d'une solution peut se déployer, qu'une classification peut s'élaborer. La construction du problème apparaît alors comme une phase essentielle.

2.3. La construction du problème

Entre le problème qui apparaît à l'élève sous forme d'un questionnement et le problème résolu, il y a pour Fabre et Orange (1997) tout un processus fondamental qui consiste en une construction ou une reconstruction du problème précisant les contraintes ou, ici, les critères de la recherche documentaire. Mais la construction du problème ne s'opère pas d'une manière linéaire de la question à la construction et à la résolution. Construire le problème implique de déployer deux axes pour ouvrir l'espace problématique, il faut, d'une part, construire des nécessités qui déterminent des conditions d'exploitation des données et, d'autre part, dévoiler des faits en opérant une sélection parmi les données disponibles afin de mettre hors question ce qui ne dépend pas de la problématique.

un processus fondamental non linéaire

Cette conception théorique nous paraît constituer un cadre opératoire pour envisager la recherche documentaire comme un processus de construction/résolution de problème.

Si les données sont sur un axe assertorique, les conditions renvoient à des raisons et sont sur un axe apodictique. L'assertorique est la modalité du factuel, du "fait brut". Au contraire un raisonnement est apodictique s'il dévoile des relations nécessaires qui ne pourraient être autrement (Fabre, 1995, p. 111). En reliant les conditions et les données, le sujet peut faire des propositions de solution. C'est donc en déterminant plus précisément le problème que la solution en découle.

2.4. La recherche documentaire

Le déploiement du processus de problématisation nécessite, d'une part, de sélectionner des faits et, d'autre part, de repérer parmi eux des points remarquables pour dégager des raisons et constituer dans notre exemple des critères. La classification devient alors une solution qui relie les critères et les faits sélectionnés dans un tableau d'analyse des caractéristiques du système solaire. De ce point de vue, comme nous l'avons indiqué en introduction, la recherche documentaire et la construction du problème constituent deux éléments qui s'articulent entre eux pour penser la tâche. Cette articulation est une nécessité car le risque est que l'élève soit submergé par les informations entre les ressources informatiques et textuelles. Mettre à disposition de multiples sources ne signifie pas que l'individu va pouvoir se les approprier.

L'information n'est pas une donnée extérieure à l'individu mais le résultat d'un processus informationnel interne au sujet (Alava, 1997). Toute base de données, qu'elle soit sur support papier ou multimédia, n'est que du bruit pour le sujet qui va progressivement structurer les données en fonction de ses représentations et de sa motivation, pour lui conférer le statut d'information (*op. cit.*). Celle-ci est donc un construit propre à l'individu. La représentation du problème fournit le cadre problématique qui donne sens à la recherche et amène à sélectionner les données pertinentes pour leur conférer le statut d'informations. Mais c'est ensuite en reliant cette information à d'autres informations dans un réseau de raisons qu'elle deviendra une connaissance mobilisable et partageable. Une lecture documentaire apparaît alors, non comme une lecture intégrale, mais comme une lecture sélective en fonction d'un problème particulier.

l'information est un construit du sujet

3. DÉMARCHE DIDACTIQUE

Le travail s'inscrit pour les élèves dans le cadre d'un projet pluridisciplinaire, finalisant les tâches de lecture et de production de documents par la création d'un hypermédia sur le système solaire. Celui-ci est accompagné d'un jeu d'exploration spatiale sous la forme de questions permettant d'aller d'une planète à une autre, les réponses pouvant être trouvées dans les ressources multimédias (Froger, 1987). Il faut pour cela réaliser une base de données sous forme de fiches informatives sur les planètes et rechercher les données nécessaires. Dans les programmes de 2002 (*Bulletin Officiel n° 1*, 2002), la démarche en sciences vise à sélectionner des questions qui se prêtent à une démarche constructive d'investigation. C'est la phase de construction du problème que nous proposons aux élèves de gérer en petits groupes afin de mener *"un débat réglé visant à produire des connaissances"*. Ce travail conduit *"à mettre en relation des données, à en faire une représentation schématique et l'interpréter"*

un projet : construire un hypermédia sur les planètes

(*op. cit.*). Enfin des moments de synthèse sont organisés avec la médiation de l'enseignant *"pour mettre en forme les résultats acquis et les communiquer (texte de statut documentaire). Après avoir été confrontés à la critique de la classe, et du maître, ces écrits prennent le statut de savoirs."*

3.1. Organisation du projet

articuler les apports des autres disciplines avec le travail scientifique

Ce projet se déroule sur une période de trois semaines, la dernière semaine concernant principalement l'édition et la réalisation de l'hypermédia sur le système solaire. Chaque séquence propose des situations pour doter l'élève d'outils de résolution adaptés au travail de recherche, et des situations spécifiques aux sciences. L'unité d'apprentissage est décomposée en cinq séquences afin d'aborder progressivement des situations plus complexes mettant en jeu davantage de données. Le tableau suivant restitue la logique des situations proposées et leur articulation par rapport à la notion scientifique visée.

Tableau 1. Planification des activités du projet pluridisciplinaire

Séquence	Sciences	Objectifs	Français	Math.	TICE
1. La distinction étoile/planète	Recueil des représentations. Mise en situation de projet : créer un dossier multimédia. Élaborer des questions.	Maîtriser la recherche documentaire : sommaire, index, mots clés, liens Internet. Lecture sélective.	Stratégies de lecture d'un texte documentaire et d'un site Internet. Éléments du paratexte.	Étude des grands Nombres. Classement de données. Comparaison.	Apprendre à mener une recherche par mots clés, à sélectionner et parcourir un site, à localiser une information.
2. Les tailles des planètes	Discussion en groupes. Débat collectif. Sélectionner une question de recherche. Comparer les tailles.	Construire une problématique de recherche à partir d'une question. Sélectionner les données, les analyser.	Analyse des caractéristiques d'un document. Les relations texte-image. Stratégies de lecture.	Lire un graphique. Réaliser un histogramme et l'interpréter. Écrire le résultat.	Utiliser un tableur : saisir un tableau de données. Réaliser un graphique à partir du tableau.
3. Les données numériques	Recherche d'informations. Les données chiffrées des planètes.	Distance. Révolution. Rotation. Température. Masse Terre = 1.	Critères d'écriture d'un texte informatif : la fiche.	Géométrie. Maquette (cercles). Lecture de tableaux.	Réalisation d'une fiche descriptive. Recherche d'images.
4. Les caractéristiques des planètes	Recherche d'informations pour écrire des textes descriptifs (surface, particularités).	L'atmosphère, la surface, les particularités. Analyser et sélectionner, synthétiser.	Critères d'écriture d'un texte descriptif. Écriture des textes.	**Arts Plastiques** Peinture des disques ou maquettes.	Production de documents multimédia. Insertion d'images. Liens HTML.
5. Synthèse Institutionnalisation	La classification des planètes. Tableau des caractéristiques.	Construire le problème de classement des données.	Écriture de questions. Création du jeu.	Exposition. Diamètres et distances des planètes.	Présentation de l'hypermédia à des classes.

Le travail des séquences 1 à 5 s'inscrit dans les horaires prévus sur trois semaines. Il nécessite globalement six séances pour le français (2 en lecture et 4 pour l'écriture et la réécriture des textes et des questions), six pour les mathématiques dont 3 pour lire et réaliser des histogrammes (1 en informatique avec un tableur) et six à huit pour les sciences, l'informatique étant utilisée de manière transversale.

3.2. Les stratégies didactiques

L'étude des représentations a montré une diversité des opinions fondées sur des connaissances mal maîtrisées. Pour passer à une connaissance scientifique, il faut que celle-ci soit problématisée, fondée en raison. Dès qu'il s'agit de science à l'école, il faut penser débat scientifique et argumentation (Fabre, Orange, *op. cit.*).

Pour cela, chaque situation didactique s'organise en trois étapes.

• *La construction du problème*

Chaque situation s'appuie sur une question initiale qui indique la position du problème mais ne permet pas de le résoudre sans engager un débat sur les critères permettant de déterminer la solution. Il s'agit donc de construire en petits groupes les critères de recherche afin de repérer des arguments pour justifier une solution.

• *La recherche documentaire*

les trois étapes de la démarche didactique

Un débat collectif permet ensuite de confronter les propositions des différents groupes pour élaborer une problématique commune et fonder une raison partagée (Fabre, Orange, *op. cit.*). Ce cadre problématique oriente la recherche et permet une sélection des informations pertinentes dans les données disponibles.

• *La formalisation de la solution*

La mise en commun des résultats de la recherche donne lieu à un second débat en petits groupes pour formaliser une proposition. Un dernier débat collectif conduit alors à une confrontation des propositions et à l'élaboration d'une solution argumentée, soit à une connaissance partagée par la classe.

3.3. Dispositif didactique

Le dispositif aménage des étapes pour construire la notion de classification. Pour Weil-Barais et Lemeignan (1994, p. 97), il apparaît nécessaire d'aider les élèves à construire des connaissances nouvelles en utilisant les registres de fonctionnement où ils ont déjà acquis une certaine autonomie, autrement dit proche de leur domaine d'expérience. Il faut

donc amener les élèves à élaborer des modèles intermédiaires qui possèdent certaines caractéristiques du modèle visé et prépare ainsi son élaboration. Les trois premières situations s'inscrivent dans cette approche.

- ***Situation 1 : les dimensions relatives de la Terre et du Soleil (séquence 1)***

La comparaison porte sur deux éléments à partir d'un questionnement : le Soleil est-il une étoile ou une planète ? Les connaissances des élèves leur permettent d'investir le problème tout en différenciant les caractéristiques de la Terre et du Soleil.

- ***Situation 2 : les dimensions relatives des planètes (séquence 2)***

apprendre à construire et à résoudre des problèmes

La comparaison des diamètres amène à repérer que les planètes se répartissent en deux groupes : les petites planètes et les planètes géantes. La solution relance le questionnement : la taille est-elle la seule caractéristique que l'on peut rechercher ?

- ***Situation 3 : les caractéristiques communes des planètes (séquences 3 et 4)***

La construction du problème conduit à diversifier les critères de recherche pour constituer une classification. L'élaboration d'une solution nécessite de penser le mode de représentation le plus adéquat pour penser cette classification : un tableau.

- ***Situation 4 : mobilisation des connaissances (séquence 5)***

À la suite de ces situations de rupture qui conduisent à construire des savoirs nouveaux, le travail de réalisation de l'hypermédia constitue un temps de structuration : les savoirs construits sont mobilisés pour penser un questionnaire pour d'autres élèves. De même, la création d'une maquette des dimensions relatives des planètes et des distances entre elles donne l'occasion de mobiliser les notions travaillées.

Cette forme de modélisation a pour fonction de se représenter le système solaire dans son ensemble. Elle ne résout certes pas les problèmes des mouvements Terre/Lune ou Terre/Soleil et il faudrait ajouter à cette activité de recherche documentaire des situations de modélisation permettant non seulement de se représenter mais aussi d'expliquer et de prédire (Merle, 2000).

Dans le cadre de cet article, nous focalisons l'attention sur les trois premières situations qui visent à opérer une rupture avec une pensée commune. Cela ne signifie pas que la finalisation du projet par la création de l'hypermédia soit pour nous un artifice pour impliquer l'élève dans la tâche. Les

documents multimédias créés, comprenant des fiches d'identité avec des données numériques, des textes descriptifs et des photographies des planètes, constituent des écrits scientifiques. Ces écrits sont non seulement les traces de l'activité scientifique mais interviennent dans le travail d'élaboration de la science et la structuration des idées (Astolfi *et al.*, 1991).

4. L'EXPÉRIMENTATION

des ressources documentaires multiples

Cette expérimentation a été menée comme nous l'avons indiqué dans une classe de cours moyen (11 CM1 et 11 CM2) en début d'année scolaire. Nous faisons l'hypothèse que les élèves peuvent s'engager dans un processus de problématisation par un débat scientifique en petits groupes, leur permettant de mener une recherche et d'aboutir à une classification. Le rôle de l'enseignant est d'aménager le milieu didactique afin que l'élève y trouve les ressources nécessaires pour investir le problème et le résoudre, ici en mettant à disposition des ressources documentaires multiples et en organisant des situations de débat scientifique. Il assure un rôle de médiateur dans les groupes de discussion afin d'aider à orienter l'activité par des reformulations, des rappels de la tâche, des synthèses partielles permettant de faire avancer les échanges.

4.1. Méthodologie

Nous avons assuré ce rôle de médiateur dans les premières parties spécifiques au travail sur la problématisation dans les situations étudiées afin que le travail s'effectue selon le cadre défini, l'enseignante (1) étant observatrice et notant les remarques des élèves. Les phases de recherche dans les documents (menées avec une grande autonomie par les élèves) et les travaux dans les autres disciplines (en français et mathématiques) ont été assurés par l'enseignante à partir de fiches préparées ensemble. Elles ont été observées ponctuellement par nous. Les élèves ont été répartis en cinq groupes homogènes entre eux. Ces groupes de 4 à 5 élèves sont restés les mêmes tout au long du travail. Nous avons enregistré deux groupes (G1, CM1 et G2, CM2) dans les différentes phases et transcrit les échanges afin de recueillir des données longitudinales. De même, les phases de synthèse collective ont été enregistrées et analysées. Les interventions

(1) Je tiens à remercier l'enseignante Martine Bonheure de sa collaboration. Ses observations en situation et nos échanges m'ont permis de mieux analyser les conduites des élèves.

notées par l'enseignante ont été ajoutées à ce corpus. Nous avons sélectionné les remarques les plus significatives pour illustrer le travail mené. Les indications E1, E2. désignent des élèves différents que nous n'avons pas identifiés et G1 à G5, les groupes.

4.2. Situation 1 : la distinction étoile/planète

Cette situation vise à provoquer un premier débat à partir d'une question sur laquelle les élèves ont déjà des notions : le Soleil est-il une étoile ou une planète ? Et la Terre ? Une réflexion sur les tailles relatives de deux objets du système est introduite avant un élargissement à la comparaison de l'ensemble des planètes. Cette étude apparaît nécessaire comme l'indique la réflexion de Monia dans l'entretien préalable. Nous y retrouvons un mélange de connaissances mal maîtrisées et de centration sur le modèle de la Terre : *Jupiter c'est la plus grande. La Terre est plus grande que le Soleil, un petit peu. C'est l'avant-dernière avant Jupiter.*

De plus, les élèves découvrant une nouvelle forme de travail, le débat, cette séance permet de faire vivre les cinq phases de la démarche :

les cinq phases du travail

1. un débat en petit groupe pour construire le problème ;
2. un débat collectif pour élaborer une problématique commune de recherche ;
3. une recherche individuelle ou en binôme ;
4. un débat sur la solution par groupe avec production d'un écrit de synthèse ;
5. un débat collectif pour confronter les résultats et élaborer un savoir commun.

Le premier débat de G2 montre la difficulté pour les élèves à faire des propositions et à échanger autour d'un thème. La diversité des arguments révèle les difficultés :

- à trouver des arguments scientifiques :
  E1 : *Le Soleil c'est une étoile parce que personne n'y habite.*
- à dépasser une représentation première :
  E2 : *Une planète, c'est quelque chose de rond et on peut aller dessus.*
  E3 : *Oui mais le soleil c'est rond comme une planète.*

Ces derniers échanges, repérables chez plusieurs élèves, méritent qu'on s'y arrête. En quoi le fait qu'une étoile soit ronde pose-t-il problème pour les élèves ? La remarque d'un élève apporte peut-être une réponse : *le soleil c'est rond, c'est pas une étoile ; c'est une planète parce qu'une étoile, c'est hérissé de pointes !* Habitué à voir représenter les étoiles sous la forme figurative d'un rond hérissé de pointes brillantes, l'élève ne peut se détacher de cette représentation imagée pour construire la notion. C'est ici une représentation première, fondée sur une imagerie pittoresque, qui fait obstacle à la culture scientifique (Bachelard, *op. cit.*, p. 19).

une étoile, c'est hérissé de pointes

Dans un autre groupe, les arguments prennent en compte des caractéristiques de température et de surface pour interroger les possibilités de vie en surface :

une étoile : on n'habite pas dessus

E4 : *La terre ne peut pas être une étoile parce qu'elle ne brûle pas. Le Soleil ne peut pas être une planète parce qu'on n'habite pas dessus, ça serait trop chaud. On ne peut pas monter dessus, c'est une étoile brûlante.*

La phase collective de confrontation des propositions amène à dégager à partir des contraintes empiriques (*on n'habite pas dessus, ça serait trop chaud*) des critères construits : *une étoile, c'est gros, brûlant, c'est une boule de feu. La Terre, c'est une planète, c'est rond, on peut vivre dessus.*

Les propositions conduisent à retenir ces critères : la température, la surface, l'atmosphère, la taille. La notion de diamètre est précisée, ce type de travail nécessitant d'introduire selon les besoins un lexique spécifique.

La classe est séparée en deux pour travailler, d'une part, sur des livres documentaires et, d'autre part, sur ordinateur en salle informatique avec une rotation pour que tous les élèves utilisent les différentes ressources (phase 3). Pour ce premier travail, un site a été sélectionné sur les différents postes. Les élèves travaillent par deux et il faut donc opérer ensuite une synthèse dans chaque groupe (phase 4).

Les renseignements trouvés permettent de conclure dans la seconde confrontation collective (phase 5) qu'une étoile est beaucoup plus grande qu'une planète, et brûlante. L'analyse des résumés rédigés le lendemain dans les cahiers de sciences fait cependant encore apparaître quelques textes avec des idées peu précises (4/22) ou valorisant les idées premières (6/22), les autres tentent de faire émerger des caractéristiques différentes avec une idée d'opposition (12/22).

Émilie (CM1) : *La différence entre une étoile et une planète c'est que l'étoile est plus grande. Il fait plus chaud et il n'y a pas d'atmosphère tandis qu'une planète c'est tout le contraire.*

On trouve là une recherche d'une mise en relation des raisons. En analysant quelques résumés, on peut passer d'un registre empirique initial (c'est gazeux, chaud) à un premier registre du modèle et des nécessités qu'elles font peser sur le modèle (Orange, 1999), ici, la nécessité d'une combustion interne des gaz (une planète gazeuse étant froide). Cette nécessité n'est pas construite dans ce premier débat mais cette analyse indique ce que peut devenir le débat scientifique dans la classe : il s'agit de faire construire aux élèves tout ou partie du réseau de nécessités (*op. cit.*).

construire un réseau de nécessités

4.3. Situation 2 : la taille des planètes

Le résultat de l'enquête sur les représentations est présenté aux élèves : une moitié de la classe pense que les planètes sont de la même taille que la Terre, l'autre que les planètes sont de tailles différentes. Comment savoir qui a raison ? À partir de

cette question qui fixe la position du problème mais ne le définit pas, les élèves se remettent en petits groupes pour le construire. Devant la difficulté de certains groupes à s'engager dans la réflexion, la question est reformulée : toutes les planètes sont-elles de la même taille ? Elle est peut-être trop inductive mais la construction du problème s'engage alors.

• *La construction du problème*

L'exemple du groupe 1 restitue la nature des échanges.

Nicolas : *Il faut chercher dans les documents.*
M (M : médiation de l'enseignant dans le débat) : *Mais qu'est-ce qu'il faut chercher ?*
Marie : *La carte d'identité.*
Adeline : *Il faut faire un graphique.*
M : *Oui mais pour faire ce graphique de quoi as-tu besoin ?*
Joaquim : *Il faut savoir les mesures.*
Léo : *On peut chercher sur Internet.*

La première remarque est un raccourci de la question à la solution qui montre la nécessité de construire le problème. L'élève a le désir de s'engager dans la recherche sans même savoir ce qu'il cherche ! Adeline mobilise les savoirs acquis parallèlement en mathématiques, l'outil graphique devient un moyen pour agir. La proposition de Joaquim est reprise dans la synthèse collective pour définir la problématique de recherche : quels sont les mesures des diamètres des planètes ?

• *La phase de recherche*

Le travail de recherche donne l'occasion de mener *"une consultation raisonnée du support d'information"* (*DAP*, 2002) par l'utilisation de mots-clefs proposés par les élèves. La recherche sur Internet amène à constater des variations de mesure.

Tableau 2. Comparaison des résultats de la recherche sur les mesures

Les diamètres	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune	Pluton
1. Livre L'univers	4878	12103	12756	6786	142984	120536	51118	49528	2284
2. La documentation	4800	12000	12800	6400	142000	120000	51300	50000	2800
3. Internet Institut M C	4879,4	12103,6	12756,2	6794	142984	120536	51118	49528	2390
5. Planetscapes.com	4879	12104	12756	6794	142984	120536	51118	49492	2320

développer un esprit critique

Interroger cette diversité de résultats, c'est développer un esprit critique et apprendre à discerner parmi les sources d'informations celles qui paraissent pertinentes par rapport à la recherche. Ici, c'est le site de l'Institut de Mécanique Céleste (www. imcce.fr) qui est retenu car l'étude montre que

son rôle est de mesurer alors que les autres données sont des reprises d'autres sources avec parfois des imprécisions.

• *L'élaboration de la solution*

utiliser une pluralité de modes de représentation

Un document regroupant ce tableau, un histogramme des diamètres réalisé sur ordinateur par les élèves et une image représentant les planètes à l'échelle est proposé aux élèves pour construire une classification selon la taille. Pour Astolfi *et al.* (1991), l'utilisation d'une pluralité de modes de représentation facilite l'élaboration scientifique par des transcodages entre représentations, d'un tableau à double entrée à un histogramme ou une représentation iconique. Cette pluralité de modes sémiotiques peut aider à la structuration des idées.

Nous étudions ici le groupe 2 (CM2) dans l'analyse de ce document.

M : *Que peut-on dire des planètes en dehors du fait qu'elles ne sont pas pareilles ?*

1 Jennifer : *Elles ne sont pas de la même couleur.*
2 Hugo : *Elles ne sont pas à la même distance du Soleil.*
4 Léa : *Les deux plus grandes sont Jupiter et Saturne.*
5 Hugo : *En voyant le graphique, on peut confirmer qu'elles sont plus grandes.*
6 Sarah : *Sur le graphique : on voit que Jupiter est la plus grande.*
7 Léa : *Vénus et Terre c'est pareil.*
8 Hugo : *Jupiter est plus grande que Saturne.*
9 Jennifer : *Il a une tache rouge.*
10 Hugo : *Maîtresse, on dit des bêtises.*
11 Sarah : *On peut marquer.*
12 Hugo : *C'est bien !*
13 Sarah : *Grâce au graphique, on peut voir qu'elles sont plus grandes.*
14 Léa : *On peut voir celles qui sont plus grandes, plus petites.*

Les propositions sont au départ juxtaposées (L1 à 4). L'intervention de Léa (L4) amène Sarah et Hugo à étudier l'histogramme. Puis, Hugo tente de perturber le débat du groupe (L10, L12). La remarque pertinente de Léa (L14) passe alors inaperçue. Cet exemple montre la difficulté à engager une nouvelle forme de travail didactique.

• *La synthèse collective*

des comparaisons locales...

La phase de synthèse fait apparaître que les différents groupes ont dans l'ensemble l'idée d'une comparaison deux à deux des planètes comme le groupe 1 (L7, L8). La synthèse écrite du groupe 3 est représentative : *"Jupiter et Saturne sont des grandes planètes. Uranus et Neptune sont presque de la même taille. Vénus et la Terre sont de la même taille. Mercure, Mars et Pluton sont des petites planètes."*

Mais là où les autres groupes indiquent un ou deux exemples de planètes de même taille, ce groupe identifie quatre classes, ce qui fait avancer le débat collectif. Cependant les élèves ne perçoivent pas comment aller au-delà. Une image (poster) des tailles relatives des planètes est montrée mais de nouveau les élèves s'intéressent aux faits de surface. Aucun ne relève de différence globale de taille. Ce fait illustre la difficulté signalée à engager un processus de problématisation dans une classe. L'enseignant doit alors mettre en évidence une remarque d'un élève, induisant ainsi à partir d'un cas, un questionnement sur le mode de classification choisi :

Kalvin : *Je ne suis pas d'accord parce qu'on peut mettre les grandes avec les grandes et les petites avec les petites.*
M : *Lesquels mets-tu ensemble ?*
Kalvin : *Mercure, Vénus, Terre, Mars, et Pluton et Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune.*

En reprenant les documents, les élèves sont d'accord pour distinguer deux groupes de planètes. Mais sans l'intervention d'un élève, nous constatons que la mise en relation des données ne s'effectuait pas. La principale raison de cette absence d'élaboration tient à ce que les élèves procèdent spontanément à des comparaisons locales de mesure, prises deux à deux et n'examinent pas plus largement les relations entre les mesures (Weil-Barais, 1994, p. 109). Mais cette difficulté conceptuelle devient du coup la source d'une difficulté didactique car il faut alors un étayage important pour faire prendre en compte le problème par l'ensemble de la classe.

...à une mise en relation pour une comparaison globale

4.4. Situation 3 : Les caractéristiques communes des planètes

La classification obtenue amène un nouveau questionnement : les petites planètes ont-elles d'autres caractéristiques communes que la taille ? Et les planètes géantes ?

• *Construction du problème*

Groupe 2 en autonomie :
Sarah : *On cherche une planète par exemple Mars, on regarde ses caractéristiques et on regarde après pour chaque planète pour savoir si y en a qui sont pareilles.*
Léa : *On peut chercher.*
Hugo : *On regarde toutes les planètes.*
Léa : *On marque si elles sont différentes ou pas. On sait qu'elles sont pas pareilles.*
Sarah : *On cherche les caractéristiques de chaque planète pour voir si elles sont pareilles.*
Avec l'enseignant :
M : *Quelles caractéristiques cherchez-vous plus précisément ?*
Sarah : *La taille.*
M : *En dehors de la taille ?*
Léa : *Elles ont des choses en commun.*
M : *Oui mais quoi ?*

Hugo : *Elles sont rondes.*
Léa : *Elles ont des satellites, y a des planètes qu'en ont plus.*
En autonomie :
Sarah : *Qu'est-ce qu'on marque ? Il y en a avec des anneaux.*
Léa : *Elles n'ont pas toutes des anneaux.*
Jennifer : *Mars n'a pas d'anneau.*
Avec l'enseignant :
M : *Quelle question peut-on poser ?*
Sarah : *Quelles planètes ont un anneau ?*
Léa : *On va pouvoir séparer celles qui ont un anneau de celles qui n'en ont pas.*

apprendre à mener un débat scientifique

Par rapport au débat de la situation 2, le travail marque des progrès dans l'écoute, le respect et la coopération. Les élèves mobilisent les connaissances acquises en parcourant les documents. Les remarques ne sont plus juxtaposées mais se complètent. Les interactions font avancer le débat qui devient scientifique : il aboutit à une confrontation argumentée des idées. Le médiateur aide à opérer des reformulations, des synthèses, rappelle le but : formuler des questions de recherche. La synthèse des différents groupes élargit les propositions.

Tableau 3. Synthèse des propositions de critères

G 1	*La taille (Vénus et Terre). Une tache à la surface de Jupiter. Pas de satellites.*
G 2	*Est-ce que les planètes ont un anneau ? Le nombre de satellites. Même diamètre Vénus et Terre.*
G 3	*Les satellites. Elles ne sont pas de la même couleur, elles n'ont pas toutes des anneaux, elles n'ont pas la même masse.*
G 4	*L'atmosphère, il y a des planètes qui ont une atmosphère d'autres pas. La tache de Jupiter.*
G 5	*Quelles planètes ont des anneaux ? Les taches à la surface. Si elles sont gazeuses ou rocheuses, habitées ou non ?*

un cadre structurant pour la recherche documentaire

Les élèves ne restent pas sur la construction du problème mais cherchent déjà des solutions grâce à leurs acquis. La réflexion collective, guidée par l'enseignant, conduit à engager deux types de recherche : l'une sur des données (température, masse, satellites), l'autre sur des descriptions (atmosphère, relief et particularités). Ces critères sont édités afin que chaque élève dispose d'une fiche de recherche comprenant une fiche d'identité pour les données numériques et des cadres pour les descriptions. Ce support papier constitue un guide pour l'exploration des documents et l'extraction des informations. Ces fiches éditées sur ordinateur dans la séquence cinq et reliées ensemble constituent l'hypermédia sur le système solaire.

• *L'élaboration de la solution*

Au terme des recherches documentaires effectuées sur deux séances, les élèves se regroupent pour faire la synthèse des informations recueillies. La question suivante est posée : *"Comment allez-vous présenter votre travail pour montrer les caractéristiques communes et les différences ?"* Les discussions dans les groupes aboutissent à des traces écrites.

Nous distinguons quatre modes de représentation.

a) Des textes descriptifs juxtaposés ou organisés pour marquer les oppositions

G2 : Vénus et Terre ont le même diamètre. L'atmosphère de Saturne et Jupiter sont pareilles.

G1 : Uranus, Neptune, Jupiter et Saturne leur surface sont gazeuses. Toutes les autres planètes sont rocheuses.

b) Des listes

de la liste au tableau...

G1 : Les planètes qui ont un anneau
- Jupiter
- Uranus
- Neptune
- Saturne

Mercure, Vénus, Terre, Mars, Pluton.

c) Des tableaux construits autour d'un critère

G2 :

Ceux qui ont des anneaux	Ceux qui n'ont pas d'anneaux
Jupiter Saturne...	La Terre Mercure ...

d) Un tableau à double entrée tentant d'opérer une synthèse

G3 (Anthony, David, Cathy, Monya en CM2) :
Elles ont toutes des satellites. Elles ne sont pas toutes de la même couleur. Elles n'ont pas toutes la même masse.

	Pluton	Mars	Terre
Masse			
Diamètre			

Plusieurs synthèses utilisent à la fois des textes et des listes mais une seule un tableau à double entrée. Nous constatons que les formes graphiques produites ne facilitent pas une mise en relation des critères. La liste est cependant intéressante puisqu'elle correspond sur un plan épistémologique à une des premières formes d'écriture. Elle permet par l'extension des termes de la liste d'élargir les connaissances et d'accéder ainsi à une raison graphique qui aide à structurer la pensée (Goody, 1979).

- ***Synthèse collective***

...des difficultés à mettre en relation les critères

La synthèse amène à mettre en tableau les textes et les listes, ce qui conduit à juxtaposer plusieurs tableaux. L'enseignante demande alors : *"Comment peut-on mettre tous les renseignements ensemble ?"* Mais les élèves proposent de nouvelles listes pour ajouter des critères sans parvenir à mettre en relation les données. Comme dans l'exemple précédent, c'est la difficulté conceptuelle, variable selon les élèves, à mettre en relation les informations qui devient une difficulté didactique pour construire le problème et assurer sa dévolution à l'ensemble des élèves.

Nous avons indiqué que pour Fabre et Orange (*op. cit.*), le processus de problématisation se déploie selon deux axes, d'une part, selon les conditions de possibilité du problème et, d'autre part, selon ses données, la construction du problème résultant des interactions entre ces deux axes. Ici, les élèves ont repéré les conditions de possibilité d'une classification en faisant émerger des critères de différenciation, mais c'est dans la mise en relation des données qu'ils ont des difficultés et dès lors le problème ne peut avancer vers sa solution tant que les critères et les données ne sont pas mis en interactions.

Il s'agit là d'une réelle difficulté didactique à mener le processus de problématisation de la construction du problème à sa résolution. Comment peut-on engager ce processus afin que le plus grand nombre s'approprie le problème ? Face à cette difficulté, l'enseignante n'a pas d'autre choix pour faire opérer une rupture par rapport à une représentation juxtaposée des données que d'imposer la solution repérée par un seul groupe : Monya (G3) *"On peut mettre en colonne les noms des planètes et à côté la masse, le diamètre."* L'enseignante assure un guidage plus fort en demandant aux élèves les critères recherchés dans le tableau. Cet outil constitue un élément de réponse aux difficultés des élèves car il leur permet de s'approprier les données et d'investir le problème. Il devient un instrument pour penser le problème.

une élaboration collective de la solution

Chaque groupe note les résultats de sa recherche puis une synthèse est élaborée.

Tableau 4. Matrice de comparaison des caractéristiques des planètes

	M	V	T	M	J	S	U	N	P
Surface rocheuse	+	+	+	+					+
Surface gazeuse					+	+	+	+	
Atmosphère		+	+	+					
Anneau					+	+	+	+	
Plus de 2 satellites					+	+	+	+	
N'a pas de satellites	+	+							

• *Interprétation des résultats*

Il faut alors analyser cette synthèse. Mais, malgré les situations de lecture de tableaux mises en place auparavant en mathématiques, les élèves peinent à dégager une signification.

E1 : *Ça fait petit puis grand.* (lecture ligne à ligne)
E2 : *Y en a qui sont pareilles et qui sont pas pareilles.*
E3 : *Il y a un côté, il y a beaucoup de croix, l'autre c'est tout perdu.*
Émilie : *Les planètes géantes elles ont plus de trucs.*

À partir de cette remarque, il devient possible de formaliser la classification. Qu'est-ce que les planètes géantes ont en

commun ? Mais, là encore, c'est la solution repérée par une élève qui doit devenir celle de toute la classe, infirmant notre postulat initial de faire d'une solution la réponse à un problème construit par tous.

M : *Qu'est-ce qu'elles ont en commun ?*
Émilie : *Tout à part rocheuse et l'atmosphère.*
M : *Quelles sont leurs propriétés communes ?*
Antoine : *Gazeuse.*
Sarah : *Anneau.*
Anaïs : *Beaucoup de satellites.*

le tableau : un outil pour la pensée

Au final, les propriétés associées à chaque classe sont ainsi identifiées par les élèves. La mise en forme graphique du tableau joue ici un rôle essentiel pour dégager la solution. Par leur caractère synoptique, les représentations graphiques favorisent l'expression de relations entre éléments, ces relations ayant tendance à s'organiser en systèmes de formes globales. L'autonomisation du signifiant (plus de "trucs") par rapport au signifié est à la base même de sa fécondité (Astolfi *et al.*, 1991, p. 110). L'outil joue un rôle d'organisation de la démarche dans un processus interactif entre outils successifs et réalisation effective de la recherche documentaire. La représentation graphique, en faisant ainsi apparaître les continuités ou discontinuités, a certes un caractère structurant, mais pas pour tous les élèves en même temps.

• *Évaluation*

Un travail écrit effectué une semaine plus tard permet de repérer que dans l'ensemble (15/22) les élèves distinguent deux classes : en s'appuyant sur un critère (4/22), et 11/22 utilisent au moins trois critères. Par rapport à notre hypothèse initiale, seule une moitié de la classe est parvenue à accéder aux raisons de la classification comme dans ce texte où l'élève met en relation les données.

Léo (CM1) : *C'est les planètes géantes qui ont le plus de satellites. Les planètes géantes ont des anneaux. Ça nous a permis de savoir que les planètes géantes sont gazeuses et les petites sont rocheuses.*

Nous interprétons ce bilan en partie contraire à notre attente comme résultant des effets conjugués de trois variables dans l'élaboration d'une culture de l'élève :

des variables constitutives d'une culture de l'élève

- une culture scientifique en construction : les élèves n'étaient pas habitués à partir d'un questionnement et à s'engager dans une démarche d'investigation ;
- une culture didactique non installée dans la classe (exemple de G2) ; dans ce travail, mené en début d'année, les élèves n'étaient pas familiarisés avec *"la nouvelle 'coutume didactique'"* (Astolfi, Peterfalvi, 1997) ;
- une culture instrumentale à développer ; il faut amener les élèves à utiliser différents outils de représentation graphique comme moyens de leur action, les schèmes associés les transformant en instruments pour la pensée.

5. CONCLUSION

Dans cette expérimentation, les résultats montrent les difficultés conceptuelles, didactiques et méthodologiques à engager les élèves dans un processus de problématisation. Et pourtant, ils se posent des problèmes !

Dans la dernière confrontation collective, en observant le tableau, Kalvin demande : *"À quoi y sert Pluton parce qu'il est avec les grosses planètes mais..."*. L'élève fait là une remarque pertinente qui rejoint les interrogations actuelles sur la formation de Pluton. Analysant les faits, il note un écart entre la position de Pluton qui figure parmi les planètes géantes, pour lesquelles il a identifié de manière empirique des caractéristiques de taille et de surface, et les caractéristiques de Pluton. Il perçoit intuitivement que la planète ne correspond pas au modèle de formation des planètes joviennes. L'enjeu est de faire expliciter ce registre du modèle, de dégager des nécessités de taille pour la composition gazeuse, de distance au Soleil pour la structure du noyau et donc de construire les raisons qui peuvent expliquer la formation des planètes.

En introduisant un texte scientifique sur la formation du système solaire, il est peut-être possible d'accéder à ces raisons, sinon à ce niveau de scolarité, au moins ultérieurement ou en formation d'enseignant comme exemple de construction de modèle. C'est une hypothèse à vérifier. Mais si les élèves se posent des problèmes, ils pensent également à des solutions. Ainsi, dans son groupe (G1) Léo avance cette explication en réaction à l'affirmation de Joaquim.

Joaquim : *Toutes les planètes géantes ont plusieurs satellites.*

Léo : *Peut-être que comme c'est des grandes planètes gazeuses, peut-être que ce sont des gaz qui se sont échappés pour faire des petites planètes.*

Partant des données sélectionnées, il problématise la proposition de Joaquim au sens où il dégage d'une part des raisons pour l'expliquer et d'autre part des faits. Ce déploiement des deux axes caractérise un processus de problématisation qui pourrait mener, en l'approfondissant, à dégager un modèle de formation. Cet élève, par ses nombreuses lectures, est déjà dans une culture scientifique. Son résumé (ci-dessus) apparaît alors bien comme une solution à un problème qu'il s'est approprié. Et finalement, la difficulté des élèves à classer les planètes en deux groupes et à dégager les critères de ces classes tient peut-être au fait qu'ils ne savent pas quel problème ils doivent résoudre (2). Le problème de l'identification des

(2) Les remarques de cette conclusion doivent beaucoup à mes échanges avec Christian Orange que je remercie de m'avoir aider à avancer dans cette réflexion.

caractéristiques communes peut en effet apparaître trop complexe à cet âge car c'est un problème ouvert qui admet plusieurs solutions de classification selon la détermination du problème et confronte les élèves à des données multiples à mettre en relation. Nous avons montré que cela génère une difficulté didactique pour des raisons conceptuelles mais aussi culturelles, tous les élèves d'une classe n'ayant pas au même moment une culture commune, scientifique, didactique et instrumentale leur permettant de s'engager de la même manière dans le processus de problématisation. Il faut donc adapter le questionnement, soit l'entrée dans le processus, afin d'y associer le plus grand nombre.

repérer un problème adapté...

L'expérimentation aide de ce point de vue à repérer un problème mieux adapté. Dans la situation 1, pour distinguer une étoile d'une planète les élèves se sont demandés si on pouvait vivre dessus. Par rapport à leurs préoccupations, aux problèmes qu'ils se posent, ne faudrait-il pas mieux déterminer la position du problème ainsi : quelles sont les planètes qui pourraient être explorées par l'homme dans l'avenir ? Ce questionnement plus précis faciliterait peut-être la dévolution du problème. Il amènerait davantage d'élèves à le construire par eux-mêmes et à mettre en lien les informations recueillies. Il entraîne certes un guidage plus fort de l'activité mais assure sa réussite. Nous pourrions obtenir une classification très proche, fondée sur des raisons construites, en partie communes avec celles identifiées, mais aussi différentes, par exemple la température deviendrait une raison déterminante pour s'installer ou non sur une planète. La question de la classification en planètes gazeuses et rocheuses prendrait alors sens par rapport à un problème "pratique" (est-il possible d'habiter dessus ?) et la solution construite aurait une signification par rapport au problème, par rapport aux conditions de possibilité d'une exploration.

...pour donner sens à la solution

La difficulté didactique est donc d'identifier derrière la notion scientifique visée un problème accessible aux élèves et dont la construction donne un sens à la solution. Cette expérimentation constitue une étape dans la recherche des modalités didactiques d'un travail sur la problématisation. C'est en alternant expérimentation et analyse des productions des élèves que l'on peut avancer dans l'identification de ces problèmes qui donnent à leur solution une signification épistémologique.

Norbert FROGER
CREN, Université de Nantes

BIBLIOGRAPHIE

ALAVA, S. (1997). Apprendre avec le multimédia. *Clés à venir n° 14,* Des souris et des docs... CRDP de Lorraine.

ASTOLFI, J.-P., PETERFALVI, B. & VÉRIN, A. (1991). *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales.* Paris : INRP.

ASTOLFI, J.-P., ARVIEU, Y., CANTOR, M., AUGIER, A. & SCHNEEBERGER P. (1996). *Sciences et technologie CM1/CM2. Guide pédagogique.* Paris : Nathan, collection *Gulliver.*

ASTOLFI, J.-P. & PETERFALVI, B. (1997). Stratégies de travail des obstacles : dispositifs et ressorts. *Aster, 25,* 193-215.

BACHELARD, G. (1938, 1993). *La formation de l'esprit scientifique.* Paris : Vrin.

BRAHIC, A. (2001). *Planètes et satellites.* Paris : Vuibert.

Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale n° 1 (2002), Programmes pour l'école primaire. Paris : Ministère de l'Éducation Nationale.

Document d'Application des Programmes (2002), Sciences et technologie. Paris : CNDP.

FABRE, M. (1995). *Bachelard éducateur.* Paris : Presses Universitaires de France.

FABRE, M. & ORANGE, C. (1997). Construction des problèmes et franchissement d'obstacles. *Aster, 24,* 39-57.

FROGER, N. (1987). *Le soleil et ses planètes,* logiciel pour nanoréseau et TO. Paris : Cédic-Nathan.

GOODY, J. (1979). *La raison graphique.* Paris : Les Éditions de Minuit.

GUICHARD, J. & ZANA, B. (1999). *Sciences et technologie cycle 3.* Paris : Hachette, collection *Les savoirs de l'école.*

HAGÈNE, B. (1993). *Découvrir les planètes.* Paris : La Cité des Sciences, collection *Explora.*

MERLE, H. (2000). Comment aider à modéliser le "le ciel et la Terre". *Aster, 31,* 37-70.

ORANGE, C. (1999). Les fonctions didactiques du débat scientifique dans la classe : faire évoluer les représentations ou construire des raisons ? In *Actes des premières journées scientifiques de l'ARDIST* (pp. 88-92).

ORANGE, C. (2002). Apprentissages scientifiques et problématisation. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle, 1,* 25-42.

WEIL-BARAIS, A. (1994). Les apprentissages en sciences physiques. In G., Vergnaud (Éd.). *Apprentissages et didactiques, où en est-on ?* (pp. 98-126). Paris : Hachette.

WEIL-BARAIS, A. & LEMEIGNAN, G. (1994). Approche développementale de l'enseignement et de l'apprentissage de la modélisation. In J.-L., Martinand (Éd.). *Nouveaux regards sur l'apprentissage et l'enseignement de la modélisation en sciences* (pp. 85-113). Paris : INRP/LIREST.

COMMENT CONCEPTUALISER LA HAUTEUR DU SOLEIL EN TANT QU'ANGLE AU CYCLE 3 ?

Hélène Merle
Valérie Munier

La hauteur du Soleil est souvent assimilée à une longueur alors qu'elle désigne, en astronomie, l'angle que fait la direction de visée du Soleil avec le plan horizontal. Avec des élèves de 10-11 ans, cette conception se double d'une difficulté supplémentaire liée au concept d'angle.
Nous avons confronté quatre classes de cours moyen au problème du repérage de la hauteur du Soleil et comparé deux méthodes couramment employées dans les classes : la méthode de l'ombre portée sur le sol d'un objet vertical et la méthode de visée directe du Soleil.
L'analyse des séquences et des évaluations a posteriori montre d'une part que la majorité des élèves est capable d'identifier la hauteur du Soleil à un angle, alors même que cette identification était laissée à leur charge. D'autre part la méthode de visée, qui confronte les élèves à la conception d'un instrument de mesure de la hauteur du Soleil puis à son utilisation, s'avère plus pertinente pour atteindre l'objectif visé.

1. INTRODUCTION

Les programmes français de sciences expérimentales pour le cycle des approfondissements (Bulletin Officiel n° 1, 14 février 2002) précisent que "*l'objectif est en tout premier lieu d'observer méthodiquement les phénomènes les plus quotidiens*", parmi lesquels "*le mouvement apparent du Soleil*". La démarche préconisée "peut recourir à diverses formes de travail", en particulier l'"*observation directe ou assistée par un instrument, avec ou sans mesure*".

L'observation du mouvement apparent du Soleil confronte les élèves à ses changements de direction, d'est en ouest, au cours de la journée. Cet aspect est largement développé dans les programmes et documents d'application ; il est préparé par des activités relatives aux ombres, aux cadrans solaires et aux points cardinaux et ne sera pas abordé dans cet article.

la hauteur du Soleil : un angle

Mais, lors de sa "course" journalière, le Soleil change également de hauteur depuis son lever jusqu'à son coucher en passant par sa culmination à midi solaire. Ces changements de hauteur sont facilement perceptibles à l'œil nu mais peuvent faire l'objet d'une observation plus approfondie, en particulier si l'on souhaite suivre l'évolution de la hauteur du Soleil au cours des saisons, ou comparer la situation en divers points du globe à une même date.

Concernant cette hauteur du Soleil, les documents d'application soulignent une difficulté provenant des liens avec le vocabulaire courant : "*Dans le langage courant, le mot 'hauteur' désigne une longueur. En revanche dans le contexte de l'astronomie, la 'hauteur' du Soleil... désigne l'angle que font la direction dans laquelle on peut l'observer à un instant donné d'une part, et le plan horizontal d'autre part. [...]. Si l'on n'y prend pas garde, les élèves peuvent assimiler, à tort, 'haut' à 'loin' et 'bas' à 'proche'.*"

difficultés liées...

Cette difficulté a déjà été évoquée dans diverses publications. Ainsi Jean-Michel Rolando, dans *L'astronomie, la Terre et les astres* (Rolando, 1993), parle d'une confusion possible entre la conception de l'astronome et celle de jeunes enfants (figure 1) :

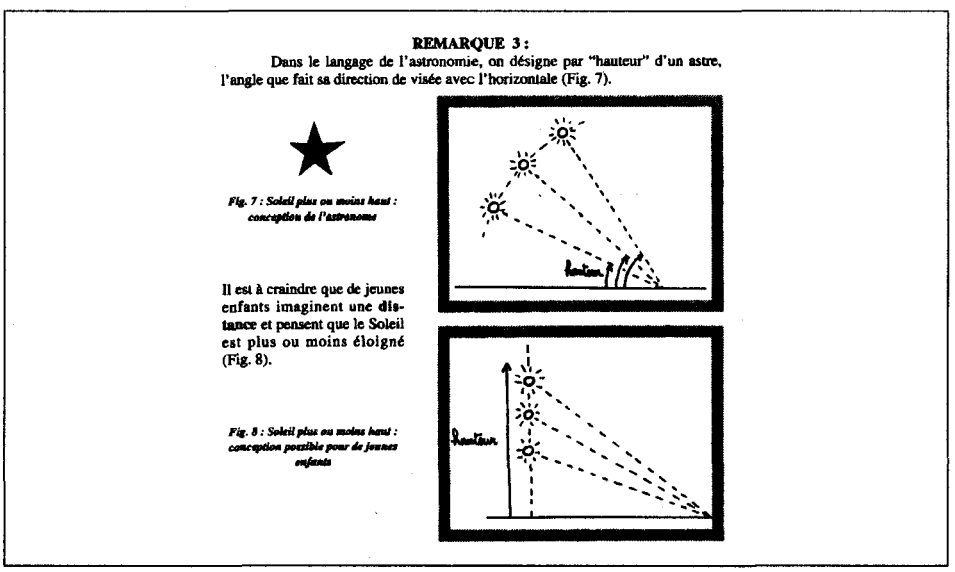


Figure 1.

L'erreur évoquée consiste à concevoir la hauteur du Soleil comme sa distance par rapport au plan horizontal, cette distance étant bien sûr variable au cours de la journée. Une autre conception, plus primitive, consisterait à confondre hauteur du Soleil et distance du Soleil par rapport à la Terre. Dans les deux cas, la hauteur est ainsi assimilée à une longueur.

Il s'agira donc de faire concevoir par les élèves que la hauteur du Soleil n'est pas une distance mais un angle.

...au vocabulaire courant,

Or des travaux de didactique (Berthelot et Salin, 1994-1995) ont montré que la construction de la notion d'angle soulève un certain nombre de difficultés. En effet les élèves ont tendance à définir un angle comme une figure composée de

deux segments de même origine. Ainsi deux figures qui diffèrent par la seule longueur des côtés leur apparaissent comme représentant des angles différents. De plus les élèves ont du mal à reconnaître un angle comme sous-figure d'une figure existante. Enfin d'autres travaux de didactique ont montré que les élèves font difficilement le lien entre les concepts géométriques qui leur sont enseignés et l'espace réel (Berthelot et Salin, 1993-1994).

...à la confusion hauteur-distance,

Si les élèves n'ont jamais abordé le concept d'angle, la séquence sur la hauteur du Soleil peut leur permettre de construire cette notion à partir d'une situation physique dans l'espace réel. Dans le cas où cette notion a déjà été abordée en mathématiques, les élèves auront à identifier cette grandeur dans une situation de l'espace réel : ce travail sur la hauteur du Soleil peut alors aider à consolider le concept d'angle.

...au concept d'angle

Notre recherche a consisté à mettre en œuvre et analyser des séquences d'apprentissage au cours desquelles les élèves doivent prendre conscience que la hauteur du Soleil est un angle et repérer (ou mesurer) cette hauteur. Notre but est d'identifier leurs difficultés, de comparer deux procédures permettant de repérer la hauteur du Soleil et d'analyser en fin d'apprentissage le niveau de conceptualisation des élèves.

2. ANALYSE *A PRIORI*

Les difficultés des élèves peuvent provenir, comme nous l'avons rappelé plus haut, d'un problème de vocabulaire : la hauteur d'une montagne ou d'un immeuble sont des longueurs et s'expriment en mètres. De plus, la première grandeur qui est mesurée à l'école est la longueur et cette première activité de mesure est très prégnante pour les élèves : l'idée de mesurer évoque inévitablement pour eux l'utilisation de la règle ou du double décimètre. Les effets de contrat didactique se cumulent donc aux problèmes liés au vocabulaire.

D'autre part nous avons évoqué plus haut les difficultés liées au concept mathématique d'angle. Dans la situation proposée ici ("Comment repérer la hauteur du Soleil ?"), nous avons choisi de laisser l'identification de la grandeur pertinente, à savoir un angle, à la charge des élèves. Le maître ne définit donc pas, au début de la séquence, ce qu'est la hauteur du Soleil.

Dans un travail antérieur nous avions construit, testé et analysé trois situations dans l'espace réel où la grandeur pertinente est aussi la grandeur angle (Munier, 2001, Munier et Merle, 2002 et 2003). La situation analysée ici se différencie des trois autres. En effet, dans les cas précédents, le phénomène pouvait être étudié dans un plan. Le repérage de

la hauteur du Soleil est plus complexe : les élèves manipulent dans un espace à trois dimensions et doivent isoler dans cet espace le plan vertical, non matérialisé, passant par l'observateur et le Soleil. Il en résulte donc une difficulté supplémentaire par rapport aux trois situations testées précédemment et nous analyserons si cette difficulté peut être surmontée par les élèves.

deux méthodes permettent de repérer la hauteur du Soleil : utilisation des ombres ou visée directe

Les deux méthodes envisagées pour repérer la hauteur du Soleil utilisent soit l'ombre sur le sol d'un objet vertical, cette ombre étant plus ou moins longue selon la hauteur du Soleil, soit une technique directe de visée.

2.1. Méthode de l'ombre portée

On peut supposer que la première méthode, que nous appellerons pour simplifier la "méthode de l'ombre", soit la plus spontanée pour les élèves. Ils ont pour la plupart, en effet, abordé le phénomène des ombres au cours de leur scolarité antérieure et les cadrans solaires sont une référence connue, à la fois dans les pratiques scolaires et dans la culture sociale ; de plus l'aspect décoratif des cadrans solaires en font des objets bien connus des élèves.

la méthode de l'ombre, plus spontanée, s'appuie sur une mesure de longueur,

De plus, cette méthode permet une mesure "tangible" pour les enfants puisqu'ils sont amenés à évoquer la relation entre hauteur du Soleil et longueur de l'ombre, et donc à mesurer la longueur de cette ombre, mesure de longueur qui les conforte dans leurs pratiques habituelles. Avec cette méthode, les élèves devront parvenir à schématiser l'expérience comme suit (figure 2) :

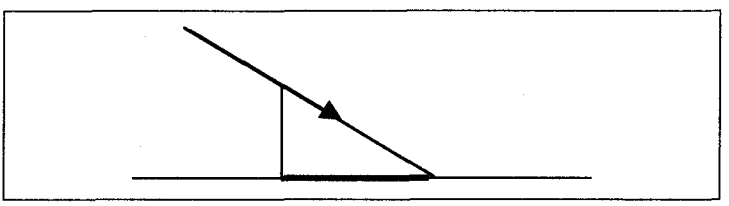


Figure 2.

Notons que la schématisation, pour permettre de déterminer la hauteur du Soleil, doit se faire "de profil" : il s'agit en fait de choisir comme plan de figure le plan vertical contenant le bâton et le Soleil. Cette schématisation suppose la compréhension de la formation des ombres basée sur le modèle de rayons lumineux se propageant en ligne droite. Or des difficultés liées à la notion de trajet rectiligne de la lumière ont été soulignées à plusieurs reprises (Guesne, Tiberghien et Delacôte, 1978 ; Kaminski, 1989) : "*Environ un tiers des élèves [de 13-14 ans] fait correctement appel à la notion de trajet rectiligne de la lumière pour prévoir la grandeur de l'ombre d'un bâton.*"

De plus la réalisation d'une seule expérience et sa schématisation ne peuvent permettre ici d'identifier la hauteur du Soleil

elle nécessite la comparaison de plusieurs schémas

comme l'angle entre le plan horizontal et la direction des rayons solaires. Le maître devra donc veiller à ce que cette expérience soit reproduite au même instant avec plusieurs objets de longueurs différentes. La confrontation des différents schémas permettra aux élèves d'identifier l'invariant : la taille des ombres dépend de la taille de l'objet, mais, au même moment, l'inclinaison des rayons est la même en tout point de la cour, cette inclinaison est "mesurée" par l'angle formé par le sol et les rayons solaires. C'est donc grâce à la confrontation de plusieurs schémas que les élèves pourront identifier ce qui caractérise la hauteur du soleil, à savoir un angle. Notons enfin que dans cette approche, l'angle sera repéré dans une figure géométrique.

2.2. Méthode de la visée

La seconde méthode, que nous appellerons "méthode de la visée", consiste à viser le Soleil et à repérer directement l'écart angulaire entre le plan horizontal et la direction des rayons solaires. Pour opérer cette visée il est nécessaire d'élaborer avec les élèves un dispositif simple et non dangereux pour les yeux. Après la phase de conception d'un tel dispositif par les élèves, l'instrument décrit ci-dessous sera mis à leur disposition. Sur une planchette qui doit être maintenue verticalement dans le plan du Soleil, sont fixées à l'aide d'une attache parisienne les deux branches d'un faux compas (deux languettes de carton articulées). L'une d'elles est solidaire de la planchette et fixée horizontalement, l'autre peut pivoter et viser le Soleil : pour qu'on puisse la diriger correctement vers le Soleil, on colle sur cette branche une paille. Lorsqu'elle est alignée vers le Soleil, un mince pinceau de rayons solaires la traverse et forme une petite tache circulaire sur le sol (figure 3).

dans la méthode de la visée, l'angle est matérialisé

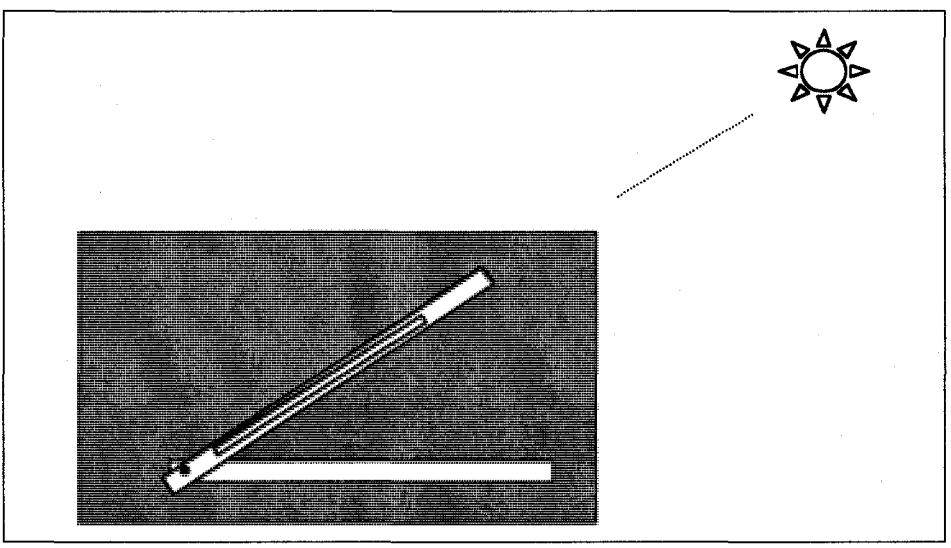


Figure 3.

Cette méthode paraît plus simple et plus pertinente : elle présente l'intérêt que l'angle soit matérialisé par l'écart entre les deux branches du faux compas ; le détour par plusieurs schématisations n'est pas nécessaire. L'idée d'angle apparaît donc de façon plus prégnante.

De plus le plan vertical contenant l'observateur et le Soleil est matérialisé par la planchette dans l'espace réel, ce qui n'est pas le cas avec la méthode de l'ombre.

Malgré ces avantages, il est peu probable que les élèves, qui ne maîtrisent pas ou peu le concept d'angle, aient recours spontanément à cette méthode.

Notons que pour chacune de ces deux méthodes les élèves devront ensuite vérifier que la hauteur du Soleil est la même en tout point de la cour, soit en se déplaçant avec leur instrument, soit en effectuant plusieurs mesures d'ombre à différents endroits de la cour. Ceci permettra de vérifier le parallélisme des rayons solaires.

Les différences entre les deux situations sont résumées dans le tableau ci-dessous :

	Méthode de l'ombre	**Méthode de la visée**
Plan vertical contenant l'observateur et le Soleil	Plan de schématisation sur la feuille, non matérialisé dans l'espace réel	Plan matérialisé dans l'espace réel par la planchette
Découverte de l'angle-hauteur	Invariant dans plusieurs schémas avec des objets de longueurs différentes puis avec un même objet en différents points de la cour	Invariant avec des instruments utilisés en différents points de la cour
Angle	Sous-figure d'une figure	Angle seul
Pré-requis	Parallélisme des rayons solaires, formation des ombres	/
Acquis méthodologiques	Schématisation	Conception d'un instrument de mesure

3. MÉTHODOLOGIE

Les séquences que nous nous proposons d'analyser ont été réalisées dans quatre classes de cours moyen deuxième année, dans des écoles de bon niveau scolaire. Les acquis des élèves concernant la notion d'angle étaient différents et il ne nous a pas été possible de savoir ce qui avait été fait exactement sur les angles au cours des années antérieures dans toutes les classes. Nous n'avons donc pas pu prendre en compte cette variable didactique.

Nous avons focalisé notre attention sur la comparaison de deux procédures et de leur efficacité.

quatre classes de cours moyen 2e année (10-11 ans)

Dans deux des classes, que nous nommerons A et B, après une séance d'introduction au cours de laquelle les élèves évoquent très sommairement les deux méthodes, trois séances sont consacrées à la méthode de l'ombre, puis deux à la méthode de la visée.

Dans les deux classes C et D au contraire, on impose dès la deuxième séance aux élèves d'utiliser une autre méthode que celle de l'ombre. Les élèves privilégient alors la méthode de la visée, à laquelle sont consacrées deux séances.

Toutes les séances, d'une durée moyenne d'une heure, ont été filmées pour permettre une analyse détaillée. Nous avons de plus analysé les travaux de recherche individuels et de groupes (schémas légendés pour la plupart), ainsi que les évaluations proposées aux élèves en cours et en fin d'apprentissage (tests écrits et entretiens individuels filmés).

4. COMPTE-RENDU ET ANALYSE DES SÉQUENCES

4.1. Premières propositions des élèves (1re séance)

Lorsqu'on présente le problème aux élèves, on leur fait évoquer la "course" du Soleil dans le ciel au cours d'une journée. L'échange permet de vérifier que ces élèves de fin de cycle 3 savent qu'entre son lever et son coucher, le Soleil monte dans le ciel depuis l'horizon est jusqu'au midi solaire avant de redescendre vers l'horizon ouest. S'ils sont familiers avec le fait que le Soleil est "plus ou moins haut" dans le ciel, ils ne se sont jamais interrogés sur ce que pouvait être la "hauteur" du Soleil, ni sur la façon de mesurer cette hauteur.

comment repérer la hauteur du Soleil ?

Les élèves doivent répondre, individuellement ou par groupe, à la consigne suivante : "trouvez une méthode permettant de repérer la hauteur du Soleil à un moment donné de la journée". Ils sont ensuite invités à aller dans la cour par petits groupes, avec les objets de leur choix, pour mettre en œuvre et affiner leur méthode. Après ce travail, les élèves rédigent des affiches.

Nous avons trouvé dans toutes les classes des propositions de même type qui se regroupent en cinq catégories :

a) Description

Certains groupes se contentent de décrire le mouvement apparent du Soleil, souvent en s'aidant d'un schéma (figure 4). L'affirmation de la variation de hauteur semble suffire à définir la grandeur en cause comme à trouver une méthode de mesure.

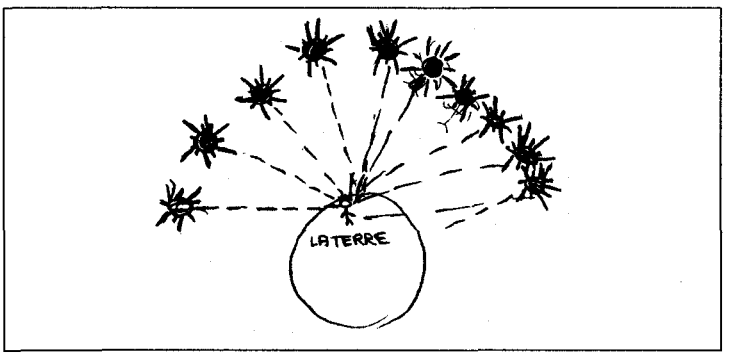


Figure 4.

b) Technique de la règle

certains se limitent à une description, d'autres cherchent à utiliser une règle

Quelques-uns utilisent la "technique de la règle" : il s'agit pour eux de tenir une règle à bout de bras vers le Soleil et de mesurer la distance entre l'horizon et le Soleil (figure 5a). Cette distance s'exprime donc en cm.

Les propositions sont souvent très maladroites, le bras tenant la règle étant plus ou moins horizontal, le "zéro" de la règle coïncidant selon les cas avec la cime d'un arbre (figure 5b), le toit d'un immeuble ou le sol de la cour.

Souvent les élèves se demandent ensuite par quel nombre il faut multiplier le résultat en cm qu'ils obtiennent et suggèrent des conversions : "*nous ne savions pas combien 1 cm valait en km*", "*À l'horizontal vers le haut on trouve trois crayons environ du Soleil jusqu'au sol. Pour trouver la hauteur exacte entre le Soleil et la Terre, il faudrait multiplier le nombre égal à trois crayons par un nombre inconnu (figure 5a)*". Ce souci d'obtenir des grands nombres peut manifester la confusion distance-hauteur : la distance du Soleil étant considérée comme très grande par les enfants ils ne peuvent se satisfaire d'une évaluation exprimée en cm. De plus, ils sont conscients qu'en astronomie, les "ordres de grandeurs" sont largement supérieurs à ceux de la vie courante.

c) Rotation de l'ombre

Pour d'autres, c'est l'ombre d'un bâton sur le sol qui est utilisée, l'attention des élèves se portant non seulement sur la longueur de l'ombre mais aussi et surtout sur sa direction.

beaucoup d'élèves utilisent l'ombre,

Ainsi certains élèves s'intéressent uniquement à la rotation de l'ombre et la méthode proposée est incorrecte : les élèves évoquent la direction de l'ombre à l'opposé du Soleil, ses changements de direction au cours de la journée ou dessinent un cadran solaire. Mais ils ne font pas, du moins explicitement, la relation entre la hauteur du Soleil et la longueur de l'ombre. Nous nommerons cette proposition : "méthode de l'ombre-direction" (figures 6a et 6b). Si l'idée de mesurer un angle apparaît, il ne s'agit pas du bon angle.

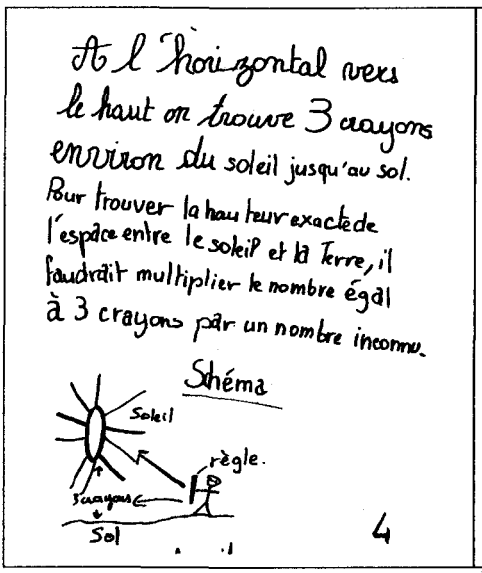


Figure 5a.

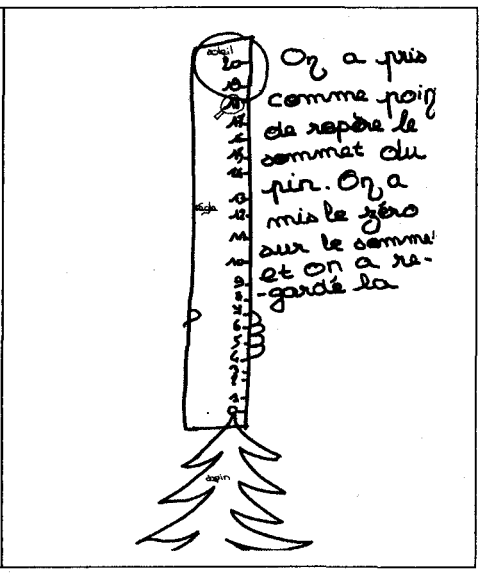


Figure 5b.

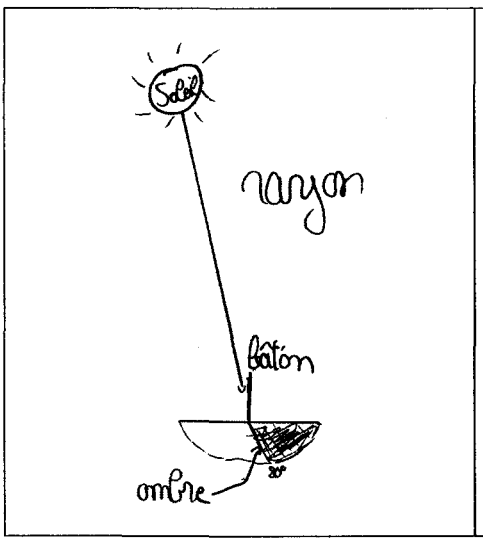


Figure 6a.

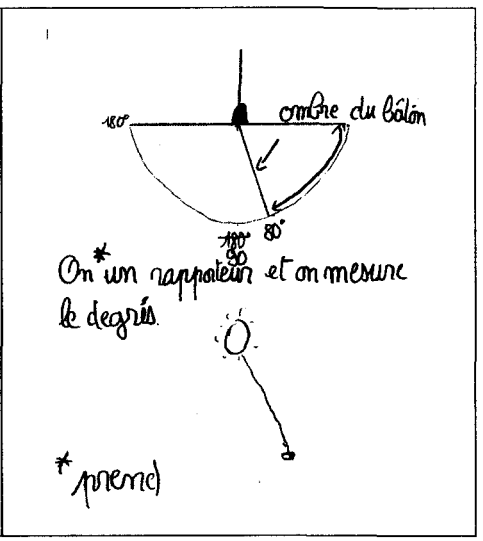


Figure 6b.

d) Longueur de l'ombre

Au contraire, pour d'autres élèves, l'ombre est utilisée à bon escient : ils établissent explicitement une relation entre la longueur de l'ombre et la hauteur du Soleil (Soleil haut-ombre courte, Soleil bas-ombre longue) : ce type de proposition sera noté "méthode de l'ombre correcte".

Pour un élève, la longueur de l'ombre doit d'ailleurs être multipliée par un million (figure 7). Comme dans le cas de la méthode de la règle, un résultat exprimé en cm ne peut rendre compte de la hauteur du Soleil, forcément considérable dans l'esprit des élèves.

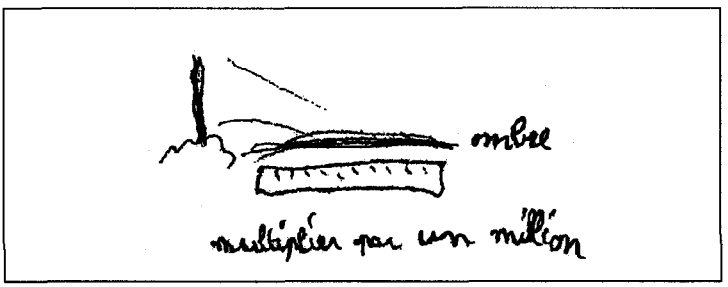


Figure 7.

e) Visée

Quelques élèves proposent de "viser" le Soleil avec des procédés divers, utilisant "la vue" ou un objet : un zoom (figure 8a) ou un télescope (figure 8b), mais qui doit être muni d'un "compteur de distance".

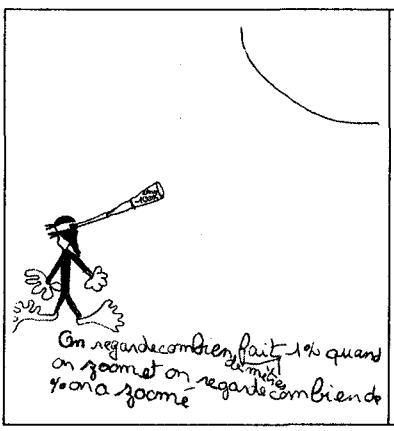


Figure 8a.

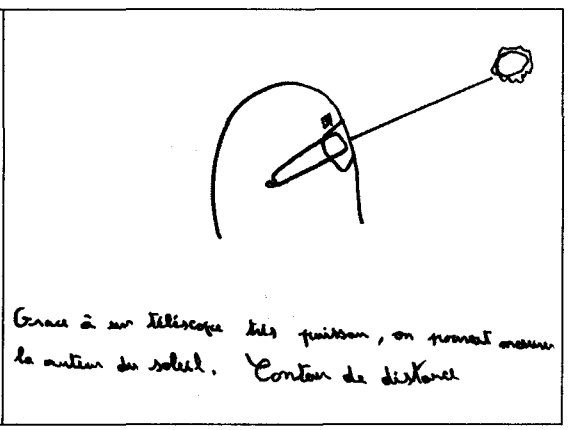


Figure 8b.

...quelques-uns s'appuient sur la visée

Plusieurs élèves disposent dans la cour d'un stylo ou d'un bâton destiné au départ à permettre l'obtention d'une ombre. Ils obtiennent, en inclinant ce stylo, une ombre qui varie et disparaît lorsqu'ils le pointent vers le Soleil. Cette observation les incite alors souvent à tenter de "viser le Soleil".

D'autres élèves regardent dans la direction du Soleil, puis tendent leur bras vers lui, le plus souvent pour s'en protéger : c'est une autre façon d'aborder cette méthode de visée.

forte propension à s'orienter vers une mesure de longueur

On constate donc au départ, dans toutes les classes, une grande difficulté à dépasser le simple constat visuel et une forte propension à s'orienter vers une mesure de longueur (longueur repérée sur la règle ou longueur de l'ombre). Très souvent, les longueurs mesurées étant faibles, qu'ils s'agisse de la longueur de l'ombre ou de celle obtenue avec la méthode de la règle, les élèves envisagent une multiplication par un grand nombre : ceci traduit le souci d'obtenir une longueur importante, que ce soit le signe d'une confusion entre hauteur et distance ou de la nécessité d'obtenir de grands nombres en astronomie.

Lors de la manipulation, spontanément, les élèves ont tendance à s'orienter vers des méthodes utilisant l'ombre. Seules les incitations du maître, qui les pousse à trouver d'autres pistes, permettent à certains d'entre eux d'imaginer des solutions différentes.

Dans le tableau suivant nous avons synthétisé les résultats obtenus dans les différentes classes, certains groupes proposant deux méthodes. Ce travail n'a pas la prétention de donner des informations statistiques, étant donné le faible nombre de classes concernées.

	Classe A Travail individuel	Classe A Travail de groupe	Classe B Travail de groupe	Classe C Travail de groupe	Classe D Travail de groupe
Description de la course du Soleil	12	3	3	2	2
Méthode de l'ombre-direction	2	5	1	2	1
Méthode de l'ombre correcte	2	0	5	2	0
Méthode de la règle	6	4	0	0	2
Visée	2	0	3	0	2

le recours à l'ombre est le plus spontané, la visée apparaît peu

On constate des différences entre les classes, mais quelques constantes :

- la méthode de l'ombre est toujours utilisée, mais à plus ou moins bon escient, vraisemblablement du fait d'activités antérieures ;
- la méthode de la règle est très utilisée dans la classe A, mais peu ailleurs sans doute parce que les idées ont tendance à se propager de groupe en groupe au sein d'une classe ;
- la technique de visée, quant à elle, n'apparaît pas de façon systématique et dans des proportions assez faibles ; elle résulte souvent d'une incitation du maître à trouver plusieurs méthodes.

Sur certains schémas enfin apparaît la manifestation explicite d'une confusion entre hauteur et distance (figures 9). Sur la figure 9a l'élève reproduit la trajectoire du Soleil autour de la Terre et c'est manifestement la distance Terre-Soleil qu'il mobilise, or cette distance apparaît constante sur son

la confusion hauteur-distance est parfois explicite

schéma. Dans d'autres figures, l'horizon est dessiné et sert de repère. Mais contrairement à ce qui apparaît dans la méthode de la règle où on retrouve la difficulté évoquée par Rolando, ici la hauteur du Soleil est mesurée par rapport à la position de l'observateur et non par rapport à l'horizon. Dans la figure 9b cette distance est à peu près constante alors que dans la figure 9c elle varie notablement au cours de la journée.

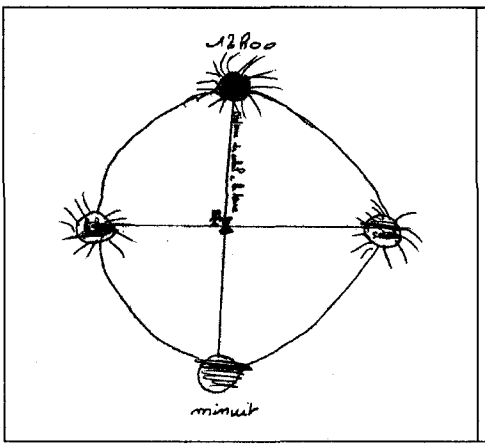


Figure 9a.

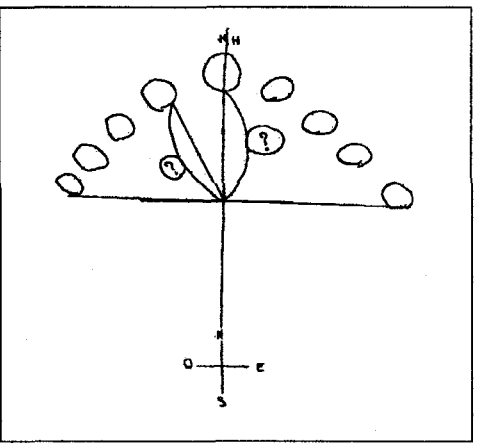


Figure 9b.

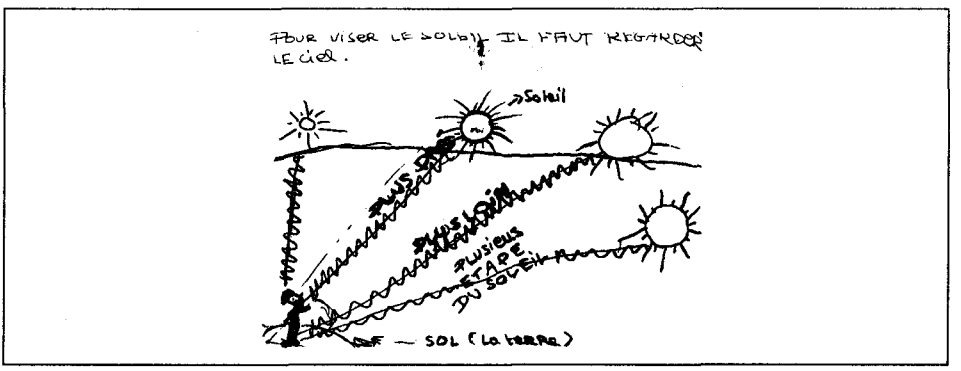


Figure 9c.

4.2. La méthode de l'ombre

Dans les classes A et B, après la première séance introductive, les élèves utilisent la méthode de l'ombre. Dans cette approche, ils relèvent l'ombre d'une vis sur une planchette posée horizontalement sur le sol. Cette manipulation étant reproduite au moins deux fois dans la journée, la relation fonctionnelle entre la hauteur du Soleil et la longueur de l'ombre est rapidement établie par les élèves si elle ne l'était pas au préalable.

Le maître demande ensuite aux élèves de réaliser un schéma de l'expérience sur lequel doivent apparaître l'ombre et la vis, sans donner plus de précision.

• *Travail sur la schématisation*

Nous présenterons de manière détaillée les résultats de la classe A, les réactions étant très voisines dans la classe B.

L'analyse collective des divers schémas individuels permet de montrer qu'une vue "de dessus" (figure 10a) est mal adaptée puisqu'elle ne permet pas de rendre compte de la longueur de la vis.

la schématisation de l'ombre de profil et correcte n'est pas spontanée

Concernant les schématisations de profil, les élèves critiquent l'absence du Soleil (figure 10b) ou sa position du même côté que l'ombre (figure 10c).

Sur la figure 10d les élèves jugent au départ intéressant le tracé des rayons : *"on voit bien les rayons, ils ne traversent pas la vis, ils passent autour"*, mais la discussion se poursuit et fait apparaître des désaccords :
"Il a prolongé les traits mais ils peuvent pas si c'est derrière"
"Si les rayons s'arrêtaient pas il y aurait pas d'ombre", et en montrant les rayons qui apparaissent derrière la vis :
"Ils sortent d'où, c'est qui qui les fait ?"
"Ça se peut pas, il y a pas de rayons derrière la vis, elle cache les rayons"

Après cet échange, l'accord se fait sur un point : il y a une ombre car les rayons du Soleil ne peuvent pas traverser la vis, le schéma 10d est donc éliminé. Les dessins représentés sur les figures 10e et 10f font ensuite l'objet d'une nouvelle discussion : le tracé du rayon passant par l'extrémité de la vis et l'extrémité de l'ombre remporte l'adhésion d'une majorité des élèves mais certains ne sont pas convaincus. De plus une question se pose : faut-il placer le Soleil sur ce rayon, contrairement à ce qui est fait sur le schéma de la figure 10e ?

mais elle est validée par l'expérience

Les élèves proposent de réaliser une expérience avec une lampe : tendre une ficelle entre la lampe, l'extrémité de la vis et celle de l'ombre. Ils vérifient ainsi l'alignement qu'ils avaient pressenti.

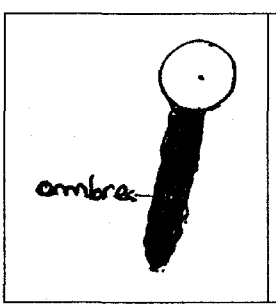


Figure 10a.

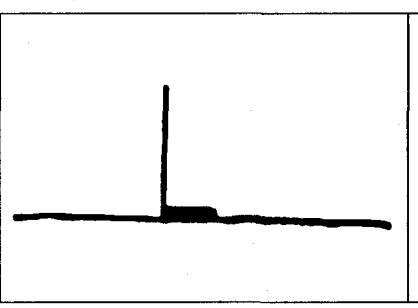


Figure 10b.

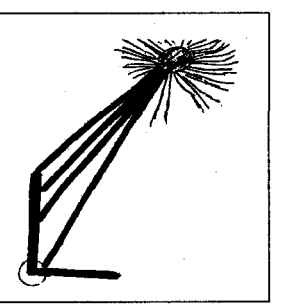


Figure 10c.

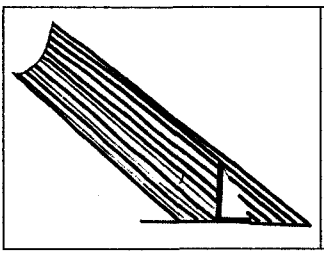


Figure 10d.

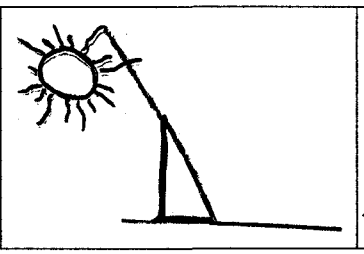


Figure 10e.

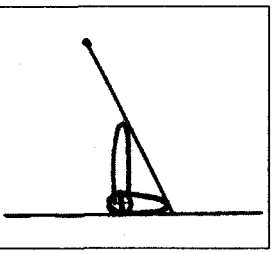


Figure 10f.

La séance de schématisation et l'expérimentation avec une lampe permettent donc de déboucher sur le schéma de profil nécessaire à l'identification de la hauteur du Soleil.

Signalons toutefois que cette schématisation n'est pas spontanée pour les élèves, mais nécessite un long débat dans la classe et une vérification expérimentale de l'alignement source, extrémité de la vis, extrémité de l'ombre.

• *Identification de la hauteur du Soleil dans les classes A et B*

Les élèves ont souligné dès la première séance que des vis de tailles différentes donnent des ombres de tailles différentes, ce qui leur pose problème : la hauteur du Soleil étant la même à un instant donné, ils cherchent un moyen d'obtenir le même résultat malgré des objets de tailles différentes. Un groupe propose, pour résoudre ce problème, de soustraire la taille de l'objet de la taille de l'ombre, en soulignant que sa méthode lui paraît bonne parce que "*si l'objet est plus grand l'ombre est plus grande mais on soustrait plus*". Les élèves sont conscients que la mesure de la longueur de l'ombre est en relation avec la hauteur du Soleil mais ne donne pas directement cette hauteur. Le problème de la détermination de la hauteur reste donc posé.

des vis de tailles différentes donnent des ombres de tailles différentes

Après s'être mis d'accord sur la schématisation de l'ombre adaptée à la situation (représentation de profil, en faisant figurer un rayon de Soleil passant par les extrémités de la vis et de l'ombre), les élèves ont ensuite pour consigne d'effectuer, par groupes, quatre relevés en un même endroit de la cour, avec des vis de tailles différentes. Ils doivent ensuite schématiser ces expériences. L'analyse des schémas doit permettre d'éliminer la méthode de soustraction et de dégager un invariant.

nécessité de dégager un invariant

Dans la classe A, dans laquelle une réflexion individuelle est demandée avant une mise en commun, nous avons analysé quantitativement les réponses individuelles.

On demande dans un premier temps aux élèves ce qu'ils remarquent sur leurs dessins (question 1), puis au dos de la feuille on précise la question : "qu'est ce qui change et qu'est ce qui reste pareil dans ces quatre dessins" (question 2).

Nous avons classé ces réponses en plusieurs catégories :

a) Remarques pertinentes où l'"idée d'angle" est sous-jacente : "*c'est tous des agrandissements du même triangle, les rayons sont toujours orientés pareil par rapport au bâton, les angles sont pareils, le rayon reste à la même place...*"

b) Remarques liées aux dessins mais non pertinentes : "*il y a à chaque fois une vis, une ombre et le soleil, l'ombre et la vis sont perpendiculaires, l'ombre et la vis sont de plus en plus grands, le rayon de Soleil passe par le bout de la vis et le bout du bâton...*"

c) Remarques pertinentes mais non liées aux dessins : "*plus le Soleil est haut plus l'ombre est courte...*"

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant (26 élèves) :

	a	b	c	Autre (pas de réponse ou remarque fausse)
Question 1	6	9	5	6
Question 2	5	13	0	8

On constate que peu d'élèves remarquent l'égalité des angles, résultat conforme à l'analyse *a priori*. L'angle comme sous-figure du schéma réalisé n'est pas identifié par les élèves et la découverte de l'invariance de cet angle est difficile pour la majorité d'entre eux.

difficulté à identifier l'angle comme invariant

En revanche, dès que l'idée est évoquée par quelques-uns lors de la mise en commun, tous ont l'impression que l'hypothèse est bonne et une activité de vérification est entreprise en utilisant du papier calque, en construisant un gabarit ou en superposant les schémas par transparence. Ces diverses techniques découvertes précédemment en géométrie sont spontanément utilisées par les élèves et valident l'hypothèse.

La question se pose ensuite de savoir si l'angle serait le même en tout point de la cour, ce qui entraîne une discussion entre les élèves et une vérification expérimentale.

Dans la classe B on observe le même type de réactions. Dès le départ un élève remarque : "*on fait nos relevés d'ombre à la même heure et au même endroit, donc la hauteur elle a pas changé*". Le maître les fait donc réfléchir directement à ce qu'il y a de commun dans leurs dessins.

Là aussi les enfants ont des difficultés à identifier l'invariant, ils font beaucoup de remarques non pertinentes : "*si les vis n'ont pas la même taille les ombres non plus, on a des triangles rectangles qui sont différents*", mais des remarques plus pertinentes émergent aussi : "*le Soleil est au même endroit*". Un groupe explique qu'il a découpé les schémas et qu'on peut les superposer, et c'est à partir de cette observation qu'émerge pour tous les élèves l'idée que c'est l'angle qui est commun, angle entre le sol et le rayon du Soleil. Comme dans l'autre classe, cette hypothèse est validée par diverses techniques de comparaison des angles.

4.3. La méthode de la visée

rechercher une autre méthode...

Dans les classes A et B, cette méthode est abordée après le travail sur l'ombre, alors que, dans les deux autres classes (C et D), elle est utilisée dès la seconde séance. Dans les deux cas, les maîtres demandent aux élèves d'utiliser une méthode autre que la méthode de l'ombre et d'inventer un instrument permettant de connaître directement la hauteur du Soleil.

Nous avons retrouvé dans les quatre classes des propositions relevant des mêmes tendances, avec quelques spécificités liées à l'histoire de chacune d'elles.

...propositions utilisant la visée

Quelques rares propositions s'éloignent encore de la technique de visée. Un élève propose de placer un verre d'eau au Soleil et de relever la température au bout d'un temps défini : l'augmentation de température est liée, pour lui, à la hauteur du Soleil ; pour cet élève, plus la température augmente, plus le Soleil est bas, signe manifeste d'une confusion entre "bas" et "près". Un autre groupe propose l'utilisation d'une loupe, tout en admettant ensuite que ceci ne renseignera pas sur la hauteur du Soleil. Ce sont donc les connaissances empiriques des élèves sur le Soleil, liées à son effet le mieux connu, l'échauffement, qui sont alors mobilisées.

...qui tendent à concevoir un instrument de mesure

Dans les classes A et D la méthode "de la règle" est abandonnée, la nécessité de multiplier le résultat par un nombre inconnu étant admise par les élèves qui ne trouvent pas de solution à ce problème. On obtient donc presque exclusivement des propositions dans lesquelles il est question, plus ou moins explicitement, de "viser" le Soleil, et toutes ces propositions tendent à concevoir un instrument de mesure.

• *Conception de l'instrument*

Les propositions sont similaires quelles que soient les classes (A et B ou C et D).

Les maîtres insistent, avant le début de la phase de conception, sur les dangers du Soleil lorsqu'on l'observe fixement. Il est donc nécessaire de ne pas viser le Soleil avec les yeux.

Selon les groupes, la visée se fait grâce à différents moyens : un entonnoir censé concentrer les rayons du Soleil (figure 11a), mais le plus souvent il s'agit de pointer une règle, un bâton ou un stylo vers le Soleil (figures 11b et 11c).

différents moyens de visée

Comment savoir que cet objet est bien pointé vers le Soleil ? Ce problème n'est pas toujours résolu. Parfois cet objet est doté d'un *"panneau solaire"* qui *"enregistre la position du Soleil et déplace la règle"* (figure 12a) ou d'un *"capteur solaire puissant"* chargé de suivre le Soleil dans son déplacement (figure 12b). Une autre proposition de même inspiration : *"imaginons que le Soleil soit un aimant et que la flèche soit une aiguille en fer. Ils s'attireraient entre eux et l'aiguille qui est la flèche se déplacerait jusqu'à s'arrêter à l'endroit précis".*

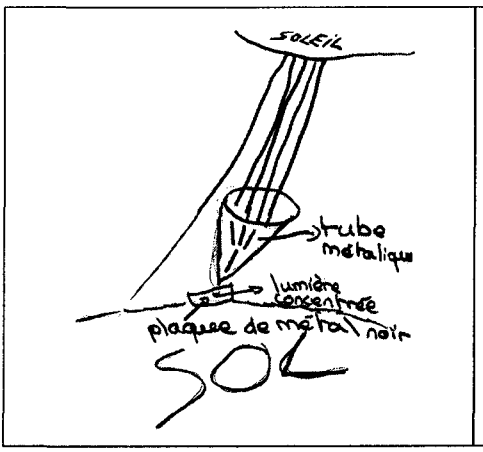


Figure 11a.

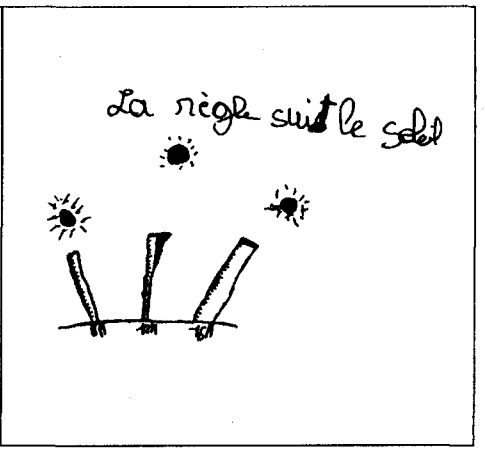


Figure 11b.

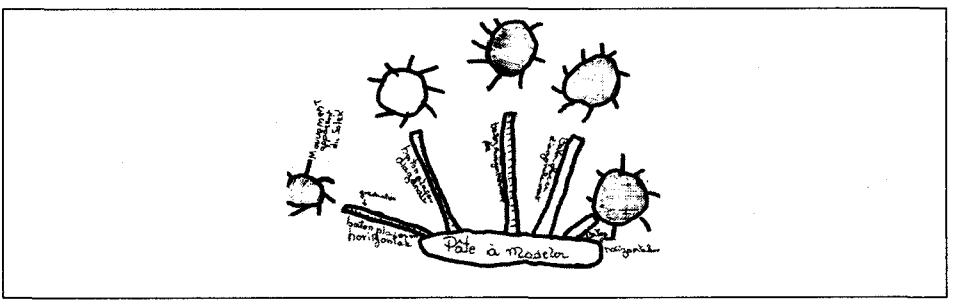


Figure 11c.

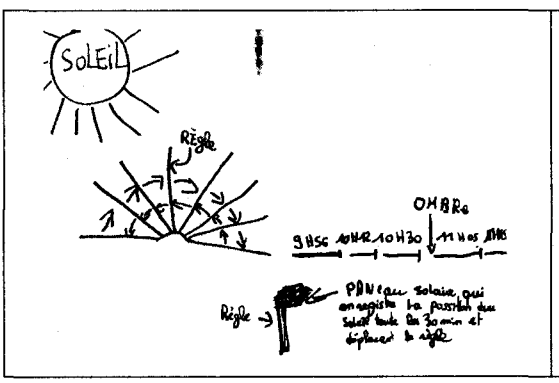


Figure 12a.

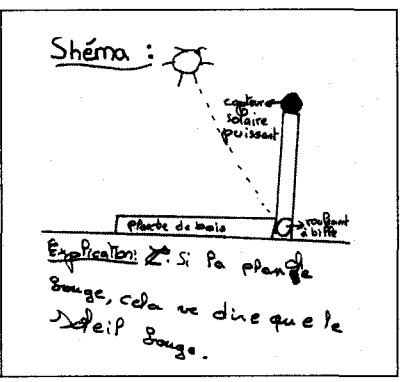


Figure 12b.

Le plus souvent, cette visée est approximative : *"on vise le Soleil avec la règle", "on met la flèche vers le Soleil" (figures 11b, 11c)*, mais quelques groupes découvrent que la règle est bien placée lorsque son ombre est minimale (figure 13).

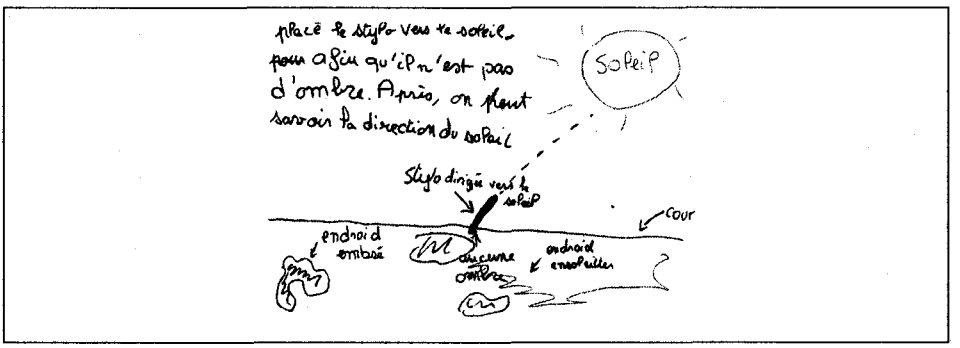


Figure 13.

souci de mesurer un écart angulaire

Le souci de mesurer un écart angulaire est explicite dans les classes A et B pour les élèves qui ont assimilé, après avoir utilisé la méthode de l'ombre, que la hauteur du Soleil est un angle alors que ce souci est encore implicite dans les classes C et D. Dans les deux cas il se traduit par l'utilisation de divers instruments : un compas dont une branche est sur le sol et l'autre pointée vers le Soleil (figure 14), une planchette sur laquelle s'articule une règle à l'aide d'*"un roulement à billes"* (figure 12b). Dans tous ces dispositifs la nécessité de permettre une rotation est le plus souvent explicitée sur le schéma. Quand ce n'est pas le cas, comme dans une classe où la visée se fait souvent par une règle *"qui suit le Soleil"*, l'idée d'articulation est proposée oralement.

nécessité de permettre une rotation

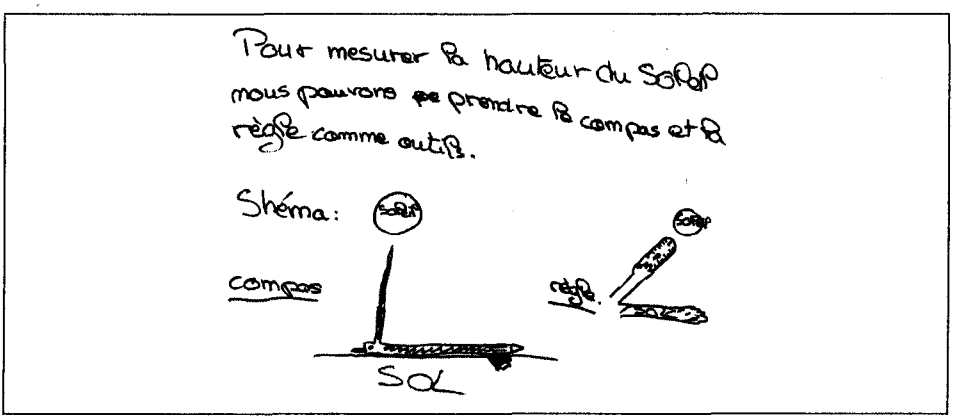


Figure 14.

importance du plan horizontal

L'importance du plan horizontal apparaît nettement dans les propositions de toutes les classes, que le sol soit représenté *(figures 11a, 14, 15d)* ou que son importance soit clairement explicitée.

Enfin le recours au rapporteur et la référence aux "degrés" sont fréquents alors que la mesure des angles n'est pas au

recours occasionnel au rapporteur

programme de l'école primaire et qu'elle n'a donc été introduite en mathématiques dans aucune des quatre classes (cependant tous les élèves ont utilisé la boussole graduée en degrés). Cette utilisation est parfois pertinente : le rapporteur est correctement dessiné, dans le plan du Soleil. La visée est parfois implicite (figure 15a), mais souvent la technique de visée est précisée (figure 15b). Certains dispositifs sont originaux (figure 15c) et l'explication est même parfois complète : *"on vise le Soleil avec la règle et on mesure le degré de l'angle entre le sol et la règle"* (figure 15d).

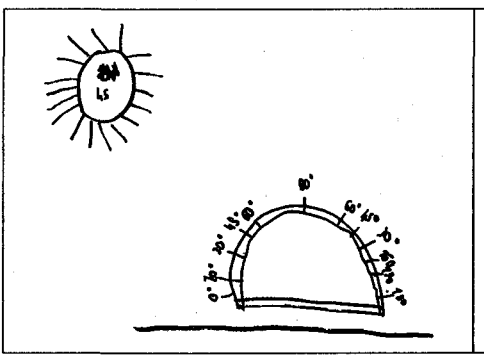


Figure 15a.

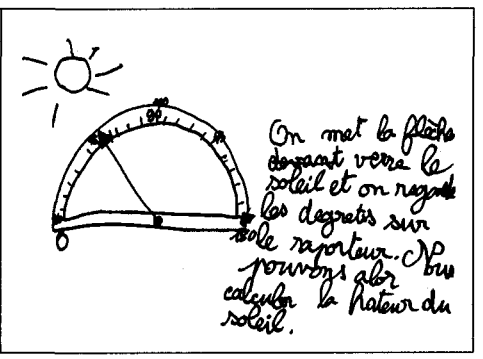


Figure 15b.

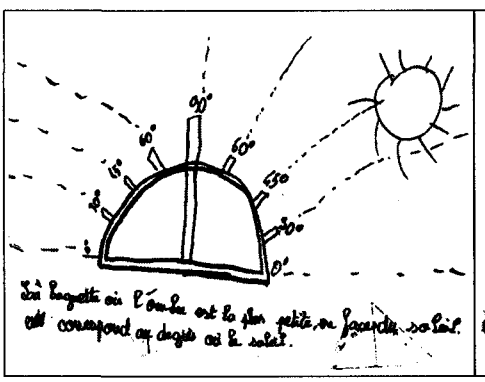


Figure 15c.

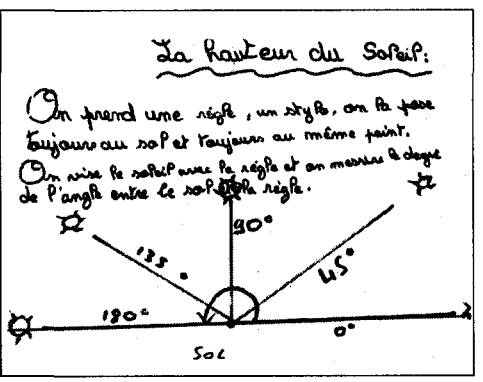


Figure 15d.

Certains élèves utilisent donc correctement le rapporteur : *"on fait des pointillés par rapport au centre du Soleil et au centre du rapporteur et on mesure les degrés"* (figure 16a). Parfois au contraire cette utilisation n'est pas correcte (figure 16b).

Ainsi, dans la classe A, le recours au rapporteur par un groupe, imité par les autres qui n'en avaient pas compris l'utilisation, a induit des erreurs. Ce rapporteur était tenu comme indiqué figure 17 et cette erreur a perduré chez certains élèves comme le montrent les entretiens terminaux.

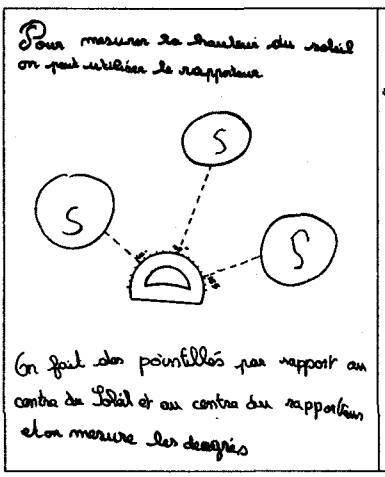


Figure 16a.

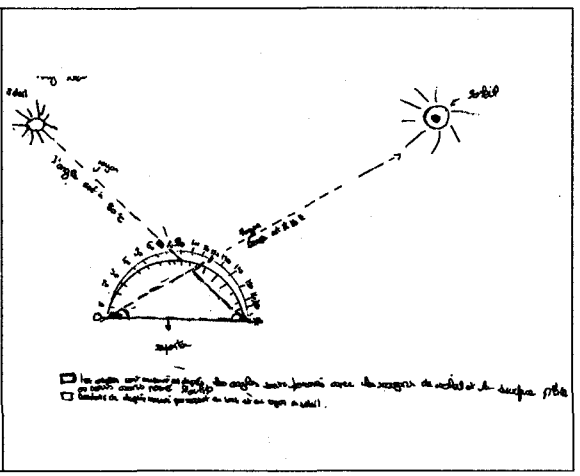


Figure 16b.

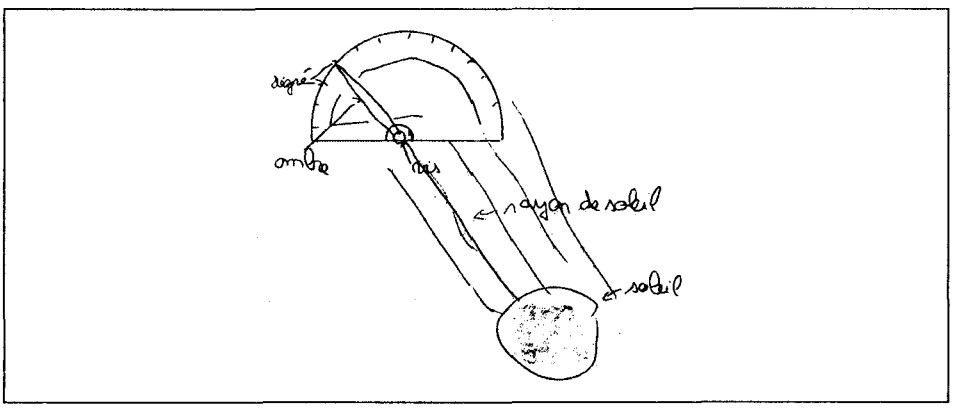


Figure 17.

tous les éléments nécessaires à la conception de l'instrument sont présents sur l'ensemble des propositions

On constate donc, dans toutes les classes, que les élèves parviennent à proposer des solutions pertinentes. Aucune d'entre elles n'est complète, mais dans chaque classe, tous les éléments nécessaires à la conception d'un instrument performant sont présents sur l'ensemble des propositions : nécessité de matérialisation du sol, d'une branche articulée permettant de viser le Soleil, et éventuellement d'un moyen de "canaliser" la lumière du Soleil.

Lorsqu'on présente ensuite aux élèves l'instrument que nous avons élaboré, ils reconnaissent sans difficulté le résultat de leur recherche : "*Ah oui, ce qui remplace la règle ou le stylo c'est la paille. Le rayon du Soleil rentrera pile dans la paille quand ce sera aligné ça va ressortir il va y avoir de la lumière. L'articulation c'est le petit truc doré là* [attache parisienne]".

• *Identification de la hauteur du Soleil dans les classes C et D*

Après la phase de conception de l'instrument et la présentation de celui que nous avons construit, les élèves vont l'utiliser dans la cour et ils sont donc amenés à expliciter son mode d'emploi. Celui-ci s'établit très facilement : la plaquette doit être tenue verticalement dans la direction du Soleil, pour cela il faut que son ombre soit la plus petite possible, et la paille doit "viser" le Soleil *"pour avoir un petit rond de lumière sur le sol"*.

élaboration d'un mode d'emploi et utilisation de l'instrument

Avant la manipulation, les maîtres demandent aux élèves ce qu'ils vont noter une fois que l'instrument sera réglé. La nécessité de noter la direction du Soleil apparaît très vite : *"on va dessiner le contour de la baguette"*, *"on peut marquer la direction du Soleil sur le truc blanc (la planchette)"*, puis l'importance du sol est soulignée : *"il faut mettre le sol pour la direction horizontale"*.

Immédiatement, bien que ce n'ait pas été abordé au cours des séances précédentes dans les classes C et D, les élèves expriment très clairement qu'ils vont dessiner et mesurer un angle : *on va mesurer des degrés d'inclinaison, on va mesurer un angle, l'angle entre la paille et le sol, donc entre la direction du Soleil et l'horizontale"*.

On leur demande alors si c'est une distance et là encore la réponse collective est tout de suite très nette : *"non c'est une direction, une inclinaison"*. Une discussion suit sur le fait qu'on aurait dû mettre des graduations sur l'instrument et sur la nécessité de graduer de 0 à 180° ou de 0 à 90°.

La manipulation de l'instrument ne pose ensuite aucun problème pour la majorité d'entre eux, hormis quelques difficultés liées à une certaine maladresse.

en concevant l'instrument, les élèves élaborent le concept de hauteur angulaire

Les élèves ont donc été amenés à concevoir un instrument permettant de repérer la hauteur du Soleil en utilisant la "technique de la visée". La mise en commun de leurs propositions, qui permet de dégager tous les éléments essentiels de l'instrument, nous paraît fondamentale. En effet c'est lors de cette phase que l'architecture globale de l'instrument se met en place. Dès la phase de conception, l'instrument en gestation devient pour eux un objet qui les aide à penser la situation dans l'espace réel.

On voit alors en particulier, se dégager, le souci de repérer un *écart angulaire* bien que ce point ne soit jamais formulé dans les classes C et D, et fort peu dans les classes A et B. Les élèves ne se posent plus explicitement la question de la "nature" de la hauteur du Soleil car l'aspect instrumental devient prioritaire. Malgré cela, même si l'idée de mesurer un angle reste implicite, en particulier pour les deux classes C et D, c'est bien ce concept qui est en train de s'enraciner dans l'esprit des élèves. Cela apparaît très nettement lorsqu'on leur demande ce qu'ils vont mesurer à l'aide de

leur instrument : l'idée qu'il s'agit d'un angle apparaît très naturellement dans toutes les classes alors que cette idée était totalement absente dans les classes C et D avant la phase de conception de l'instrument. C'est donc bien au cours de cette phase que s'élabore pour ces élèves le concept de hauteur angulaire.

La phase de manipulation, elle aussi, est essentielle, qu'il s'agisse de manipulations préliminaires au cours de la conception, ou de la manipulation finale de l'instrument. Elle aide les élèves, qui manipulent règles, baguettes ou planchettes dans la cour, à isoler matériellement les plans et directions utiles pour résoudre la tâche demandée et donc à progresser dans la structuration de l'espace.

5. ÉVALUATIONS

Pour des raisons matérielles, les évaluations n'ont pas pu être réalisées dans la classe D. Dans les autres classes les évaluations ont comporté des questions à choix multiples (QCM) et des entretiens individuels.

5.1. QCM individuels

suivi de l'évolution conceptuelle des élèves

En cours et en fin d'étude, nous avons suivi l'évolution conceptuelle des élèves quant à la hauteur du Soleil. Pour cela un QCM leur est proposé, dans lequel ils doivent dire si diverses formulations sont vraies ou fausses. Certaines (1, 4 et 5) sont fausses et permettent de savoir si les élèves confondent encore la hauteur du Soleil avec sa distance, par rapport à l'horizon ou à la Terre. Les autres (2, 3 et 6) proposent une "définition" correcte de la hauteur du Soleil, le rangement souhaité, de la réponse la plus précise à la moins précise étant : 3 – 2 – 6.

1- Entoure vrai ou faux : La hauteur du Soleil

1 – c'est la distance entre la Terre et le Soleil	V	F
2 – c'est un angle	V	F
3 – c'est l'angle entre l'horizontale et la direction des rayons du Soleil	V	F
4 – c'est une longueur	V	F
5 – s'exprime en kilomètres	V	F
6 – c'est un écartement	V	F

2 – Pour les réponses où tu as coché "vrai", range-les de l'explication la meilleure (la plus complète, la plus précise, la plus juste), à l'explication la moins bonne.
Pour cela utilise les numéros placés devant chaque proposition.

l'explication la meilleure ——————————→ l'explication la moins bonne

des performances différentes selon les méthodes utilisées

Dans les classes A et B, ce questionnaire a été donné après utilisation de la méthode de l'ombre, puis en fin de travail, c'est-à-dire après avoir utilisé la méthode de visée. Dans la classe C il a été donné une seule fois aux élèves, après le travail utilisant la méthode de la visée. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

	Classe A Après l'ombre (23 élèves)	Classe A À la fin (23 élèves)	Classe B Après l'ombre (21 élèves)	Classe B À la fin (20 élèves)	Classe C (24 élèves)
3 erreurs ou plus	6	0	6	0	2
1 ou 2 erreurs	7	5	10	6	7
0 erreur	10	18	5	14	15
0 erreur et classement correct*	10	17	5	8	13

*Remarque : la grande majorité des élèves qui ne font aucune erreur au QCM rangent correctement les propositions relatives à la définition de la hauteur du Soleil, ce qui confirme une bonne assimilation de cette notion par ces élèves.

méthode de l'ombre insuffisante à elle seule

On note tout d'abord une très nette évolution dans les classes A et B entre les deux évaluations. Le travail sur la visée permet un progrès très important chez les élèves. Après le seul travail sur l'ombre, la nature même de la hauteur du Soleil n'est pas du tout acquise par un quart des élèves environ et moins de la moitié d'entre eux ne font aucune erreur. Cela montre que le travail sur l'ombre n'est pas suffisant pour que tous arrivent à concevoir que la hauteur du Soleil est l'angle entre le sol et la direction du Soleil. À la fin du travail, par contre, environ les trois quarts des élèves répondent parfaitement et aucun d'entre eux ne fait plus de deux erreurs.

Chez les élèves qui n'ont utilisé que la méthode de la visée (classe C), on constate des résultats supérieurs à ceux obtenus dans les classes A et B après utilisation de la seule méthode de l'ombre. Les résultats de la classe C sont pratiquement du même ordre que ceux obtenus dans les classes A et B après utilisation successive des deux méthodes, ombre et visée.

5.2. Entretiens semi-directifs

Nous avons ensuite réalisé des entretiens semi-directifs avec les élèves des classes A, B et C, suivant le protocole décrit ci-dessous :

Peux-tu m'expliquer ce que c'est que la hauteur du Soleil ? Comment peut-on la repérer ?

Si la réponse est correcte : *Montre-moi cet angle avec tes bras* (un Soleil a été dessiné sur un tableau)

Est-ce que tu penses que c'est la même chose que la distance du Soleil ? Pourquoi ? Quelles sont les unités de la hauteur et de la distance du soleil ?

On leur donne ensuite l'instrument : *Peux-tu me montrer comment on s'en sert ?*

On leur donne ensuite un faux compas simple (deux languettes de carton articulées) et un globe terrestre ; un Soleil est toujours dessiné sur le tableau : *Montre-moi maintenant la hauteur du Soleil pour un enfant en France avec le faux compas. Et si tu vas au Nigeria, est-ce que c'est la même ? Dans ces deux pays où doit-on regarder dans le ciel pour trouver le Soleil, en haut ou près de l'horizon ?*

Pour cette question le globe a été positionné de façon à ce que "le sol" en France soit quasiment horizontal dans l'espace local (parallèle au sol de la classe). Le Nigéria a été choisi car ce pays est situé à peu près sur le même méridien que la France.

vérification des acquis

différenciation hauteur/distance

espace astronomique

Les objectifs de ces entretiens sont multiples. Dans un premier temps ils doivent permettre de vérifier les résultats obtenus avec les QCM, de contrôler l'état des connaissances des élèves sur la définition de la hauteur du soleil et de vérifier s'ils différencient bien hauteur et distance. Il s'agit ensuite, lors de la dernière question avec manipulation du globe, de voir s'ils sont capables de passer de l'espace local à l'espace astronomique et de sélectionner le plan vertical contenant l'observateur et le Soleil, plan qui n'est plus matérialisé par la plaquette. Or on sait qu'il s'agit d'une difficulté importante pour les élèves de cet âge.

62 entretiens ont été réalisés, filmés puis analysés. Pour chacun nous avons évalué :
- la *définition* de la hauteur du Soleil donnée
- la *différenciation* hauteur-distance
- la manipulation de l'*instrument* dans l'espace local
- la manipulation du faux compas avec le *globe* terrestre

Les nombres et pourcentages de réponses correctes à ces quatre questions sont reportés dans le tableau ci-dessous pour les trois classes A, B et C (les nombres d'élèves peuvent varier, certaines questions n'ayant pas été posées à tous les enfants).

	Classe A	Classe B	Classe C	Total
Définition	22/22	21/23	14/17	57/62 92 %
Différenciation	22/22	18/22	13/17	53/61 87 %
Instrument	17/22	18/21	15/17	50/60 83 %
Globe	17/22	19/23	13/17	49/62 79 %

Pour chacune des classes nous avons aussi déterminé les pourcentages d'élèves :
- ayant parfaitement répondu à chacune des questions, pour lesquels on peut considérer que les objectifs conceptuels visés sont atteints (entretien correct)
- étant capables de donner une définition correcte et qui différencient hauteur et distance, mais qui n'arrivent pas à isoler le plan vertical correct et placent l'instrument ou le faux compas dans un plan perpendiculaire à celui qui convient (perpendiculaire)
- n'ayant pas construit le concept de hauteur du Soleil (mauvaise compréhension)

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

	Classe A	Classe B	Classe C	total
Entretien correct	16/22	20/23	14/17	50/62 81 %
Perpendiculaire	5/22	1/23	3/17	9/62 14 %
Mauvaise compréhension	0/22	2/23	0/17	2/62 3 %
autre	1/22	0/23	0/17	1/62 2 %

L'élève "autre" est en fait capable de définir correctement la hauteur du Soleil, elle différencie correctement hauteur et distance, elle sait utiliser l'instrument mais lors de l'utilisation du faux compas sur le globe elle n'arrive pas à se décentrer complètement de l'espace local et elle laisse une branche du faux compas parallèle au sol de la classe, quelle que soit la position de l'observateur sur le globe.

Les résultats de ces entretiens confirment ceux des questionnaires pour ce qui est des définitions de la hauteur du Soleil et de la différenciation hauteur-distance. D'autre part on constate que les élèves manipulent bien l'instrument (83 %).

la majorité des élèves maîtrisent le concept en fin de séquence

Les résultats les plus probants sont ceux obtenus pour la dernière question. En effet cette question est complexe pour les élèves, il s'agit pour eux de se décentrer de l'espace local et de manipuler dans l'espace astronomique. Ils doivent sélectionner eux-mêmes le plan vertical contenant l'observateur et le Soleil, plan qui n'est plus matérialisé, puis imaginer un voyage à la surface de la Terre pour discuter de l'évolution de la hauteur du Soleil. Malgré la difficulté de cette question, le pourcentage de bonnes réponses est très élevé (79 %). On constate que l'erreur consistant à sélectionner un plan perpendiculaire au plan correct est présente chez 14 % des élèves. Cette erreur se manifeste principalement dans la classe A dans laquelle la difficulté apparaissait déjà de façon assez importante au cours des séances.

On observe une bonne cohérence entre les réponses obtenues aux QCM et au cours des entretiens pour ce qui est des définitions. Les entretiens permettent, de plus, de révéler des difficultés dans la structuration de l'espace astronomique.

Ici aussi, les résultats sont proches dans les classes A et B, ayant utilisé les deux méthodes ombre et visée successivement, et dans la classe C qui n'a utilisé que la méthode de visée.

5.3. Comparaison ombre-visée

Nous avons aussi cherché à savoir si les élèves qui avaient utilisé les méthodes de l'ombre puis de la visée étaient capables de faire le lien entre ces deux méthodes. Aussi avons-nous proposé des questionnaires à l'issue de la séquence (voir ci-contre).

Certains élèves (4 dans la classe A et 5 dans la classe B) n'ont pas compris l'énoncé de la première question : ils ont considéré que le trait horizontal représentant le sol correspondait à l'ombre du bâton. Nous n'avons donc pas pu tenir compte de leurs résultats à la question 2, aucun des angles proposés ne correspondant alors à leurs schémas.

Les résultats obtenus pour les autres élèves sont résumés dans le tableau ci-dessous :

	Classe A (19 réponses)	Classe B (15 réponses)
Exercice juste	17	7
Erreur de précision	1	6
Une erreur	1	2

On remarque, pour la classe B, un nombre élevé de réponses imprécises. Les valeurs des angles pour les relevés 2 et 3 sont très voisines. Nous avons considéré, lorsque la seule erreur portait sur le choix du relevé 3 à la place du 2, qu'il s'agissait d'un problème d'imprécision, d'autant plus que, du fait de leurs progressions en mathématiques, les élèves de cette classe sont moins familiarisés avec l'utilisation des gabarits que ceux de la classe A.

le niveau de conceptualisation visé est atteint par une grande majorité d'élèves

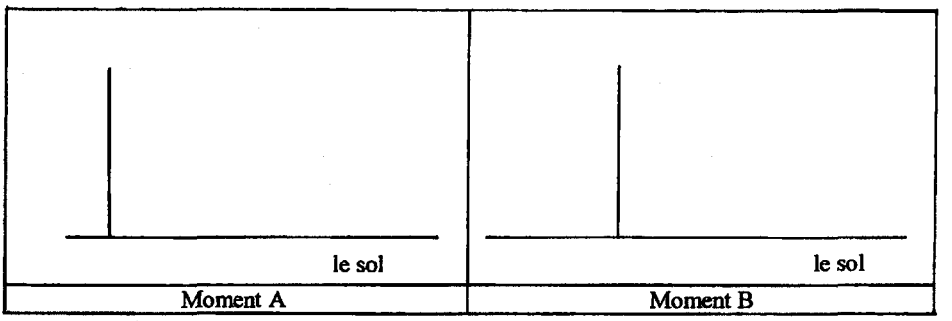
Le nombre d'élèves n'ayant pas reconnu l'égalité des angles représentant la hauteur du Soleil dans les deux situations est faible dans les deux classes. De nombreux élèves ont donc été capables dans chaque méthode, d'identifier, cet angle. Ils ont d'autre part été capables d'utiliser correctement une méthode de comparaison des angles. La conjugaison de ces deux exigences, nécessaires à la résolution de la tâche, rend cet exercice difficile. On peut donc considérer que la grande majorité des élèves a bien fait le lien entre les deux méthodes et conceptualisé la hauteur du Soleil.

Nom :

Un élève a mesuré la hauteur du Soleil à deux moments différents (moment A et moment B) en utilisant la méthode de l'ombre. Il a posé verticalement un bâton de 3 cm de hauteur et il a mesuré la longueur de son ombre. Il a trouvé les valeurs suivantes :

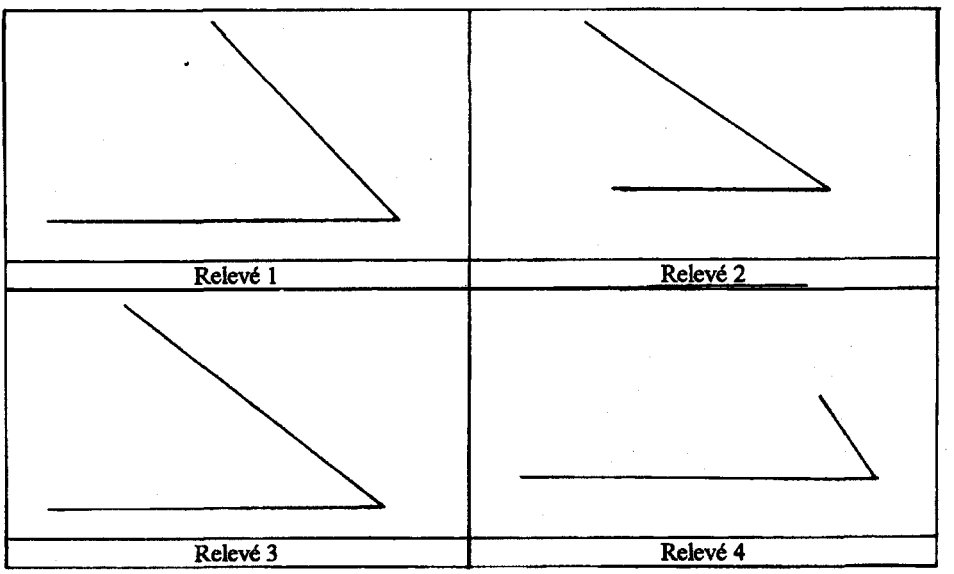
Moment A : longueur de l'ombre = 4,5 cm
Moment B : longueur de l'ombre = 2 cm

1 - Dessine avec précision les deux expériences, en traçant le rayon de Soleil qui passe par le bout du crayon. Colorie en rouge l'angle qui représente la hauteur du Soleil à chaque moment.



Moment A | Moment B

Il a aussi relevé la hauteur du Soleil avec l'instrument de visée à plusieurs moments dans la journée, en oubliant de noter ces moments. Il a fait des relevés à 4 moments différents : ces relevés sont représentés ci-dessous (relevés 1, 2, 3 et 4).



Relevé 1 | Relevé 2

Relevé 3 | Relevé 4

2- Quel relevé correspond au moment A ? ----------

Quel relevé correspond au moment B ? ----------

6. CONCLUSION

Un des objectifs de cette recherche était d'évaluer la capacité d'élèves âgés d'une dizaine d'années à concevoir la hauteur du Soleil comme l'angle entre la direction du Soleil et le plan horizontal, sachant qu'au départ aucun d'entre eux n'était capable de définir cette grandeur. Les résultats des évaluations montrent que la grande majorité des élèves ayant participé à cette recherche ont atteint, à la fin des séquences, le niveau de conceptualisation visé. En particulier l'identification de la hauteur du Soleil à un angle, et non plus à une distance, est acquise par plus de 80 % des élèves.

Il serait intéressant de poursuivre cette étude en intégrant la variable didactique "maîtrise du concept d'angle". Pour cela on pourrait travailler avec des classes ayant déjà étudié les angles dans leur cursus antérieur et avec d'autres classes dans lesquelles cette notion n'a pas été travaillée.

le travail dans un espace à trois dimensions est accessible à des élèves de cet âge

Notons que le travail dans un espace à trois dimensions ne constitue pas un obstacle insurmontable pour des enfants de cet âge. Rappelons en effet que les situations faisant intervenir le concept d'angle dans l'espace réel que nous avions testées précédemment donnaient des résultats positifs, mais se traitaient dans un plan. Ce n'est pas le cas dans la situation envisagée ici, cependant la difficulté à identifier le plan vertical contenant l'observateur et le Soleil est surmontée par la majorité des élèves. Les entretiens réalisés font apparaître toutefois, pour 14 % d'entre eux, une confusion entre ce plan et le plan perpendiculaire passant par l'observateur. Il s'agit donc d'une difficulté à ne pas négliger.

la méthode de visée est plus pertinente si l'objectif est de conceptualiser la hauteur du Soleil

Le deuxième point de notre analyse concerne la comparaison des deux méthodes utilisées pour déterminer la hauteur du Soleil. Nos résultats montrent qu'après avoir utilisé la méthode de l'ombre, un grand nombre d'élèves (les deux-tiers) continuent à confondre la hauteur du Soleil avec une distance malgré le travail réalisé. Pour eux l'ambiguïté n'a pas été levée et l'obstacle n'est pas franchi. Dans la classe n'ayant utilisé que la visée directe, en dehors de deux élèves en grande difficulté face à cette notion, on obtient des résultats nettement plus satisfaisants. Ils sont proches de ceux obtenus dans les deux autres classes après utilisation successive des deux méthodes, et pour un "coût didactique" nettement inférieur (3 séances d'une heure environ au lieu de 6). Il semble donc que la méthode de la visée soit plus pertinente si l'objectif est de conceptualiser la hauteur du Soleil.

la conception et la manipulation de l'instrument de mesure constitue une aide didactique à cette conceptualisation

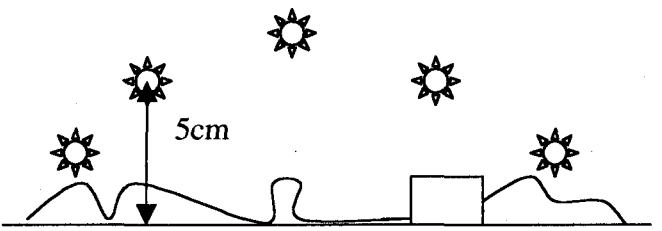
On peut considérer que les phases de conception et de manipulation de l'instrument de mesure contribuent de façon prépondérante à cette conceptualisation. En effet, dès la phase de conception, l'instrument constitue une aide didactique à la conceptualisation.

Rappelons que cette méthode n'est pas celle qui est choisie spontanément par la majorité des élèves au départ, une incitation du maître sera donc nécessaire pour les orienter dans cette direction.

utilisation des relevés...

Se pose enfin le problème de l'exploitation des relevés effectués par les élèves. En effet les relevés des positions du Soleil ont souvent comme aboutissement la représentation du mouvement apparent du Soleil. Classiquement on cherche à représenter ce mouvement par rapport à l'horizon, essentiellement dans le but de le conserver "en mémoire", pour étudier son évolution au fil des saisons. Sur cette représentation l'horizon est souvent photographié et figuré par une bande horizontale collée sur un plan :

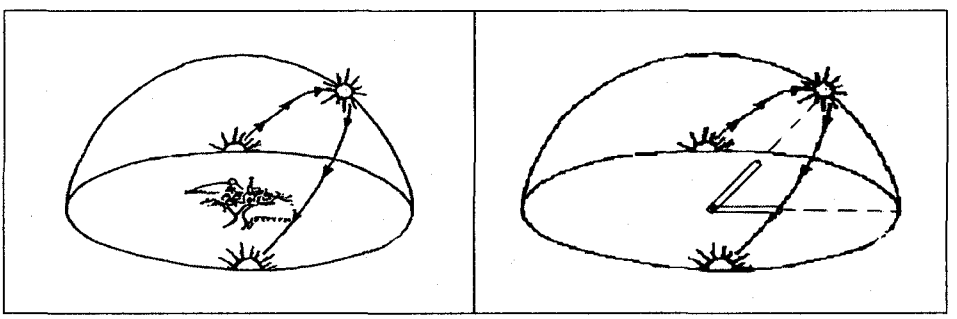
...pour la représentation du mouvement apparent du Soleil



mais risque d'obstacle didactique

Les élèves reportent ensuite sur cette représentation, pour traduire la hauteur du Soleil, une distance : par exemple, si le Soleil est à 50° de haut, on le placera à 5 cm de la ligne représentant l'horizon, l'échelle étant choisie par le maître. Il est certain que cette représentation risque de déstabiliser les élèves en introduisant à nouveau la confusion angle-distance et peut constituer, *a posteriori*, un obstacle didactique.

Si on souhaite représenter le mouvement apparent du Soleil, une représentation en trois dimensions s'appuyant sur le modèle d'une voûte céleste demi-sphérique permet d'éviter le recours à une mesure de distance et de renforcer, au contraire, la conceptualisation d'une hauteur angulaire.



Lorsque cette représentation n'est pas possible pour des problèmes matériels ou pas souhaitée du fait d'un investissement en temps jugé trop important, il nous semble préférable d'éviter toute représentation du mouvement apparent du Soleil.

intérêt de l'interprétation des différences de hauteur angulaire

Des relevés de la hauteur du Soleil à midi solaire suffisent à mettre en évidence des différences importantes selon les saisons. Ces différences de hauteurs angulaires sont ensuite faciles à interpréter en modélisant la situation à l'aide de globes terrestres (Merle, 2000), sans que le passage par une représentation du mouvement apparent soit nécessaire.

Hélène MERLE,
LIRDEF, IUFM de Montpellier
Valérie MUNIER,
LDSP, Université Paris 7

BIBLIOGRAPHIE

BERTHELOT, R. & SALIN, M.-H. (1993-1994). L'enseignement de la géométrie à l'école primaire. *Grand N, 53.*

BERTHELOT, R. & SALIN, M.-H. (1994-1995). Un processus d'enseignement des angles au cycle III. *Grand N, 56.*

BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (14 février 2002). Programme de l'école primaire. Bulletin officiel n° 1. Paris. Ministère de l'éducation nationale.

GUESNE, E., TIBERGHIEN, A. & DELACÔTE, G. (1978). Méthodes et résultats concernant l'analyse des conceptions des élèves dans différents domaines de la physique. Deux exemples : les notions de chaleur et de lumière. *Revue française de pédagogie, 45,* 25-32.

KAMINSKI, W. (1989). Conception des enfants (et des autres) sur la lumière. *BUP, 716,* 973-996.

MERLE, H. (2000). Comment aider à modéliser "Le ciel et la Terre". *Aster, 31,* 37-70.

MUNIER, V. (2001). La construction du concept d'angle à l'école élémentaire. Une approche interdisciplinaire mathématiques-physique. Mémoire de DEA. Université Montpellier II

MUNIER, V. & MERLE, H. (2002). Changement conceptuel : du repérage dune graduation sur une boussole au concept d'angle à l'école élémentaire (enfants de 10-11 ans), à paraître dans les actes des 6e journées internationales de didactique des sciences de Sfax, Tunisie.

MUNIER, V. & MERLE, H. (2003). Une approche expérimentale du concept d'angle à l'école élémentaire. Colloque international sur l'enseignement des sciences : expérimentation et construction des concepts. Charleville-Mézières.

ROLANDO, J.-M. (1993). L'astronomie, la Terre et les astres... CDDP de Haute Savoie.

UNE SITUATION DE FORMATION INTÉGRANT "ASTRONOMIE" ET "DIDACTIQUE DES SCIENCES" PAR L'ÉLABORATION DES CONCEPTS DE "CONSTELLATION" ET DE "NIVEAU DE FORMULATION"

Catherine Lecoq

L'article présente l'analyse d'une situation de formation destinée à des maîtres ou de futurs maîtres polyvalents de l'enseignement primaire français. Cette situation que nous dénommons "situation de formation intégrée" s'inscrit dans un dispositif plus large qui vise l'appropriation conjointe de compétences dans les domaines disciplinaire, didactique, et pédagogique, en même temps qu'il cherche à faire évoluer les personnes sur le plan des attitudes vis-à-vis des sciences et de son enseignement.
L'analyse de cette situation de formation tente de rendre plus lisible l'imbrication des activités de formation liées aux trois domaines précités, ainsi que leurs articulations.

conception raisonnée d'un dispositif de formation à l'enseignement des sciences

Dans le contexte français, la formation initiale des maîtres du premier degré au sein des Instituts Universitaires de Formation des Maîtres est régie par des "plans de formation" qui définissent les orientations politiques de la formation et organisent sa programmation. Cette formation s'articule autour de plusieurs pôles : la pratique de classe et son analyse, la formation disciplinaire dans les domaines enseignés à l'école et le mémoire professionnel.

Les plans de "formation continue" des maîtres du premier degré répondent à des commandes institutionnelles dont l'une des composantes est liée aux domaines disciplinaires.

L'étude que nous présentons porte sur les pratiques de formation disciplinaire scientifique dans le domaine des sciences de la matière et de l'astronomie. Elle se positionne dans une visée heuristique. Son intention dominante est d'élucider une pratique de formation particulière, inscrite dans le paradigme socio-constructiviste, d'en comprendre les principes de conception et de cohérence, d'en identifier les diverses variables et constantes en jeu et d'étudier ses possibilités de transfert (Marcel, 2002). La présentation est fondée sur les étapes de la *méthodologie de l'ingénierie didactique* (analyse préalable, réalisation et analyse *a posteriori*), laquelle a été exploitée dans le but de la construction des situations et des modules de formation (Artigue, 1988 ; Portugais, 1995).

pour des enseignants du premier degré non spécialistes

La situation de formation que nous nous proposons de décrire et d'analyser appartient à la composante proprement disciplinaire de la formation. Elle est conçue comme un

élément d'un dispositif plus vaste de "formation intégrée". Elle a été mise en œuvre dans deux cadres différents, celui d'un module de formation initiale disciplinaire optionnel et celui d'un stage de formation continue des maîtres de cycle 3 (enseignement à des élèves de 9 à 11 ans), avec l'intitulé "Astronomie à l'école".

1. FONDEMENTS DU MODÈLE DE FORMATION PROPOSÉ

Les enseignants du premier degré sont des maîtres polyvalents ayant la charge d'enseigner dans plusieurs domaines disciplinaires. Ils sont en grande majorité issus de filières scolaires et universitaires non scientifiques. Leur formation professionnelle comporte des modules disciplinaires scientifiques de courtes durées, correspondant à différents champs scientifiques (sciences de la matière, du vivant, de la Terre et du ciel).

un dispositif fondé sur un modèle pédagogique de référence

Depuis la création des IUFM, des recherches sur les dispositifs de formation professionnelle d'enseignants spécialistes en sciences physiques se sont développées (Robardet, 1995 ; Saint-Georges, 1998 ; Boilevin, 2000 ; Morge, 2001). Les travaux portant sur la formation professionnelle des maîtres polyvalents du premier degré dans les disciplines scientifiques sont plus rares. Michel Develay (1982), dans le cadre de l'enseignement de la biologie, propose des situations de formation qui visent à transformer les personnes depuis leur modèle pédagogique implicite en début de formation vers un modèle explicite (intégrant des connaissances de la formation) en fin de formation. Pierre Antheaume (1993, 2001), toujours dans le domaine la biologie, conçoit des situations de formation centrées sur trois champs : le champ disciplinaire, le champ didactique et le champ personnel. Il retient, pour construire un module de formation, trois perspectives de travail, trouvant du sens dans les trois champs précédents, à savoir : "*s'entraîner à repérer, à accepter et à gérer l'imprévu, s'entraîner à se décentrer, s'entraîner à se limiter*".

intégrant les champs disciplinaire, didactique et pédagogique

1.1. Analyse préalable pour la conception d'un module de formation professionnelle disciplinaire scientifique

• *L'insécurité des futurs enseignants appelle une réponse*

Une enquête préliminaire nous a montré que la majorité des futurs enseignants polyvalents de l'école primaire disent, au moment où ils abordent la formation, ne pas se sentir capables de mettre en place dans leurs classes des activités scientifiques. Ils expliquent cette incapacité par l'insuffisance de

pour faire évoluer connaissances et attitudes

leur niveau culturel dans ce domaine et par l'image négative de l'enseignement des sciences et plus particulièrement des sciences physiques, laissée par leur parcours scolaire.

La formation professionnelle des enseignants du premier degré dans les disciplines scientifiques doit donc être envisagée comme un processus dynamique de transformation des personnes sur deux plans :
- sur le plan des connaissances nécessaires à la construction de compétences professionnelles ;
- sur le plan des attitudes vis-à-vis des sciences.

Concevoir des situations de formation nécessite alors de s'interroger au préalable sur la nature des connaissances en jeu dans l'acte d'enseignement considéré, sur les formes les plus aptes à l'appropriation de ces connaissances et sur celles susceptibles d'engager l'adhésion des stagiaires.

• *Les connaissances en jeu dans l'acte d'enseigner les sciences expérimentales à l'école primaire*

Les connaissances nécessaires à l'acte d'enseignement renvoient d'abord aux Instructions officielles. Ces textes, publiés au "Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale", étaient jusqu'alors exprimés sous forme de sujets d'étude ouverts, les démarches à utiliser étaient décrites de manière relativement floue, de sorte que l'enseignant avait un cadre de travail peu renseigné. Pour mettre en place des activités de classe, ce dernier se référait alors généralement aux manuels scolaires, qui présentaient un programme "revisité" et interprété au gré des auteurs.

les textes officiels définissent précisément objectifs et démarches de l'enseignement scientifique

Les derniers textes parus (B.O.E.N. hors série du 14.02.2002) décrivent pour la première fois de manière précise, pour chaque domaine disciplinaire, les objectifs de cet enseignement, le programme et les compétences qui doivent être acquises par les élèves en fin de cycle. Des "documents d'application" explicitent les finalités, les démarches et les objectifs de cet enseignement, ainsi que les compétences spécifiques à faire acquérir. Des "fiches connaissances" développent divers aspects (idées préalables, difficultés, connaissances) liés aux savoirs scientifiques du programme. Des documents d'accompagnement proposent des séquences pédagogiques détaillées.

Ces textes décrivent un modèle pédagogique qui devrait, de fait, être le "modèle pédagogique de référence" de la formation.

Or, on reconnaît dans ce modèle d'inspiration socio-constructiviste des traits de caractère de celui théorisé en didactique des sciences par J.-P. Astolfi et M. Develay (1989) sous le nom de "modèle pédagogique par investigation-structuration". Ce modèle fait référence à des typologies d'activités (activités fonctionnelles, activités d'investigation, activités de structuration, de modélisation,...), à des typologies de modes d'intervention du maître, de modes de regroupement des élèves et d'organisations de classe.

convergences avec la didactique des sciences

Au travers de ces textes, transparaissent aussi des concepts dégagés par la recherche en didactique des sciences. À titre d'exemple, dans la phrase "*l'enseignant sélectionne une situation de départ qui focalise la curiosité des élèves, déclenche leurs questions et leur permet d'exprimer leur idées préalables*", on reconnaît les concepts de "situation déclenchante" (et ses attributs) et celui de "conception initiale". Il est précisé que "*les niveaux de formulation sont précisés dans les fiches connaissance*".

Ces textes constituent pour les formateurs disciplinaires un cadre de référence dans lequel les contenus de formation professionnelle peuvent être pensés. Ils induisent par là-même, outre les concepts relatifs aux champs disciplinaires abordés, les savoirs spécifiques de la didactique et de la pédagogie à appréhender au cours de la formation.

savoirs scientifiques,

Dans *les domaines scientifiques*, on peut distinguer des savoirs relatifs aux sujets d'étude des programmes, à la démarche scientifique, aux modes de représentation utilisés (dessin, schémas, graphiques) et à la mesure (fonctions, grandeurs, instruments, unités, symboles).

savoirs didactiques,

Dans *le domaine de la didactique*, les savoirs identifiés concernent certains concepts dégagés par la recherche. Nous avons retenu ceux de conception initiale, d'obstacle, d'objectif-obstacle, de situation déclenchante, de situation-problème, de démarche expérimentale d'investigation, d'objectifs spécifiques, de compétences spécifiques, de concept intégrateur, d'activités d'investigation et de structuration (confrontations, communication écrite en sciences, modélisation, de niveau/registre de formulation), de modèle pédagogique par investigation/structuration, de pratique sociale de référence.

savoirs pédagogiques...

Dans *le domaine de la pédagogie*, doivent être appréhendées les questions relatives aux points suivants : programmes et instructions officiels, programmation (projet, organirgrammes prévisionnels, progression, fiche de préparation,...), évaluation sommative (niveau d'exigence d'un objectif, tâche, ...), statut des écrits, rôle du maître par rapport à un modèle pédagogique de référence, organisation matérielle, ressources disponibles (documentation, aides didactiques, lieux,...), l'éducation aux risques et à la sécurité.

...abordés conjointement dans la formation

C'est sur ces trois pôles, celui des savoirs disciplinaires, celui des savoirs didactiques, et celui des savoirs pédagogiques que nous avons choisi de concevoir des modules de formation. Selon la nature et la durée d'un module (module de formation initiale ou de formation continue, module fondamental ou thématique), le nombre et la nature des points à aborder peuvent varier et faire l'objet de choix. Chaque module est constitué d'un ensemble de situations, dans lesquelles les trois types de savoirs sont appréhendés conjointement. La situation présentée ici est conçue pour s'insérer dans cette architecture d'ensemble.

1.2. Le modèle de formation disciplinaire proposé : un ensemble de situations de formation pilotées chacune par l'appropriation conjointe de savoirs disciplinaires, didactiques et pédagogiques

• *Les principes d'élaboration d'une situation de formation*

a) Des situations de formation intégrant les domaines disciplinaires, didactiques et pédagogiques

principe d'intégration

Une même situation de formation vise la construction conjointe de savoirs scientifiques, de savoirs didactiques et/ou de savoirs pédagogiques spécifiques de l'enseignement des sciences. Cette approche conjointe présente à notre avis plusieurs avantages. D'une part, elle fait vivre "de l'intérieur" une démarche d'enseignement-apprentissage des sciences peu fréquentée par les formés, d'autre part elle permet d'appréhender les savoirs didactiques et pédagogiques sur un contenu disciplinaire déjà approprié (ou en cours d'appropriation) et sur une démarche vécue ou rapportée par le biais d'une séance de classe effective filmée ou transcrite.

La tâche du formateur est de se placer au barycentre du triangle "discipline-didactique-pédagogie" en pondérant, selon des choix réfléchis ou contraints, le poids de chacune des trois composantes en jeu. Ainsi, les situations de formation que nous nommons "situations de formation intégrée" seront essentiellement centrées sur une voire deux de ces trois composantes.

des situations pilotées par l'appropriation de "concepts pivots"

Nous dirons que la situation est "pilotée" par l'appropriation d'un ou de deux concepts, dont l'un est nécessairement disciplinaire. Leur appropriation constituera l'objectif dominant de la situation. Ils en seront les "concepts pivots" et en constitueront le fil directeur. Les activités proposées viseront prioritairement leur appropriation à un degré relativement élevé d'explicitation (Butlen, 1994). D'autres concepts didactiques ou pédagogiques seront fréquentés, mais à un niveau d'explicitation moindre, nous les appellerons "concepts approchés".

b) Des démarches de formation en cohérence avec les démarches d'enseignement

L'enquête préliminaire déjà citée a montré que quasiment tous les enseignants en formation étaient convaincus de la nécessité d'enseigner les sciences à l'école (*"pour comprendre le monde dans lequel nous vivons"*). Ils pensent que leur insécurité à enseigner les sciences serait résolue en priorité par une "*remise à niveau des connaissances de base*" sous forme de cours magistraux suivie d'une formation pédagogique sous forme de directives

d'action ("*il faut nous dire comment faire passer ces connaissances au niveau des élèves*").

Or, différents travaux ont montré que "*c'est en faisant vivre et analyser aux formés des situations semblables – au niveau des attitudes, des démarches, voire des contenus, – à celles qu'ils pourront faire connaître à leurs élèves, que le formateur aide durablement les formés à intégrer l'ensemble des procédures en jeu*" (Astolfi, Develay, 1989). Cette forme, nommée "*principe d'isomorphisme*" et reprise sous le nom d'homomorphisme (Astolfi, 1997b) semble partagée par de nombreux formateurs. Elle répond à la nécessaire cohérence ou *homologie* entre les modèles de formation et les modèles d'enseignement (Altet, 1994 ; Kuzniak, 1994 ; Viennot, 1997). Le principe d'homomorphisme conduit donc à calquer en partie les démarches de la formation sur les démarches du modèle pédagogique d'enseignement de référence et à se placer dans le même paradigme socio-constructiviste.

principe d'homomorphisme

c) Des activités scientifiques en partie transposables dans les conditions réelles d'enseignement

La plupart des activités scientifiques proposées doivent pouvoir être en partie réinvesties rapidement dans le cadre normal d'une classe. Le manque de matériel est souvent avancé par les maîtres comme la raison majeure pour justifier l'absence d'activités scientifiques à l'école. Un matériel simple ou facilement réalisable à un coût raisonnable est à privilégier pour les activités de façon à contrer cet argument. Une instrumentation plus sophistiquée peut être utilisée de façon plus ponctuelle pour une approche culturelle.

• *Un "module de formation disciplinaire" structuré, mais souple et adaptable*

Un module est constitué de plusieurs des situations précédemment définies. Le module, donc l'ensemble des situations, aborde les savoirs disciplinaires, didactiques et pédagogiques précédemment identifiés comme nécessaires à la mise en place d'un enseignement scientifique dans les classes. La cohérence du module réside dans son architecture globale dans laquelle les concepts clés (disciplinaires, didactiques et pédagogiques) peuvent être construits (concepts pivots) et abordés (concepts approchés) dans au moins une des situations du module, chaque situation étant "pilotée" par l'appropriation d'au moins l'un d'eux.

pilotage conceptuel et souplesse

Cette architecture est souple et adaptable. Les modules peuvent aborder un seul ou plusieurs domaines scientifiques, ou bien, répondre à une approche de la formation par cycle de l'école primaire.

Au cours de la situation, les concepts pivots s'élaborent de manière synchrone.

Le choix de leurs associations n'est pas figé. Celui-ci peut dépendre du sujet étudié, mais aussi de la chronologie des diverses situations constituant le module. Ce choix est également très dépendant de la disponibilité des documents sur lesquels s'effectuent les analyses didactiques ou pédagogiques. Ces documents, issus de pratiques effectives de classe, sont constitués de productions d'élèves, de transcriptions de séances de classe, de films vidéos, de fabrications, etc.

• *Des dialectiques en tension pour dynamiser une situation*

Plusieurs dialectiques peuvent guider la conception des situations formatives et en devenir des éléments de dynamisation. Elles caractérisent les liaisons entre des activités successives et deviennent des ressorts de motivation pour l'action en classe.

Nous ne développerons ici que les dialectiques utilisées pour l'analyse de la situation présentée.

dynamisation de la formation...

La dialectique *action/réflexion sur l'action* renvoie aux activités scientifiques et à la démarche effectivement vécue par les stagiaires. Si la mise en activité des stagiaires nous paraît être un des éléments fondamentaux de la cohérence entre les activités de formation et les activités de classe, il n'en demeure pas moins qu'une analyse distanciée de l'action doit succéder à l'activité afin d'en expliciter le sens tant du point de vue de l'apprenant que du point de vue de l'enseignant. Cette activité métacognitive peut s'appliquer aux trois champs de savoirs considérés.

...par l'alternance d'activités et d'analyses distanciées,

...la mise en relation entre formation et classe,

La dialectique *action/validation* met en relation des activités disciplinaires vécues par les stagiaires en formation avec des activités effectivement menées dans des classes. Ces dernières peuvent être rapportées soit sous forme filmée ou transcrite, soit sous forme d'écrits produits par les élèves. Une analyse de ces moments rapportés peut d'une part permettre un réinvestissement immédiat de connaissances nouvelles. D'autre part une certaine proximité ou au contraire une certaine distance entre les difficultés vécues (ou les obstacles rencontrés) par les stagiaires et celles (ou ceux) rapportées des élèves provoquent souvent un "effet de validation" de l'activité elle-même et de la démarche suivie, et constituent un élément d'adhésion du stagiaire. Ceci nous amène donc à proposer, dans la plupart des situations de formation, des temps de visionnement de "moments de classe" filmés ou rapportés, point d'appui d'analyse de séances de classe ou de productions effectives d'élèves mettant en évidence ces proximités ou ces distances.

...un investissement créatif,

La dialectique *production/création* met l'accent sur l'investissement personnel du stagiaire. Les productions peuvent être constituées d'écrits, de fabrications, d'exposés de toutes sortes (personnel, collectif) et avoir des fonctions diverses (pour la confrontation et l'analyse, pour la mémoire de l'activité, pour mutualiser, ou pour la classe etc.). La production peut être ciblée par une consigne fermée du formateur ou au contraire ouverte permettant une création personnalisée.

...la mobilité dans l'utilisation des concepts,

La dialectique *outil/objet*, empruntée à la didactique des mathématiques (COPIRELEM, 1991) met en regard deux positions possibles d'un même concept, comme "objet" s'il est considéré dans la place qu'il prend dans la construction d'un savoir organisé ou comme "outil" s'il est au service d'une élaboration conceptuelle. Ainsi, les concepts appréhendés peuvent être tour à tour "outils" s'ils sont utilisés par le maître dans le cadre d'une activité disciplinaire ou comme "objets" s'ils sont la cible d'une activité spécifique visant leur appropriation.

...une centration qui autorise l'ouverture

La dialectique *convergence/divergence* renvoie aux nécessaires ouvertures que commande toute formation professionnelle. Si les situations formatives doivent être pensées de façon à viser des objectifs précis, elles doivent aussi comporter des fenêtres. Celles-ci peuvent s'ouvrir sur des questionnements relatifs à d'autres champs de connaissances liés (en particulier sur les autres champs scientifiques et technologiques) et ainsi élargir les champs culturels à explorer. Elles peuvent aussi s'ouvrir sur une diversité de choix pédagogiques possibles tant au niveau des activités que de leur organisation. Les stagiaires sont alors en mesure de construire leur propre "*modèle pédagogique personnalisé*" (Develay, 1994). Le dispositif de formation se présente donc comme un système construit mais ouvert (Astolfi, 1997b).

2. LA SITUATION DE FORMATION ÉTUDIÉE

2.1. Contexte

analyse de cas : le module "Astronomie à l'école"

La situation a été mise en œuvre dans deux cadres différents, celui d'un module de formation initiale disciplinaire optionnel et celui d'un stage de formation continue intitulés "Astronomie à l'école" et s'adressant à des maîtres du premier degré enseignant en cycle 3 et n'ayant pas ou peu de connaissances en astronomie. Les formés sont pris en charge par un formateur par groupe de 16 à 20 personnes ; la structure afférente à ce module, ou mode de formation, correspond donc au "*mode de formation collective*" (Develay, 1994). Le lieu de stage ne dispose pas de planétarium.

2.2. Choix des "concepts pivots" de la situation

La situation présentée vise l'étude du ciel nocturne, ses techniques d'observation à l'œil nu, la compréhension et l'utilisation d'une carte céleste. La ligne directrice de la situation est définie par les élaborations conceptuelles conjointes des concepts de "constellation" dans le domaine de l'astronomie et de "niveau de formulation" dans celui de la didactique des sciences.

• *En astronomie*

En astronomie, le concept de "constellation" est central. Il sert au repérage spatial d'un objet de la voûte céleste sans l'utilisation d'un système de coordonnées sphériques. Ainsi, la position de tout objet céleste est donnée par rapport à la constellation céleste dans laquelle il se situe. Pour une étoile, sa dénomination scientifique et sa symbolisation font référence à la constellation à laquelle elle appartient. Ainsi, par exemple, "α Ursa Major" est la désignation normalisée internationale de l'étoile la plus brillante (α) située dans la constellation de la Grande Ourse (Ursa Major).

concept de constellation : du repérage spatial aux modèles explicatifs du "monde"

Sur le plan épistémologique, l'observation des constellations a permis de mettre en évidence les mouvements relatifs de la Terre et des astres (mouvement relatif autour d'un point fixe de la voûte céleste, identification et mouvements des planètes sur la sphère céleste, définition de la bande zodiacale et de l'écliptique, connaissance du système solaire...). Cette observation est à l'origine de l'élaboration des différents modèles explicatifs du "monde" (modèles géocentrique et héliocentrique). Dès lors qu'on approche l'observation du ciel nocturne, la connaissance des constellations est incontournable. Cette connaissance dans le domaine de l'astronomie permet aussi d'avoir une attitude critique vis-à-vis des sciences occultes qui utilisent ce même mot, mais à d'autres fins.

• *En didactique des sciences*

Dans le domaine de la didactique, un "niveau de formulation" est défini comme un énoncé considéré comme scientifiquement acceptable à un moment donné de la construction d'un concept par un apprenant. Une séquence d'enseignement-apprentissage vise toujours une élaboration conceptuelle. Or pour un concept donné, sa formulation varie selon le niveau d'enseignement, de façon à le rendre accessible aux élèves. Le "niveau de formulation" est donc un outil qui permet à l'enseignant de faire des choix raisonnés d'activités de classe comme de programmations de cycle. Il lui donne la possibilité de situer son enseignement dans le cursus scolaire d'un élève et donne ainsi du sens à l'activité même d'enseignement. Selon J.-P. Astolfi (1997a), "*l'idée de hiérarchisation des énoncés (et donc des notions), au cours de la scolarité, apporte aux enseignants*

concept de niveau de formulation : de l'adaptation aux élèves dans une séquence à la programmation du curriculum

l'opportunité de regarder de près l'organisation verticale *du curriculum, alors qu'ils ne sont généralement concernés que par une portion limitée de celui-ci*". Pour devenir un outil professionnel, ce concept clé doit donc lui-même faire l'objet d'une élaboration conceptuelle.

Les trois "niveaux de formulation" du concept de "constellation" visés par la situation présentée sont :

Niveau 1
Une constellation est un ensemble d'étoiles qui, reliées arbitrairement par des lignes imaginaires, forment dans le ciel un dessin facile à mémoriser auquel on attribue un nom.

Niveau 2
Une constellation est un ensemble d'étoiles qui, vues depuis la Terre, sont situées dans des directions proches l'une de l'autre, et semblent relativement voisines sur la voûte céleste (demi-sphère imaginaire sur laquelle on les représente). Reliées entre elles, par des lignes imaginaires dessinées sur la voûte céleste, elles forment un dessin facile à mémoriser auquel on attribue un nom. Les étoiles d'une même constellation sont à des distances différentes de la Terre, et sont donc, en général, très éloignées les unes des autres.

Niveau 3 : Définition scientifique actuelle
Une constellation est une zone de la sphère céleste, dont les limites précises ont été définies en 1930 par l'Union Astronomique Internationale, autour des figures repérées par les anciennes civilisations. La sphère céleste est découpée en 88 constellations, dont le nom officiel international de chacune d'elles est un nom latin (exemple Ursa Major pour la Grande Ourse). Toute région du ciel appartient à une constellation.

• *Des concepts élaborés en association*

des élaborations conceptuelles qui s'étayent

Une carte céleste est une projection de la sphère céleste (qui porte les constellations) sur un plan. La compréhension de la construction d'une carte nécessite de savoir ce qu'est la sphère céleste, à savoir la projection centrale (centrée sur le centre terrestre) des étoiles sur une sphère imaginaire. Si la maîtrise du premier niveau de formulation d'une constellation suffit pour apprendre à utiliser une carte, celle des second et troisième niveaux est nécessaire pour en comprendre le principe de construction.

Les étapes de l'élaboration du concept de "constellation", les conditions de construction des trois énoncés du même concept et les domaines de validité correspondants peuvent être clairement identifiés. Ainsi, les invariants relatifs à chaque étape permettent de dégager le concept de "niveau de formulation" et de le caractériser par ses attributs.

Les deux élaborations sont donc emboîtées.

2.3. Description de la situation de formation

• Premier épisode : vivre des activités proches de celles d'une classe, tant au niveau des savoirs en jeu que de la démarche adoptée

Phase 1 : Exprimer ses idées sur le ciel étoilé (les "étoiles", la "voûte céleste", les "constellations")

Un recueil écrit des conceptions des stagiaires inaugure ce début d'épisode. Une confrontation des réponses est organisée, le débat est souvent vif. Un grand nombre de questionnements individuels émergent publiquement à l'oral.

échanges animés sur les conceptions des stagiaires

Nous ne développerons pas ici tous les échanges, en particulier ceux portant sur les questions relatives à la différence entre l'astronomie et l'astrologie. La définition de la "voûte céleste" est difficile à formuler. Les réponses sont très dispersées. Sur un ensemble de 70 réponses, 3 seulement approchent la définition scientifiquement reconnue (*"c'est la forme apparente du ciel"*), les autres(5) allant de la non-réponse (*"je n'y connais rien à l'astronomie"*) à *"c'est la voie lactée"*(2). La majorité des réponses (23) n'associe la voûte céleste qu'au seul ciel nocturne, *"c'est l'ensemble des étoiles*, la nuit*"*.

En ce qui concerne le concept de "constellation", les connaissances des stagiaires sont moins diffuses. Pour 24 stagiaires sur 29 interrogés, "*une constellation est un regroupement [ou un ensemble] d'étoiles*" Certains ajoutent soit un point d'interrogation à leur proposition soit "*mais je ne sais pas lequel*". Quatre seulement apportent des précisions telles que "*elles sont disposées toujours pareil*" ou "*elles portent des noms souvent mythologiques*" ou bien encore elles ont été "*regroupées par les astronomes*". Deux font allusion à des formes imaginaires.

Phase 2 : Retrouver une étoile dans le ciel étoilé/proposer une procédure de mémorisation

Une simulation du ciel nocturne est obtenue par projection de points lumineux à l'aide d'un rétroprojecteur. Il s'agit d'un modèle du ciel nocturne ayant une fonction de représentation, modèle dans lequel l'observateur est inclus.

Une comparaison entre le réel (le ciel nocturne) et le modèle utilisé (projection de points lumineux) met en évidence leurs écarts (espace limité, échelle différente) et leurs similitudes (dispersion dans l'espace et luminosité variable).

invention d'une procédure de mémorisation d'un nuage de points...

La consigne suivante est alors proposée : *"Choisissez une* 'étoile' (1) *(non située sur les bords de l'image projetée) et trouvez une procédure qui vous permette de retrouver cette* 'étoile' *d'ici quelques instants"*. L'"étoile" choisie est rapidement

(1) On notera "étoile" dans la suite du texte, tout point représentant une étoile dans une simulation (points lumineux) ou une représentation graphique (point codé) du ciel nocturne.

retrouvée. Puis, chaque stagiaire communique oralement sa propre procédure en la "montrant" à l'aide d'un "pointeur lumineux". Le document 1 expose quelques formulations représentatives des procédures. Les dessins correspondants dessinés à l'aide du pointeur lumineux sont reproduits sur le document 2.

On peut constater que toutes les procédures proposées sont différentes et personnelles, et renvoient au champ figuratif du cheminement de la pensée (Piaget et Sanner, cités par Astolfi, 1997a). Lorsque les procédures sont exprimées sans être "montrées" à l'aide d'un pointeur lumineux, il s'avère difficile pour autrui de retrouver "l'étoile". Ce fait renforce le caractère intra-personnel de la procédure.

Phase 3 : Reconnaître un "morceau de ciel"/prendre conscience des limites de la mémoire

...et prise de conscience de ses limites

Il s'agit maintenant d'identifier dans le premier ciel simulé, un "morceau" de ce même ciel présenté simultanément par projection d'une "diapositive-trous" (2) sur un autre écran. Les échelles des deux représentations diffèrent légèrement, ainsi que les orientations relatives. Pour retrouver l'ensemble de ce "morceau de ciel", chaque stagiaire découpe par la pensée, la représentation du "morceau de ciel" en deux, voire en trois nouveaux morceaux, en utilisant toujours le même processus que précédemment. Ainsi certains voient *"une botte"* (ou *"une patte de chat"*) et *"un cerf volant"*, ou *"une grande casserole"*, *"une petite casserole"* et *"une ligne brisée"* (document 3).

Une des deux ou trois unités mémorisées correspond à la représentation d'une constellation reconnue alors par la majorité des stagiaires qu'ils nomment "Grand Chariot" ou "casserole". Cette unité mémorisable représente la constellation de la Grande Ourse.

Phase 4 : Les contes et légendes du ciel de différentes civilisations/ouverture culturelle, ouverture vers l'imaginaire

L'identification du dessin de la Grande Ourse à un ours et sa double dénomination (Grande Ourse ou Grand Chariot) appellent toujours une multitude de questions (*"Où voit-on un ours ?"*). La suite de la séance s'engage alors sur les représentations de cette constellation dans les différentes civilisations et sur les contes et légendes s'y rapportant. Différentes documents iconographiques sont présentés et quelques légendes sont lues collectivement.

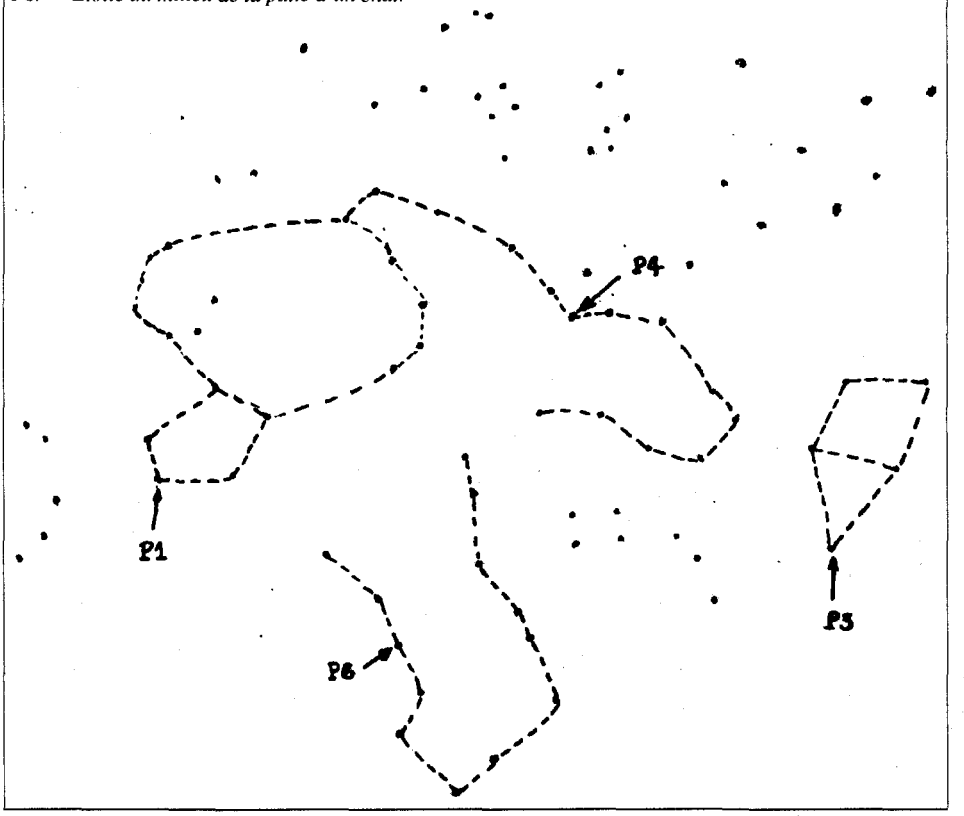
(2) Nous appelons "diapositive-trous" l'objet inséré dans le projecteur de diapositives constitué d'un carton très finement perforé, et reproduisant la vision, depuis la Terre, d'une partie du ciel nocturne.

Document 1. Formulations de quelques procédures de mémorisation utilisées

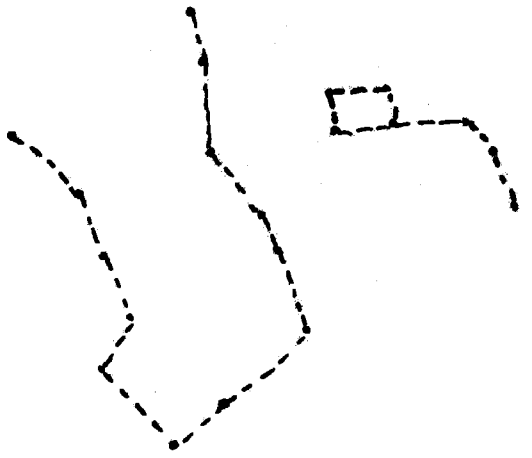
Exemples de procédures faisant appel à la figuration d'objets familiers ou d'êtres vivants.
P1. – L'étoile située au début de la tige d'un champignon.
P2. – J'ai choisi le bec verseur de la casserole.
P3. – L'étoile au faîte d'un toit de maison.
P4. – Étoile située dans une queue de poisson.
P5. – C'est l'œil le moins brillant d'un bonhomme.
P6. – Étoile du milieu de la patte avant d'un chat.
Exemples de procédures faisant appel à des figures géométriques ou à des symboles.
P7. – L'étoile est au centre de l'arc de cercle, en imaginant un compas, l'étoile est le centre "pointe sèche".
P8 – L'étoile située au milieu d'une petit ligne brisée composée de cinq étoiles.
P9. – L'étoile la plus éclairée d'un pentagone qui suit celle la moins éclairée.
Exemples de procédures faisant appel à la figuration d'objets et à des figures géométriques.
P10. – Ce losange a une petite queue, c'est comme un cerf-volant, c'est le bout de la queue.
P11. – Étoile la plus proche d'un cercle représentant des haltères.l
Les procédures font également appel à une position relative ou à une brillance relative de l'étoile choisie.

Document 2. Explicitation des procédures individuelles (tracé des dessins à l'aide d'un pointeur lumineux)

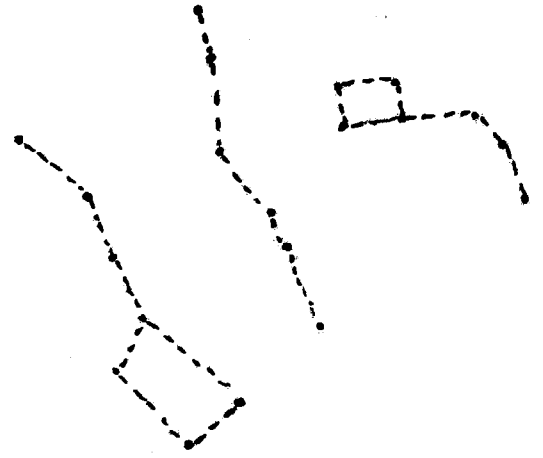
P1. – L'étoile située au début de la tige d'un champignon.
P3. – L'étoile située au faîte d'un toit de maison.
P4. – Étoile située sur une queue de poisson.
P6. – Étoile du milieu de la patte d'un chat.



Document 3. Unités mémorisables



Procédure : *"Une botte et un cerf-volant"*



Procédure : *"Une petite casserole, une grande casserole, et une ligne brisée"*

Phase 5 : Dessiner les "figures" du ciel pour les mémoriser

Le modèle lumineux du ciel est fugace. Conserver une trace écrite du modèle s'impose. La méthode décrite ci-après a été empruntée à V. Tryoën (CLEA) (3).

(3) C.L.E.A. : Comité de Liaison Enseignants et Astronomes, Laboratoire d'astronomie, bât. 470, Université de Paris Sud, 91405 ORSAY.

une technique de mémorisation des constellations

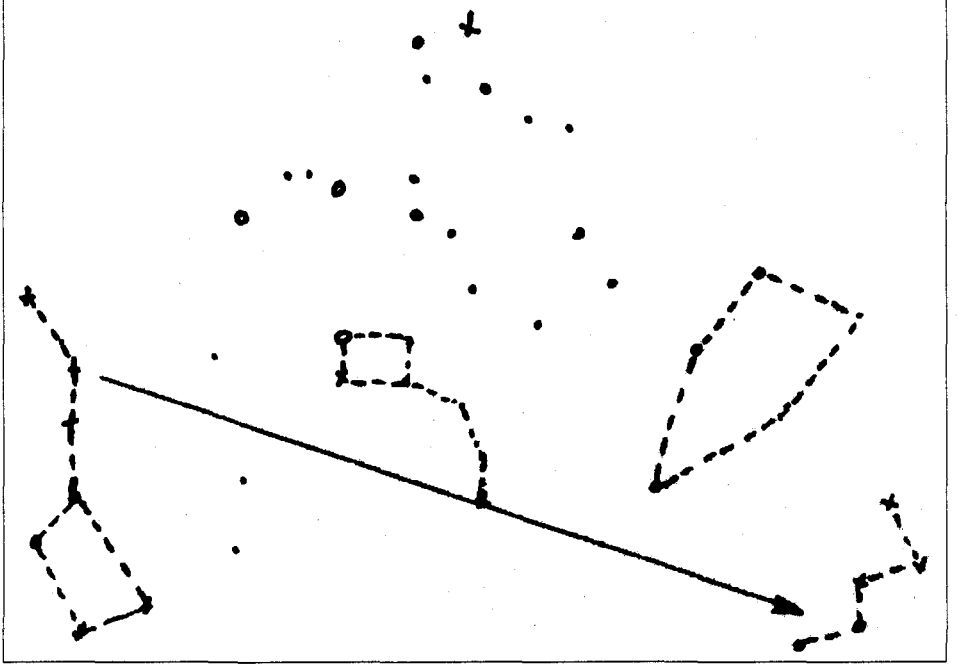
Un document écrit reproduit un ciel lumineux en négatif. Les étoiles sont représentées par des points ou des signes et les brillances relatives (ou magnitudes) des étoiles sont codifiées par ordre de brillance décroissante de la façon suivante : ✯ × o • · .. Nous appellerons ces représentations "nuages de points codés". Les ruptures entre les deux représentations sont identifiées (positif/négatif et codification des brillances relatives).

En reliant les "étoiles" de la Grande Ourse entre elles, on dessine la représentation classique des cartes célestes. Puis une initiation à la "méthode des alignements", utilisée couramment en astronomie, permet de découvrir d'autres constellations : la Petite Ourse et l'étoile Polaire, Cassiopée, le Dragon.

La mémorisation se fait donc par autorépétitions successives des dessins des figures des constellations données en cartographie céleste. Les nouveaux savoirs portent sur une seule constellation à la fois. Ils sont constitués de la représentation figurée de la constellation, de sa dénomination usuelle en français, de sa dénomination scientifique (nom latin), de sa symbolisation internationale, éventuellement de la dénomination de certaines étoiles-repères, et des alignements-repères (document 4).

Document 4. Découverte de la constellation du Dragon ou Draco (Dra)

D'après TRYOEN, V. (N.D.). Comment reconnaître les constellations. In *L'observation des astres et le repérage dans l'espace, Formation continue des Maîtres en astronomie.* ORSAY : CLEA, Université de Paris XI.



Phase 6 : Passer d'une représentation à une autre, puis transférer une technique sur le réel, changer d'échelle

transfert

On essaie ensuite de transférer ces nouveaux savoirs (figures des constellations et méthode des alignements) sur une simulation lumineuse (par projection) du ciel. Ce transfert n'est pas sans poser quelques difficultés, puisqu'il n'est pas possible de dessiner (en laissant des traces) sur cette figure projetée.

On invite alors chaque stagiaire à mesurer l'écart angulaire entre deux étoiles de la Grande Ourse, mesuré selon la technique du bras tendu. Cet écart angulaire est très faible (environ 2°). On le compare alors à l'écart donné réel (environ 20°), observé et mesuré depuis la Terre. La nécessité d'opérer une nouvelle transposition du savoir-faire pour le rendre opératoire lors d'une observation du ciel nocturne est repérée.

Phase 7 : Prendre conscience du processus de mémorisation/appréhender une activité métacognitive

Il s'agit à cette étape d'analyser les procédures utilisées, de les décomposer en schémas d'actions, et de décrire les différentes opérations mentales successives effectuées pour mémoriser la position de "l'étoile" lors de la phase 2. Chacun prend alors conscience de sa propre démarche de mémorisation. Malgré une différenciation des procédures, l'ensemble des stagiaires a adopté quasiment le même *processus* constitué de la succession des mêmes étapes : d'abord perception d'un groupe "d'étoiles", liées par la pensée de façon à former une image mentale mémorisable (identifiable à un objet connu et nommé), puis choix d'une "étoile" et enfin repérage spatial de "l'étoile" par sa position ou sa brillance relative. Une distinction est faite entre le "processus de mémorisation" utilisé, qui semble le même pour tous et la "procédure de mémorisation" qui engage des paramètres intra personnels.

plusieurs procédures, un même processus

La compréhension de l'organisation perceptive des points en figures fait toujours l'objet d'études en psychologie cognitive, et plusieurs approches, fondées sur les théories de la perception, tentent d'élucider cette organisation (Weil-Barais, 1997). Pour le mouvement gestaltiste, l'unité perceptive est fondée sur la forme et non sur ses éléments, le tout étant perçu avant ses parties. L'organisation des ensembles ne se fait pas au hasard et la perception répondrait à un certain nombre de lois d'organisation (*de bonne forme, de proximité, de similitude, de bonne continuité, de destin commun, de clôture*). De là, on peut avancer une hypothèse d'explication sur les différentes dénominations des constellations selon les civilisations, et sur l'unicité du processus adopté tout au long de l'histoire de l'humanité.

On se rend compte aussi que le "morceau de ciel" proposé lors de la phase 4 n'est pas mémorisable et que ce "nuage de points" est encore trop complexe pour être stocké globalement en mémoire. La décomposition en "unités mémorisables" semble donc une nécessité.

Phase 8 : Formuler une définition du concept de constellation/aboutir à un premier niveau de formulation

Les formulations les plus représentatives pour une définition du concept de "constellation" sont reproduites ci-dessous.

1. C'est un ensemble d'étoiles qui représentent des figures définies par les anciens.
2. Regroupement d'étoiles arbitraire faisant référence à une image mentale.
3. Un alignement d'étoiles (figurant un animal, un objet...)
4. Un ensemble d'étoiles que l'on relie entre elles pour former une image mentale à laquelle on donne un nom.
5. Constellation : assemblage d'étoiles selon un ordre défini qui permet une mémorisation facile
6. Un ensemble d'étoiles reliées par des lignes virtuelles faisant penser à des figures géométriques virtuelles, pour pouvoir repérer + facilement les étoiles dans le ciel.

une première élaboration conceptuelle

Les propositions oublient, pour la plupart, le caractère arbitraire du regroupement des étoiles. Leur mise en commun aboutit au premier niveau de formulation (paragraphe 2.2) : "une constellation est un ensemble d'étoiles qui, reliées arbitrairement par des lignes imaginaires, forment dans le ciel un dessin facile à mémoriser auquel on attribue un nom".

Les stagiaires sont alors invités à observer le ciel nocturne de manière autonome et à mettre à l'épreuve la méthode enseignée. L'orientation de l'observation leur est précisée et le "ciel du soir" fourni. Les stagiaires disent avoir repéré sans difficulté les quelques constellations apprises. Ils sont surpris par la faible luminosité des étoiles de la constellation de la Petite Ourse.

- ***Second épisode : Analyser des moments de classe en réinvestissant des connaissances nouvelles***

La transposition de ces activités dans une classe de l'école élémentaire fait l'objet de nombreuses interrogations (reproductibilité, motivation des élèves pour l'observation, capacité des élèves à observer en autonomie, matériel (4), utilisation de diapositives (5)).

Une analyse didactique de "moments de classe" (retranscrits sur le document 5) est proposée.

---

(4) Une solution de remplacement à l'utilisation du rétroprojecteur consiste à perforer des panneaux noirs à l'aide de vis (ou de punaises à têtes longues) et à coller sur leurs têtes des papiers phosphorescents de différentes grandeurs. Les figures des constellations sont représentées à l'aide d'élastiques souples en reliant les vis (ou les têtes des punaises) entre elles (d'après la technique de Victor Tryoën).

(5) Les stagiaires proposent régulièrement de remplacer les "diapos-trous" par des diapositives du ciel nocturne. Après essai, les stagiaires comprennent que cette instrumentation, si elle comporte des avantages (respect des positions relatives, des brillances relatives et des couleurs des étoiles), crée par contre un obstacle majeur, puisque la pellicule est impressionnée par la lumière d'un plus grand nombre d'étoiles que d'étoiles visibles à l'œil nu. L'utilisation de diapositives serait donc prématurée à cette étape de la situation d'apprentissage.

Document 5. Transcriptions de "moments de classe" Classe de 3e niveau de cycle 3

Les essais menés dans les classes ont été effectués en d'automne et en hiver (sous la latitude Nord de 50°). Un défi est lancé aux élèves, il consiste à *"compter le nombre d'étoiles dans le ciel"*.

Un défi : compter le nombre d'étoiles dans le ciel

– Un élève *:"Mais c'est pas possible"*
– Un élève : *"Y'en a beaucoup"*
– Un élève *"Y'en a au moins 3000 !"*
– Le maître *: "Mais vous savez compter jusqu'à 3000 !"*
– Un élève : . *"Oui, mais on va y passer beaucoup de temps, car y'en a beaucoup"*
– Le maître : *"Oui, mais vous avez tout le temps pour le faire !"*.

La discussion qui suit porte sur le nombre d'étoiles à compter et sur le temps à passer pour les compter.

– Un élève : *"Mais quand on va les compter, comment savoir si on a déjà compté l'étoile, puisqu'elles sont toutes pareilles !"*.
– L'ensemble de la classe *: "Bah oui !"*
– Le maître : *"Ah oui... Il y a là un problème... ! D'accord ...si j'ai bien compris... si on veut compter le nombre d'étoiles dans le ciel, il faut d'abord être capable de retrouver une étoile. Essayons donc de trouver une solution... alors... je vous propose la chose suivante : vous allez choisir une étoile dans le ciel, et vous allez essayer de trouver un moyen pour la retrouver un peu plus tard... une heure après par exemple. Est-ce que ça vous semble possible ?"*.

Acquiescement de la classe.

La consigne de travail est alors formulée comme suit : *"Choisir une étoile et trouver un moyen de la retrouver environ une heure plus tard ; écrire dans le* 'cahier de bord' *la méthode utilisée et éventuellement faire un dessin"*.
Une semaine plus tard, la majorité des élèves a effectué le travail demandé. Voici quelques procédures proposées.

Quelques procédures proposées pour retrouver une étoile

E1 – "*J'ai choisi l'étoile qui était au dessus du sapin du jardin, puis je suis revenu au même endroit et j'ai retrouvé l'étoile, mais elle avait un peu bougé... enfin je crois...*"
E2 – "*Je me suis mis devant la fenêtre. J'ai cherché s'il y avait une étoile situé au dessus d'un poteau de la rue. J'en ai trouvé une et j'ai choisi celle-là. Quand je suis revenu à la fenêtre, j'ai retrouvé mon étoile.*"
E3 – "*J'ai choisi mon étoile,...j'ai pris un piquet, j'ai dirigé mon piquet vers mon étoile... non... j' m'suis d'abord couché par terre... et puis j'ai regardé l'étoile avec mon piquet, je l'ai enfoncé dans la terre, et quand je suis revenu, j'ai retrouvé mon étoile.*"
E4 – "*Dans le fond de mon jardin, y' a une vieille cabane où on range les outils du jardin. Je suis monté sur le tas d'herbe qu'est à côté, et j'ai mis mon œil dans le creux de la gouttière qu'est toute trouée... Y'avait justement une étoile, j'ai choisi celle-là, c'était facile. Quand j'suis revenu, y'avait plus d'étoile dans le rond. Mais y'en avait une just'à côté... en dehors du rond... alors, c'était sûrement mon étoile... mais ça avait bougé*".
E5 – "*Moi, j'ai cherché la plus brillante et c'est celle-là que j'ai choisie. Quand je suis revenue, je l'ai retrouvée*"
E6 – *"Je prends la petite casserole et au bout c'est l'étoile polaire et c'est le nord"*.
E7 – *"Moi j'ai pas trouvé"*.
E8 et réactions d'un autre élève E9 – *"Je regarde celle qui se lève la première, c'est l'Étoile du Berger"*.
E9 – *"C'est Vénus, c'est une planète !"*.
E8 – *"Non, puisqu'on dit* étoile *du Berger"*
E9 – *"Une planète et une étoile c'est pas pareil !"*.

Le débat s'installe dans la classe. On compare les différentes procédures proposées et on tente de les caractériser. Des questions surviennent.

Les questions d'élèves.

– *"Pourquoi certaines étoiles brillent plus ?"*
– *"Est-ce que c'est possible de retrouver une étoile, même si on change de place et dans un endroit désert, où y'a pas d'arbre et pas d'poteau ?"*
– *"Est-ce que le ciel bouge, comme le dit Théo ?"*

La situation de départ est immédiatement reconnue comme une situation didactique dite "déclenchante" par les stagiaires de formation initiale. Par contre, pour la plupart des stagiaires de formation continue, il s'agit d'une première rencontre avec ce concept de didactique des sciences. Quelques caractéristiques de ce type de situation sont dégagées. Dans le cas présenté, la situation proposée commence par confronter immédiatement les élèves avec le ciel nocturne (qui constitue l'objet réel d'étude). Elle permet aussi d'engager des débats, de faire émerger des questionnements, de repérer des compétences, de mettre les élèves en appétit d'observation.

application à l'analyse de classe

L'analyse des procédures utilisées par les élèves pour retrouver une étoile conduit à classer celles-ci en trois catégories.

Une première catégorie correspond aux procédures fondées sur le repérage d'une étoile par rapport à un repère terrestre fixe et impliquant à l'observateur une position donnée (procédures proposées par la majorité des élèves de la classe).

Les procédures de la seconde catégorie sont fondées sur une observation "instrumentée", utilisant un instrument rudimentaire de visée, à savoir un bâton fixé, ou un élément fixe linéaire tel qu'une gouttière ou un bord de mur (procédures choisies par un petit nombre d'élèves).

classer les procédures des élèves,

Une troisième catégorie regroupe les procédures utilisant comme critère de discrimination la brillance de l'étoile (procédures choisies par quelques élèves seulement).

Les réponses des élèves (peu nombreux) qui, soit n'ont pas répondu, soit se sont sans doute fait aider (par exemple en trouvant "*un ours dans le ciel*") sont regroupées ensemble dans une quatrième catégorie.

La comparaison des différents types de procédures fait ensuite l'objet d'un débat, permettant de mettre en évidence les contraintes de chacune d'elles.

repérer leurs limites,

Les procédures appartenant à la première et à la seconde catégorie sont dépendantes du lieu d'observation. Celles de la première catégorie nécessitent des objets du paysage (arbres, poteaux, église...) et imposent à l'observateur une position fixe (et la procédure peut elle-même conditionner le choix de l'étoile). Celles de la seconde catégorie peuvent permettre de choisir n'importe quelle étoile du ciel lorsque l'instrument de visée est mobile. Mais ni les unes , ni les autres ne permettent à l'observateur de retrouver l'étoile si ce dernier change de lieu d'observation.

Les procédures de la troisième catégorie ne permettent de retrouver que les étoiles de brillance caractéristique (très faible ou très brillante). On remarque qu'aucun élève n'a perçu la couleur des étoiles.

En conclusion, aucune des procédures ne permet de retrouver, en tout lieu d'observation, une étoile quelconque du ciel.

Au travers des procédures décrites, on cherche ensuite à repérer les compétences déjà acquises par certains élèves. On repère :

et les compétences qu'elles révèlent

- des compétences de savoir-faire technique pour ceux qui utilisent un instrument de visée, - des compétences d'observation fine chez les élèves ayant choisi comme critère de choix la brillance des étoiles,
- des compétences d'orientation pour ceux qui utilisent les procédures de première catégorie.

Quelques idées préalables sont repérées (comme la différence étoile/planète et le grand nombre d'étoiles visibles).

Suite de la description des activités de classe.
Les questions sont reformulées par le maître.
"Comment expliquer que les étoiles brillent différemment les unes des autres ?"
"Peut-on trouver un moyen de retrouver une étoile, si on se trouve dans le désert ou sur la mer ?"
"Le ciel bouge-t-il ? et si oui, comment bouge-t-il ?"
Les activités de classe vont alors avoir pour but de répondre aux trois problèmes posés.
Pour résoudre le premier problème, les activités proposées sont proches de celles décrites pour les maîtres en formation (simulations du ciel de la phase 2 de la situation de formation). Les élèves utilisent des procédures proches de celles des adultes, par contre, les figures mémorisées sont liées à leur univers d'enfant. Par exemple, la figure constituée par les 7 étoiles de la Grande Ourse est mémorisée comme une *"poussette de poupée"*, *"une loupe de philatélie"*, *"un berceau"*, *"une passoire"*, *"un caddie"* ou encore *"une pelleteuse"*.

L'apprentissage d'autres constellations se fait tout au long de l'année. L'apprentissage d'une ou deux constellations devient alors un "rituel" de la classe.
Les nombreux allers et retours entre le réel (l'observation du ciel), le travail sur les modèles physiques qui le représentent, et les représentations écrites sont indispensables à l'appropriation des procédures et l'émergence des questionnements.

Une autre technique d'apprentissage des constellations est également utilisée : la représentation lumineuse d'une constellation est projetée sur un écran, et il s'agit de repérer sa représentation sur papier dans un "nuage de points codés" totalement inconnu. Les stagiaires utilisent alors le code des brillances, recherchent les étoiles très brillantes et identifient la représentation de la constellation dans le "nuage". Cette procédure est appropriée si les constellations comportent des étoiles très brillantes (comme la constellation d'Orion)

Des diapositives sont peu à peu utilisées, et les procédures de reconnaissances sans cesse "autorépétées", à la fois sur le réel (ciel nocturne) et sur ses diverses représentations (simulations, diapositives).

• ***Troisième épisode : Vivre des activités de modélisation et aboutir à un second puis à un troisième niveau de formulation***

Phase 1 : Expliquer la différence des brillances des étoiles/utiliser un modèle explicatif/aboutir à un second niveau de formulation du concept de "constellation"

On prend alors comme point de départ les questions des élèves issues de la séance de classe précédemment décrite.

Comment expliquer les brillances relatives des étoiles ? Les facteurs "grosseur", "distance à la Terre", "puissance" de l'étoile sont proposés.

Différentes maquettes sont proposées pour tester ces suppositions (petites lampes de puissances différentes, tunnels noirs à l'intérieur desquels sont disposées des boules phosphorescentes de diamètres différents). La vision à l'intérieur d'un tunnel noir rend impossible l'évaluation des profondeurs, l'image perçue est analogue à celle donnée par un objet plan. Lorsque le tunnel est ouvert, on découvre des boules phosphorescentes de diamètres variables situées à des distances différentes du trou. Une maquette facile à construire et inspirée d'un dessin d'A. Acker (annexe), est souvent proposée dans les ouvrages sur l'enseignement de l'astronomie. Elle est, nous semble-t-il, à utiliser avec précaution. En effet, un seul des rayons lumineux émis par chaque étoile de la constellation est matérialisé par un fil (celui qui est dirigé de l'étoile vers la Terre, elle-même matérialisée par l'œil de l'observateur). Cette maquette risque donc de renforcer une conception initiale souvent rencontrée et erronée à propos de la propagation de la lumière et de la vision, conception selon laquelle les rayons lumineux partiraient de l'œil vers l'objet (Kaminski, 1994 ; Guesne, 1984).

utiliser des modèles pour représenter le réel

Une autre activité consiste à modéliser dans une salle obscure les éléments d'une observation terrestre en représentant d'une part la Terre par "l'œil de l'observateur", d'autre part quelques étoiles situées dans des directions (par rapport à la Terre) voisines l'une de l'autre par des boules phosphorescentes placées à des distances différentes de "l'œil de l'observateur". On place devant l'observateur une feuille en matière plastique transparente sur laquelle ce dernier doit dessiner (par projection centrale) ce qu'il perçoit depuis sa "Terre". Les points projetés sont alors très proches l'un de l'autre. Cette représentation des "étoiles" sur la feuille forme ce que l'on a précédemment nommé "constellation". La vision du dispositif depuis un autre point de l'espace est possible et totalement différente de la vision depuis la "Terre". Une étude du modèle permet d'identifier respectivement les objets physiques (étoiles, observateur sur la Terre) et leurs représentations dans le modèle. Ainsi, la feuille ne représente aucun objet physique, elle est seulement un support qui permet de représenter l'image perçue par un observateur terrestre.

Pour pouvoir représenter toutes les étoiles visibles du ciel, un support hémisphérique est nécessaire. La notion de "voûte céleste" est alors appréhendée comme demi-sphère imaginaire sur laquelle on projette, par la pensée, les étoiles.

varier les modèles

La multiplicité des modèles utilisés ici permet à l'observateur d'être soit inclus dans le modèle, soit en dehors du modèle. Dans le premier cas, le modèle fonctionne comme modèle explicatif (Martinand, 1992), il simule le réel et permet d'expliquer les observations depuis la Terre. Dans le second cas, il fonctionne comme modèle prédictif, il permet à l'observateur de prédire ce qu'il verrait s'il lui était permis d'aller dans l'espace.

Des documents indiquant les distances à la Terre des étoiles d'une même constellation, ainsi que des films vidéos apportent des compléments de visualisation et d'informations. Des comparaisons entre la brillance observée (magnitude) et la distance des étoiles à la Terre ne montrent aucune corrélation entre ces deux paramètres. Ce qui permet d'affirmer que d'autres paramètres comme la masse, la température, la luminosité réelle peuvent entrer en jeu.

Ces nouvelles connaissances permettent d'enrichir le concept de constellation.

Une nouvelle définition de celui-ci est demandée aux stagiaires. On se rend compte de leurs difficultés à élaborer et à formuler un énoncé scientifique. Quelques formulations proposées par les stagiaires sont rapportées ci-dessous par ordre croissant du nombre de paramètres en jeu.

1. Constellation : ensemble d'étoiles contenues dans notre galaxie, la voie lactée ou/et ? autre galaxie.
2. Une constellation est une ensemble d'étoiles éloignées mais qui forment une représentation pour celui qui regarde de la Terre (représentation animale ou autre définie par un code).
3. Représentation imaginaire d'un groupement d'étoiles associées sans critères de distances.
4. C'est un groupement d'étoiles situées dans une même direction.
5. Ligne artificielle reliant des étoiles se trouvant à des distances différentes du Soleil.
6. Ensemble de boules gazeuses plus ou moins éloignées de la Terre dont la puissance est plus ou moins forte (ou éparpillées sur la voûte céleste).
7. Ensemble d'étoiles de masses et de brillances différentes, plus ou moins proches de la Terre et que notre œil associe pour donner une forme particulière.

un second niveau de formulation

Une confrontation des propositions permet la mise en évidence des insuffisances de chacune d'elles (aucune formulation n'intègre tous les nouveaux paramètres découverts) et conduit à la validation du second niveau de formulation (voir paragraphe 2.2) : "*Une constellation est un ensemble d'étoiles qui, vues depuis la Terre, sont situées dans des directions proches l'une de l'autre, et semblent relativement voisines sur la voûte céleste (demi-sphère imaginaire sur laquelle on les représente). Reliées entre elles, par des lignes imaginaires dessinées sur la voûte céleste, elles forment un dessin facile à mémoriser auquel on attribue un nom. Les étoiles d'une même constellation sont à des distances différentes de la Terre, et sont donc, en général, très éloignées les unes des autres.*"

Phase 2 : Représenter toutes les étoiles visibles depuis la Terre/formuler un troisième niveau de formulation

comparer les modèles et leur validité

Une petite demi-sphère transparente posée sur un globe terrestre au lieu d'observation permet de représenter la demi-sphère locale (ou voûte céleste). On montre que celle-ci ne peut porter que la projection des étoiles situées à l'intérieur de l'angle solide de π stéradians de sommet le lieu d'observation.

"Comment représenter toutes *les étoiles du ciel ?"*

les faire fonctionner

Un nouveau modèle est utilisé : la Terre est représentée par un globe terrestre et les étoiles par des petites boules dispersées dans tout l'espace disponible de la salle. L'observateur n'est pas inclus dans le modèle. La seule façon de pouvoir représenter toutes les "étoiles" est donc de les projeter sur une sphère imaginaire englobant la Terre (de même centre) ou "sphère céleste". Différents dispositifs permettent de représenter cette sphère imaginaire (hémisphères transparents, parapluies transparents, sphère armillaire à arceaux, sphère gonflable etc.). Ainsi, tous les objets de l'espace visibles depuis la Terre peuvent être représentés sur cette sphère et celle-ci peut être découpée en secteurs.

un troisième niveau de formulation

On aboutit alors au troisième niveau de formulation du concept de constellation, qui correspond à la définition scientifique actuelle. (voir paragraphe 2.2) : *"Une constellation est une zone de la sphère céleste, dont les limites précises ont été définies en 1930 par l'Union Astronomique Internationale, autour des figures repérées par les anciennes civilisations. La sphère céleste est découpée en 88 constellations, dont le nom officiel international de chacune d'elles est un nom latin (exemple Ursa Major pour la Grande Ourse). Toute région du ciel appartient à une constellation."*

- ***Quatrième épisode : Élaborer le concept de "niveau de formulation"***

prise de conscience des continuités et ruptures dans le processus de conceptualisation

La vision diachronique précédente du concept de "constellation" met en évidence les éléments qui ont permis la rectification de sa définition. Celle-ci est liée, à chaque étape, à la résolution d'un nouveau problème et à l'évolution des connaissances qui en a découlé (Astolfi, 1985). Les nouvelles formulations font appel à de nouveaux concepts, celui de "voûte céleste" puis de "sphère céleste". On rend ainsi tangible le fait qu'un concept ne fonctionne jamais de façon isolée, mais toujours en relation avec d'autres. Une rupture est constatée entre le second et le troisième niveau de formulation. La constellation n'est plus définie comme un "ensemble d'étoiles", mais comme une "zone de la sphère céleste", donc comme un objet virtuel et abstrait. D'un point de vue épistémologique, la rupture est importante, mais on constate une continuité sur le plan historique. Les constellations sont délimitées par des portions de méridiens ou de parallèles célestes de façon à englober les figures historiques.

On essaie alors de définir le concept didactique de "niveau de formulation", de le caractériser, et de montrer sa fonctionnalité dans la conception ou l'analyse d'une situation d'apprentissage-enseignement.

• ***Cinquième épisode : Vivre des activités scientifiques***

Passer d'une représentation sphérique (sphère céleste) à une représentation plane (carte céleste)/ lire et utiliser une carte du ciel/construire une carte céleste

Cette dernière phase, traitée de façon traditionnelle, apporte tous les éléments de cartographie céleste.

• ***Sixième épisode : Penser la transposition des activités à l'école primaire/fabriquer des aides didactiques***

La transposition des activités à l'école primaire fait alors l'objet d'un débat et ouvre sur des propositions.

Tous les participants s'accordent à penser que seul le premier "niveau de formulation" peut être atteint par les élèves de l'école primaire.

Des essais menés dans des classes de fin de cycle 3 ont pourtant montré que le second niveau leur était tout à fait accessible. Des élèves de ce niveau sont capables de proposer des méthodes pour projeter les points d'une demi-sphère locale sur un plan, soit par découpage de la demi-sphère "en hélice", ou en "quartiers" ("*comme on pèle une orange*"), soit par projection orthogonale à un plan ("*on pique avec une longue aiguille*") ou même par projection centrale par visée sur une surface plane transparente (cette projection s'apparentant à la projection stéréographique utilisée en cartographie céleste).

transposition à la classe : à quelles conditions ?

Des maquettes, "diapos trous", éléments de modèles, cartes, sphères célestes, etc. sont construits lors d'une séance spécifique en vue d'un réinvestissement dans les classes.

3. ANALYSE DE LA SITUATION DE FORMATION

L'analyse se propose de clarifier les imbrications fortes au niveau de l'action entre les différentes composantes en jeu et de comprendre les processus dynamiques de la situation plus particulièrement pour les deux élaborations conceptuelles et leur appropriation.

3.1. Analyse selon les contenus en jeu

• ***Les savoirs disciplinaires***

Tout au long des différents épisodes décrits, le concept de "constellation" est central. Son élaboration progressive constitue un des fils directeurs de la situation. A chaque étape de

le concept de "constellation" dans une trame conceptuelle

la démarche, la résolution d'un nouveau problème permet d'enrichir sa connaissance et de lui adjoindre un nouveau niveau de formulation. D'autres concepts sont nécessaires à cet enrichissement : ceux d'"étoile", de "voûte céleste", de "sphère céleste", de "carte céleste", de "magnitude d'un corps céleste". Ils constituent un réseau ou trame conceptuelle dans laquelle le concept de "constellation" s'insère. Leur apport est soit nécessaire à l'élaboration du concept ("sphère céleste"), soit y est lié directement ("carte céleste"), mais leur degré d'explicitation est moindre.

• *Les savoirs didactiques*

Le second pôle qui organise la situation est le concept de "niveau de formulation". Les productions successives par les stagiaires de trois formulations différentes de la définition du concept de "constellation" permettent de mettre en évidence les étapes de sa rectification. Les stagiaires prennent également conscience des difficultés de la "mise en mots" des savoirs élaborés. L'expression de l'ensemble des attributs (Barth, 1987) du concept exige un niveau linguistique de plus en plus complexe du premier vers le troisième niveau de formulation. D'ailleurs l'expression de ce dernier niveau demande un étayage tellement soutenu de la part du formateur que son élaboration se fait collectivement et non individuellement. La validation collective des énoncés individuels souligne l'équivalence des énoncés corrects ou au contraire les insuffisances d'autres énoncés. Elle oblige ainsi à apporter les précisions nécessaires pour rendre ces derniers valides. En fin d'activité, chaque stagiaire a exprimé "son" énoncé valide. Le caractère provisoire des énoncés de niveaux inférieurs et leurs limites d'utilisation sont repérés. Ainsi, la compréhension de l'élaboration d'une "carte céleste" demande d'avoir atteint le troisième niveau de conceptualisation, alors que son utilisation pratique ne nécessite pas ce niveau. La distance entre les savoirs des élèves et ceux des maîtres est ainsi mieux appréhendée. Elle permet au maître de se positionner pour des choix possibles dans les situations de classe (épisode 6). Le concept de "niveau de formulation" est aussi considéré comme généralisable à d'autres situations et devient ainsi un outil pertinent pour analyser ou concevoir des situations d'apprentissage-enseignement.

les étapes de sa rectification

D'autres concepts sont utilisés (conceptions initiales, modélisation, situation déclenchante ou activités fonctionnelles), ils sont repérés quand ils sont déjà connus des stagiaires ou évoqués, mais ils ne font pas l'objet d'activités spécifiques d'appropriation et d'explicitation approfondie comme le concept de "niveau de formulation".

• *Les concepts pédagogiques*

Cette troisième composante de la situation de formation intégrée est peu développée au cours de la situation étudiée. De

nombreuses ressources documentaires et pédagogiques (ouvrages pour les élèves, pour les maîtres, vidéos, photos, etc.) sont fournies, des exemples multiples d'aides didactiques adaptables sont exposés et utilisés au cours des activités dans le but de constructions possibles au cours d'autres séances du dispositif de formation.

3.2. Analyse selon les dialectiques en tension, facteurs dynamiques de la situation

• *Action/réflexion sur l'action*

Dans tous les moments de la situation, l'activité individuelle du stagiaire est première. Elle se manifeste par une mise en activité scientifique effective et par la production d'écrits ou d'oral (recueil de conceptions, propositions d'énoncés scientifiques, production puis verbalisation d'une procédure personnelle, mise en pratique de procédures éprouvées, analyse du processus de mémorisation et de ses limites...) ou la construction d'aides didactiques. Ces activités sont immédiatement suivies de moments réflexifs (confrontation des conceptions, comparaison des procédures, analyse distanciées, ouverture sur d'autres domaines, métacognition).

l'activité du stagiaire, élément de dynamisation de la réflexion didactique

Le vécu commun sert de "base documentaire" pour une analyse directe des démarches et des contenus en jeu.

• *Production/création*

Les constructions des différents modèles destinés à se substituer au ciel réel peu accessible apportent des indices sur ce que les enseignants en formation projettent de réinvestir dans leur classe. Parmi les nombreux exemples présentés et proposés à la construction (panneaux phosphorescents, maquettes en trois dimensions, "diapos-trous", fiches pour rétroprojecteur, etc.), ceux-ci opèrent des choix qui dépendent en partie des conditions matérielles de leur école (peu de rétroprojecteurs, absence de salles obscures) mais aussi de ce qu'ils se sentent capables d'enseigner. Ils s'engagent alors très souvent dans des constructions multiples qu'ils personnalisent en modifiant les exemples présentés.

• *Action/validation*

L'analyse didactique des "moments de classe" (épisode 2) permet une comparaison de la démarche vécue et de la démarche de classe rapportée ainsi qu'une analyse des savoirs en jeu (proximités et écarts).

l'analyse de la pratique, essentielle pour la formation professionnelle

Deux aspects tendent à valider le modèle pédagogique de référence du formateur (modèle par investigation-structuration) et à entraîner l'adhésion du stagiaire à ce modèle : la référence à la pratique de classe représentée ici par les "moments de classes" retranscrits, et l'homologie partielle entre la situation de classe et la situation de formation (épisode 1).

Cette référence à la pratique de classe, par le biais de l'analyse, est essentielle. Elle constitue un élément d'accrochage entre la "formation théorique" (en module de formation disciplinaire) et la pratique de classe. Elle valide la faisabilité des activités proposées en même temps qu'elle permet une prise de conscience des caractéristiques du modèle pédagogique.

- ***Convergence/divergence***

La situation de formation présente de nombreuses "ouvertures" vers d'autres domaines comme ceux de la psychologie cognitive (la mémoire et les processus de mémorisation), de la littérature (les contes et légendes du ciel), de l'imaginaire (les représentations des "figures du ciel"), des civilisations anciennes (par les différentes représentations de l'univers).

Dans le domaine de l'astronomie, de nombreuses questions émergent. La constitution des étoiles, les différents stades de leur évolution (de leur formation à leurs transformations), les méthodes de l'astronomie et de l'astrophysique (mesure des distances, mesure des températures, analyse des constituants, etc.) sont l'objet d'interrogations. Quelques brèves informations sont indiquées, renvoyant le plus souvent à des documents écrits ou audiovisuels mis à la disposition des stagiaires ou à une autre situation du module. Mais en dépit de ces nombreuses ouvertures, la situation conserve toujours sa ligne directrice.

Les débats sur la transposition des activités à l'école mettent en évidence la diversité des possibles. Les nombreux modèles présentés pour représenter le réel et induire des activités de modélisation ne présentent pas tous les mêmes caractères. Lors des séances consacrées aux constructions d'aides didactiques les choix des stagiaires s'orientent vers la construction des modèles qui, soit ont emporté leur adhésion au cours de l'activité de modélisation correspondante, soit sont, à leur avis, localement les plus adaptables. La diversité des propositions, des procédures et des énoncés est encouragée et respectée. Leurs confrontations et leurs analyses aboutissent et convergent vers des procédures communes de la pratique des astronomes, vers les énoncés, les noms et les codes scientifiques et internationaux.

une ligne directrice, une diversité de questions et propositions

Nous retrouvons des éléments d'un dispositif de formation "ouvert", comme le propose J.-P. Astolfi (1997b), tout en conservant son axe directeur.

- ***Outil/objet***

Ces deux statuts d'un même concept dépendent du point de vue considéré, point de vue du formateur ou point de vue du stagiaire en formation.

Le statut des concepts disciplinaires oscille entre celui d'objet d'étude quand on les élabore et d'"outil" quand on les utilise pour résoudre un problème. Puis ils peuvent redevenir "objet" quand l'élaboration conceptuelle s'affine.

circulation entre différents statuts des concepts

Si le concept de "niveau de formulation" est utilisé en tant qu'"outil" par le formateur au début de la situation, il devient "objet" d'étude à la fin de la situation, puis redevient un "outil" pour les stagiaires quand ceux-ci débattent du niveau de formulation exigible pour des élèves de l'école primaire. Il devient alors opérationnel.

De même le concept de "conception initiale" est utilisé en tant qu'"outil" par le formateur au début de la situation, puis comme "objet" d'étude pour les stagiaires avant qu'ils ne se l'approprient comme "outil" d'analyse.

circulation entre les positions d'apprenant, disciplinaire et didactique, et d'enseignant

Cette oscillation d'un concept entre les deux statuts met le stagiaire tantôt en position d'"apprenant disciplinaire", tantôt en position d'"apprenant didactique", enfin en position d'enseignant responsable de choix pédagogiques.

L'objectif de la formation professionnelle est de rendre les concepts didactiques opératoires dans le quotidien de tout enseignant.

4. CONCLUSIONS

4.1. La situation de formation intégrée

L'analyse présentée tente d'élucider les imbrications fortes entre les aspects disciplinaire, didactique et pédagogique d'une situation formative. Elle tente de rendre compte également de sa cohérence interne en l'analysant selon certains critères qui ont présidé à sa conception.

Elle essaie également de rendre compte des processus dynamiques qui visent à former les enseignants sur les trois plans de façon à leur permettre une transposition personnalisée des activités dans le cadre d'une classe.

les concepts de didactique : des outils professionnels,

Cette situation s'inscrit dans un module de formation disciplinaire composé lui-même de plusieurs situations formatives intégrées, conçues chacune selon les mêmes principes et répondant aux mêmes exigences. Le module présente aussi sa propre cohérence : il s'agit en effet de faire en sorte que les concepts clés de la didactique des sciences (Astolfi, 1997a) et de la pédagogie, nécessaires à la conception ou à l'analyse d'une situation d'apprentissage-enseignement, fassent l'objet d'activités spécifiques dans l'une des situations du module. Ainsi chacun de ces concepts "pilote" une situation du module. Par exemple, dans le module d'astronomie considéré, une autre situation est pilotée par les concepts joints de "modélisation" et de "mouvement diurne".

une technicité spécifique au corps social des enseignants

L'appropriation de ces concepts de didactique, ou concept "outils", semble un élément important de la professionnalisation des enseignants. L'idée de professionnalisation renvoie à celle d'appartenance à un corps professionnel, c'est-à-dire un corps social ayant une technicité spécifique ; l'une des

composantes de cette technicité est l'existence d'outils caractéristiques dont le maniement et la fonction sont familiers à tout membre du corps. Ces concepts outils sont communs aux enseignants des premier et second degrés et concourent donc, sur le plan de la didactique des disciplines, à l'élaboration d'une "culture commune" d'enseignants, qui est l'un des objectifs des Instituts Universitaires de Formation des Maîtres.

4.2. Les savoirs disciplinaires en jeu dans la situation étudiée

Les savoirs disciplinaires en jeu dans la situation de formation présentée renvoient à des problématiques relatives à d'autres champs disciplinaires. Certains champs de la psychologie cognitive – ceux qui étudient les relations entre la perception et l'activité d'imagerie (Denis, 1989) ou les mécanismes de mémorisation – et celui de la didactique des mathématiques nous semblent intéressants à interroger.

les problèmes de maîtrise de l'espace en astronomie sont éclairés par des travaux en psychologie et en didactique des mathématiques

Dans le domaine de la didactique de la géométrie, Galvez (1985, traduit par Salin) étudie les interactions entre le sujet et son milieu et catégorise le milieu en trois catégories : le micro espace ou l'espace lié à la manipulation de petits objets dans lequel le sujet contrôle instantanément la totalité de l'espace ; le méso-espace, ou espace des déplacements du sujet dans un domaine contrôlé par la vue, et le macro-espace. Dans cette catégorie, il est distingué trois types : l'urbain, le rural et le maritime. Dans le macro-espace rural ou urbain, le sujet peut utiliser une multiplicité d'objets comme références. Dans le macro-espace maritime, c'est la connaissance par le sujet de la structure de l'espace qui régit sa prise de décision. Galvez conclut : "*ceci correspond à l'hypothèse générale selon laquelle la nécessité de conceptualiser est d'autant plus forte que la densité informationnelle est plus faible*". Dans le cadre de leur recherche, Berthelot et Salin (1992) s'intéressent à la mise en relation de l'espace réel et de sa figuration sur un plan par des élèves, mais ils n'abordent pas la représentation de l'espace céleste correspondant au macro-espace maritime.

Les activités que nous avons décrites mettent les sujets en interaction avec les trois catégories d'espace et leur proposent des allers et retours permanents entre les trois types d'espaces. Selon les premiers résultats de ces travaux actuellement en cours, les procédures mises en jeu dans les trois espaces ne feraient pas appel aux mêmes compétences. Ces éclairages nouveaux seraient peut-être susceptibles d'enrichir la réflexion sur l'enseignement de l'astronomie.

Catherine LECOQ
IUFM de l'Académie de Rouen

ANNEXE

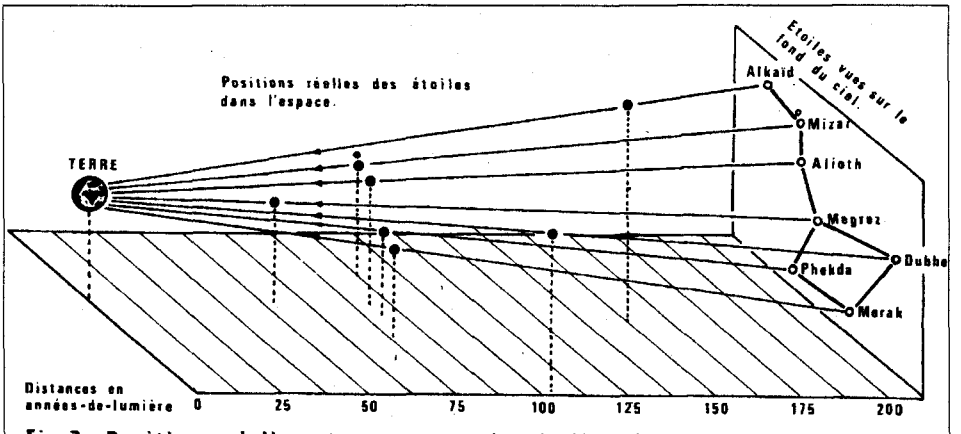


Fig.7 - Positions réelles et apparentes des étoiles du Grand Chariot.

ACKER, A., LEGRAND, E. & PONCELET, J.-M. (1980). L'astronomie en 4e. Strasbourg : CRDP.

BIBLIOGRAPHIE

ACKER, A., LEGRAND, E., PONCELET, J.-M. (1980). *L'astronomie en 4e.* Strasbourg : C.R.D.P.

ALTET, M. (1994). *La formation professionnelle des enseignants.* Paris : Presses Universitaires de France, Collection Pédagogie d'aujourd'hui.

ANTHEAUME, P. (1993). *Contribution à la définition des objectifs et des activités spécifiques de formation professionnelle d'enseignants non spécialistes dans une discipline scientifique : la biologie.* Thèse de Doctorat, Université de Paris VII.

ANTHEAUME, P. (2001). Gérer l'imprévisible, se décentrer, se limiter. *Aster, 32,* 181-203.

ARTIGUE, M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques, 9(3),* 221-308.

ASTOLFI, J.-P., DAROT, E., GINSBURGER-VOGEL, Y. & TOUSSAINT, J. (1997a). *Mots-clés de la didactique des sciences.* Bruxelles : De Boeck.

ASTOLFI, J.-P., DAROT, E., GINSBURGER-VOGEL, Y. & TOUSSAINT, J. (1997b). *Pratiques de formation en didactique des sciences.* Bruxelles : De Boeck.

ASTOLFI, J.-P., DEVELAY, M. (1989). *La didactique des sciences.* Paris : P.U.F., Collection Que sais-je n° 2448.

ASTOLFI, J.-P. , (COORD.) (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales.* Paris : I.N.R.P., Collection Rapports de recherches.

BARTH, B.-M., (1987). *L'apprentissage de l'abstraction.* Paris : Éditions Retz.

BERTHELOT, R., SALIN, M.-H. (1992). *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire.* Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I.

BOILEVIN, J.-M. (2000). *Conception et analyse du fonctionnement d'un dispositif de formation initiale d'enseignants de physique-chimie utilisant des savoirs issus de la recherche en didactique : un modèle d'activité et des cadres d'analyse des interactions en classe* Thèse de doctorat, Université de Provence.

BUTLEN, D., PELTIER, M.-L. (1994). *Enseigner la didactique des mathématiques aux futurs professeurs d'école.* Paris : IREM, Université Paris VII, Document de travail pour la formation des enseignants, n° 9.

COPIRELEM (1991). *Documents pour la formation des professeurs d'école en didactique des mathématiques.* Paris : IREM de Paris VII.

DENIS, M. (1989). *Image et cognition.* Paris : ESF éditeur.

DEVELAY, M., (1982). *Contribution à la définition d'un modèle de formation initiale des instituteurs, en activités d'éveil biologiques.* Thèse de 3e cycle, Université Paris VII.

DEVELAY, M., (1994). *Peut-on former les enseignants* ? Paris : ESF éditeur, Collection pédagogies.

GALVEZ, G. (1985). *El aprendizage de la orientacion en el espacio urbano : una proposicion para la ensenanza de la geomatria en la escuela primria.* Thesis, centro de investigacio del I.P.N., Mexico.

GUESNE, E. (1984). Children's ideas about light : les conceptions des enfants sur la lumière, New Trends. *Physics Teaching, vol. IV,* 179-192. Paris : UNESCO.

HEUDIER, J.-L., (1995). *Le livre du ciel, l'homme et les étoiles.* Nice : Z'éditions.

KAMINSKI, W. (1991). *Optique élémentaire en classe de quatrième : raisons et impact sur la formation des maîtres d'une maquette d'enseignement,* Thèse, Université Paris 7.

KUZNIAK, A. (1994). *Étude des stratégies de formation en mathématiques utilisées par les formateurs du premier degré.* Thèse, Université de Paris VII, Denis Diderot.

LAISNE, M., TRYOËN, V. (1991). *Astronomie à l'école élémentaire.* Orsay : CLEA, les Cahiers Clairaut Hors série n° 1.

MALGLAIVE, G. (1990). *Enseigner à des adultes.* Paris : P.U.F., Collection Pédagogie d'aujourd'hui.

MARCEL, J.-F., OLRY, P, ROTHIER-BAUTZER, E. & SONNTAG, M. (2002). Les pratiques comme objet d'analyse. *Revue Française de Pédagogie, 138, 135-170.*

MARTINAND, J.-L. (1994). La didactique des sciences et de la technologie et la formation des enseignants. *Aster, 19*, 61-75.

MARTINAND, J.-L., (1992). Organisation et mise en œuvre des contenus d'enseignement, esquisse d'une problématique. In J. Colomb, (Éds.). *Recherches en didactiques : contribution à la formation des maîtres.* Paris : I.N.R.P.

MARTINAND,J.-L., ASTOLFI, J.-P., CHOMAT, A., DROUIN, A.-M., GENZLING,J.-L., LARCHER,C., LEMEIGNAN, G., MEHEUT, M., RUMELHRD, G., WEIL-BARAIS, A. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation.* Paris : I.N.R.P.

MARTINAND, J.-L., GENZLING, J. PIERRARD, M.-A., LARCHER, C. ORANGE, C., RUMELHARD, G., WEIL-BARAIS, A. & LEMEIGNAN, G., (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences.* Paris : I.N.R.P

MERLE, H., (2000). Comment aider les élèves à modéliser "le ciel et la Terre". *Aster 31*, 37-70.

MORGE, L. (2001). Caractérisation des phases de conclusion dans l'enseignement scientifique. *Didaskalia, 18*, 121-146.

PERRENOUD, P. (1994). *La formation des enseignants entre théorie et pratique.* Paris : L'Harmattan, Collection Savoir et Formation.

PIERRARD, M. (1988). Modélisation et astronomie. *Aster,7, 91-102.*

PORTUGAIS, J. (1995). *Didactique des mathématiques et formation des enseignants.* Berne : Peter Lang.

REY, H.A. (1980). *Sachez lire les étoiles*, Les Éditions Maritimes et d'Outre-mer.

ROBARDET, G. (1995*). La didactique dans la formation des professeurs de sciences physiques face aux représentations sur l'enseignement scientifique.* Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble 1.

SAINT-GEORGES, M. (1998). Formation des professeurs de sciences physiques par la didactique. *Didaskalia, 13*, 57-80.

TANAKA, B. (1986). *Les contes du ciel.* Syros, Collection Raconte.

TOCHON, F. V. (1993). *L'enseignant expert.* Paris : Nathan.

TRYOËN, V. (N.D.). Comment reconnaître les constellations. In *L'observation des astres et le repérage dans l'espace, Formation continue des Maîtres en astronomie.* Orsay : CLEA, Université de Paris XI.

VIENNOT, L., (1997). Former en didactique, former sur le contenu ? *Didaskalia 10, 75-91.*

VÉRIN, A., (1998). Enseigner de façon constructiviste, est-ce faisable ? *Aster, 26*, 133-164.

WEIL-BARAIS, A. (Dir.) (1993). *L'homme cognitif.* Paris : P.U.F., Collection Premier Cycle.

Diapositives.

DECAUX-SCHULMAN, C. (N. D.). *Initiation aux constellations.* Orsay : C.L.E.A.

Films vidéos

ENCYCLOPEDIA BRITANNICA.(1993). *Le guide du ciel*, Ciel et Espace vidéo, série encyclopedia galactica.

GESSNER, N. (1997). *Tous sur orbite. Paris :* Éditions Montparnasse.

STRUCTURATION DES CONNAISSANCES : LYCÉENS ET ENSEIGNANTS ENGAGÉS DANS UN TRAVAIL PERSONNEL ENCADRÉ

Bernard Andrieu
Isabelle Bourgeois
Éric Gaspar
Yvette Renauld

Dans le cadre d'un travail de recherche associé au programme de recherche de l'Institut National de Recherche Pédagogique : "La structuration des connaissances et les nouveaux dispositifs d'enseignement", notre équipe expose son analyse du travail d'un groupe d'élèves de lycée qui abordent dans leur TPE (Travail Personnel Encadré) le champ de l'astronomie.
Cette analyse est conduite à partir de données recueillies auprès des élèves et des enseignants qui les ont encadrés. Elle porte à la fois sur la démarche des élèves pour aborder des concepts spécifiques à l'astronomie et sur les actions des enseignants qui ont encadré ce travail. Cet article permet de présenter quelques aspects de notre réflexion concernant la structuration des connaissances, et illustre ainsi le résultat d'une première année de recherche : la construction de la problématique et des hypothèses de recherche de notre équipe sur les conditions de la structuration des connaissances dans un dispositif TPE.

En février 2000, l'Institut National de Recherche Pédagogique diffuse un appel à contribution dans le cadre d'un programme de recherche intitulé "La structuration des connaissances dans les nouveaux dispositifs d'enseignement" (1).

Dans son texte d'appel à contribution, le programme de recherche visait à "*interroger les nouveaux dispositifs d'acquisition de connaissances qui sont mis en place à l'école, au collège et au lycée, dans leur capacité à assurer la structuration des connaissances des élèves ou des formés.*" Une des orientations majeures de ce programme, reprise par notre équipe, demande de s'interroger sur la pratique enseignante en rapport avec l'idée de structuration des connaissances : "*les possibilités offertes, mais aussi les contraintes de ces dispositifs seront exposées en relation au nouveau rôle de l'enseignant qu'elles impliquent.*"

comment faire construire des savoirs hors du cadre de la classe

Ainsi, notre réponse à l'appel à association se centrait sur les questions : "*Comment faire construire des savoirs à partir des nouvelles ressources où les informations n'apparaissent plus structurées conventionnellement ? Comment gérer la progressivité des apprentissages ?*"

(1) Sous la responsabilité de A. Crindal et C. Larcher, département de didactiques des disciplines. Cf. BO n° 1 du 17 fev. 2000, p. 16 & 17.

une équipe d'enseignants engagés dans les TPE...

En septembre 2000, le dispositif "Travail Personnel Encadré" (TPE) se met en place dans les lycées d'enseignement général. Dans ce dispositif, des lycéens de Première sont encadrés par des enseignants des disciplines dominantes de la série (Mathématiques, Physique-Chimie et Sciences de la Vie et de la Terre en série Scientifique ; Mathématiques, Histoire-Géographie et Sciences Économiques et Sociales en série Économique ; Français et Histoire-Géographie en série Littéraire). Ces enseignants encadrent chaque groupe de TPE (de deux à quatre élèves) pour assurer le suivi du travail personnel. La nouveauté principale de ce dispositif provient du fait qu'il est externé à la classe, qu'il ne réfère pas directement au programme d'une discipline et que les enseignants qui encadrent ce travail ne sont pas forcément les professeurs de la classe. En faisant référence à des "Thèmes" nationaux et en croisant au moins deux disciplines différentes, les lycéens construisent un sujet et le traitent à partir de sources d'informations variées (sources documentaires classiques, Internet, milieux professionnels). L'évaluation porte sur une "Production de groupe" (expérience, maquette, dossier écrit ou informatisé, pièce de théâtre, ...), sur un texte individuel nommé "Synthèse" résumant leur démarche à partir de leur carnet de bord, et sur une "Présentation orale" devant un jury d'enseignants des disciplines concernées. En Terminale, les élèves peuvent choisir de faire un nouveau TPE et de le présenter en option facultative pour le Bac.

En réponse à l'appel d'offre de l'Institut National de Recherche Pédagogique, à la rentrée 2000, une équipe de recherche s'est constituée au lycée Bichat de Lunéville (académie de Nancy-Metz). Cette équipe comprend neuf enseignants-associés, dont une documentaliste, elle est animée par B. Andrieu, maître de conférences en Épistémologie, à l'Institut Universitaire de Formation des Maîtres de Lorraine. L'équipe a été constituée pour être représentative des différentes disciplines, des différentes séries mais aussi de différents points de vue des enseignants sur le dispositif TPE (2).

...se positionne dans un programme de recherche piloté par l'INRP

Cet article présente le travail de l'équipe au cours de sa première année de recherche. L'activité de recherche contextualisée s'effectue à différents niveaux. Tous les membres de l'équipe ont choisi de suivre plus particulièrement un ou deux groupes d'élèves en TPE. En tant que tuteurs, ils prennent des notes sur leur activité et celles des élèves, notamment à l'occasion des entretiens de suivi du travail avec les élèves, ils recueillent les différentes productions écrites des élèves.

(2) Au lancement des TPE, des positions diverses ont été prises par les enseignants sur ce dispositif : contestation et refus de pratiquer les TPE, ou approbation avec espoir d'y trouver un renouveau pédagogique. Tous les membres de l'équipe de recherche font partie du second groupe, cependant ils expriment des points de vue différents sur la nature du travail des élèves et sur la fonction d'encadrement des enseignants.

pratiques, observations et réflexion, des premières activités de recherche...

En réunion, tous les quinze jours, ils mènent deux types d'activités : d'une part, ils analysent les obstacles à l'apprentissage observés chez les élèves et les problèmes liés à leur encadrement (ce qui a des effets sur l'ingénierie pédagogique de chaque praticien, mais ceci ne constitue pas l'objet de recherche de l'équipe), d'autre part, avec l'aide du référent universitaire, ils mettent ces réflexions en rapport avec les questions de recherche.

Une quinzaine de TPE ont ainsi été analysés pendant cette première année. Nous avons choisi l'un d'entre eux pour illustrer par un exemple le travail des élèves, des enseignants tuteurs et celui conduit par l'équipe de recherche.

...illustrées ici à travers l'étude d'un des cas analysés...

Ce TPE concernant l'astronomie a été réalisé par trois élèves de classe de Première Scientifique. Nous nous appuierons ici sur la "Synthèse" de l'un des élèves, sur un extrait de leur "Production" (un dossier dans ce cas), sur certaines caractéristiques de leur "Oral de soutenance" qui avait été filmé et sur les récits construits par les deux enseignants concernés.

Les auteurs de cet article comprennent les deux enseignants-associés qui ont encadré le groupe d'élève concerné (E. Gaspar et Y. Renauld), la coordinatrice de l'équipe de recherche (I. Bourgeois) et le référent théorique de ce travail (B. Andrieu).

...à la construction de la problématique

Ce type de données a ensuite été abandonné, mais nous montrons ici comment à partir de leur analyse se sont précisées nos questions de recherche et comment notre méthodologie s'est adaptée à l'objet de recherche : la structuration des connaissances.

1. ANALYSE DES DONNÉES PRODUITES PAR LES ÉLÈVES

un profil d'élève fréquent en classe scientifique

Le tuteur de ce groupe d'élèves les décrit comme :"*trois élèves de première scientifique, âgés de 17 et 18 ans, amis depuis plusieurs années, et possédant tous un niveau de réussite scolaire allant de "bon" à "très bon". Chacun d'entre eux possède une bonne capacité d'abstraction, un sens de l'humour toujours aiguisé, une capacité d'analyse fine des situations, une fibre créatrice et un sens de l'originalité indéniable. Tous semblent un peu "sous-exploités" par le système scolaire et bien que le respectant ils déplorent son manque de caractère ludique ou audacieux*".

Nous présentons ici trois sources d'information sur leur TPE :

- la "synthèse", document formel du TPE d'un élève du groupe ;
- un extrait du "dossier" final de TPE de ce groupe ;
- quelques éléments caractéristiques de leur "oral" de soutenance de TPE.

1.1. Expliquer sa démarche, une nouvelle activité pour un élève

Dans ce document formel, l'élève présente quelques aspects de sa démarche et de son opinion sur ce travail et sur ses relations avec son tuteur.

Choix du sujet :
Après un début peu fructueux de la recherche (qui était basée à l'origine sur l'étude des tsunamis), pour des raisons de manque de documentation et d'idée de réflexion, notre groupe a décidé de changer de sujet d'étude. J'ai proposé aux autres membres du groupe l'étude des voyages dans l'espace qui me semblait beaucoup plus pertinente. Suite à quelques réflexions sur l'orientation de l'étude ainsi que sur son contexte, nous avons ensemble défini une première problématique intitulée : "Comment se déplacer à très grande vitesse" ainsi que quelques notions et sujets vers lesquels s'orienterait le début de la recherche. Ceux-ci étaient : le temps, les contraintes d'un déplacement, les différents types de propulsion et l'orbite géostationnaire. Nous avions convenu qu'il s'agissait d'une problématique provisoire que nous modifierions par la suite selon les documents trouvés et les idées apportées.
C'est seulement à la synthèse finale de la recherche que nous avons décidé de la problématique exacte : "Où en est la recherche ? Quel est le moyen le plus efficace actuellement pour effectuer des voyages dans l'espace". Le fait de ne pas avoir fixé la problématique au début de la recherche nous a permis de nous intéresser à toutes sortes de sujets, aussi bien à de grandes théories scientifiques qu'à des expériences ou encore à des phénomènes extraordinaires. Nous nous étions donnés pour but de rechercher le plus de moyens de déplacement possibles.

Intérêts éprouvés lors de la recherche :

Les Travaux Personnels Encadrés m'ont plus ou moins obligé à étudier les théories de la relativité (restreinte et générale) ainsi que les théories dérivées et j'en suis amplement satisfait car cette recherche a réveillé en moi une curiosité naturelle pour les sciences physiques, astrophysiques, et autres, que j'avais auparavant et que j'ai perdu progressivement à cause de l'encadrement scolaire de ces sciences. En effet j'en ai rapidement été déçu et j'ai toujours préféré apprendre quelque chose par moi-même plutôt qu'en classe. Aussi les TPE ont cette qualité de susciter la recherche personnelle.

Sources d'informations :

Les documents que nous avons rassemblés pour l'étude proviennent de différentes sources. Les notions théoriques sur l'astrophysique ont été synthétisées à partir de différents numéros de "Science et vie" ainsi que d'articles d'encyclopédie, le reste de notre recherche s'est effectué sur Internet (sites de magazines scientifiques, d'organisme de recherche, de chercheurs, ...).
Voici quelques références : http://perso.club-internet.fr/faivret/stellar/propuls.htm
Sciences et Avenir n° 647 disponible sur http://www.sciences-et-avenir.com/comprendre/page62.html
Le site de "Pour la Science" : http://www.pourlascience.com/numeros/pls-258/transport/encadre6.htm
Nous avons effectué d'autres recherches sur les sites de la Nasa, du CNRS, ou de différents organes de recherche.

Difficultés rencontrées :

Je n'ai pas rencontré de grandes difficultés. Nous avons trouvé des informations sur le sujet très rapidement et seule l'approche de l'étude a été problématique : savoir quel contexte mettre en place autour de notre recherche. D'ailleurs la mise en page vient seulement d'être terminée, il est 22 heures 39, aujourd'hui, jeudi 26 avril 2001.
Je tiens à remercier au nom de tout le groupe monsieur G. qui nous a donné de très bons conseils et qui a réussi à nous supporter tout au long des travaux.

• *1 Travail personnel et travail de groupe*

Le dispositif du TPE est organisé selon un modèle de confrontation enseignants-élèves. Comme en témoigne le document de "Synthèse" un travail entre les élèves s'est effectué en dehors de la présence du tuteur. Les élèves se mettent d'accord avant la confrontation avec le tuteur.

Dans cette "Synthèse" l'élève exprime davantage le point de vue du groupe que son point de vue personnel. Le passage incessant du "Je" au "Nous" donne l'impression que l'élève réfère son propos à celui des deux autres. D'ailleurs une forte collusion existe puisque ces élèves qui ont un goût commun pour des questions d'astronomie se sont choisis autour d'un sujet. Leur association vient également du fait qu'ils s'accordent à être des "déçus" de la forme traditionnelle de l'enseignement des sciences et plus généralement de l'école.

face au tuteur, les élèves parlent d'une seule voix

Dans leur très grande majorité, les entretiens tuteur-élèves de suivi des TPE que nous avons réalisés la même année et l'année suivante montrent ce même fonctionnement collusif des élèves face au tuteur. Ce constat nous a fait analyser les interactions sans chercher à distinguer les interventions individuelles de chacun. Le tuteur est confronté à un groupe d'élèves qui fonctionne comme un *élève générique.*

• *Le champ exploré*

L'interrogation des élèves sur l'environnement scientifique des voyages dans l'espace fonctionne différemment des questions qui se posent à partir des savoirs organisés par la matrice didactique de la discipline Physique.

L'étude des voyages dans l'espace ne s'inscrit pas dans le programme d'une discipline spécifique. Le thème du TPE lié à l'astronomie offre donc un champ d'investigation qui n'est pas pré-structuré pour un enseignement. Cette différence avec une conception disciplinaire de l'astronomie est perçue par les élèves comme la principale fonction éducative du TPE : la motivation de l'élève au cours de son travail est fondée sur le désir d'acquérir des connaissances scientifiques plutôt que des savoirs disciplinaires. Dans son paragraphe *"Intérêt éprouvé lors de la recherche"*, l'élève exprime l'écart ressenti entre sa curiosité personnelle pour la Physique et sa déception due à un encadrement trop scolaire de la discipline Physique. En revanche, dans le TPE, il peut donner libre cours à cette curiosité et ouvrir son espace de questionnement : les connaissances sollicitées seront issues de différents domaines de la physique (astronomie, astrophysique) mais aussi du domaine des technologies spatiales.

savoirs familiaux, disciplinaires, professionnels, des sources variées pour construire un TPE

De plus, le TPE met en jeu des connaissances naïves et communes des élèves qui sont à l'origine du projet. Dans ce dispositif, l'élève a l'occasion d'exprimer un *désir de savoir* que la mise en forme par les disciplines ne semble pas contenir. Le TPE autorise l'exploitation de sources variées que les élèves devront organiser et mettre en relation pour

répondre à la problématisation de leur sujet d'étude. D'autres TPE sollicitent des savoirs familiaux, des savoir-faire d'experts professionnels et, pour qu'ils prennent sens dans le cadre de leur problématique, ils exigent la construction de liens entre tous ces savoirs.

Cette organisation des connaissances mises en jeu par le lycéen à partir de savoirs autres que disciplinaires nous semble une caractéristique forte de la structuration des connaissances que nécessite le dispositif TPE.

1.2. Le dossier, une production de groupe

Ces élèves ont rendu un dossier de six pages dont nous extrayons des passages significatifs :

Problématique : *Où en est la recherche (pour les modes de déplacement) ? Et quel est actuellement le moyen le plus efficace d'effectuer des voyages dans l'espace ?*

Plan de la recherche : *1 Définitions de notions théoriques mises en jeu dans la problématique*
2 Approche de la problématique : mise en place d'un contexte
3 Un petit tour en grande banlieue terrestre
4 Sur les autoroutes intergalactiques
5 Récapitulatif, comparaisons et conclusion

Quelques définitions théoriques : *Pour pouvoir définir les conditions d'un déplacement à très haute vitesse quelques notions de physique doivent être prises en compte. La plupart de ces notions ou de ces principes étant le fruit de théories scientifiques d'une grande complexité, il nous est impossible d'en faire la démonstration. Nous allons devoir les prendre en compte en admettant leur exactitude. Afin de rester objectifs, nous exposerons tout de même d'autres théories différentes, opposées ou même contestées. Les lois physiques actuelles définissent quelques limites et quelques explications concernant les déplacements : D'après la théorie de la relativité restreinte établie par Albert Einstein en 1905, les lois physiques sont les mêmes dans n'importe quel référentiel galiléen. Cette théorie est dite "restreinte" car elle ne s'applique qu'aux référentiels galiléens (c'est-à-dire lieux animés d'un mouvement rectiligne uniforme ou immobiles). Grâce à cette théorie, Einstein répond à une question importante de la physique du début du siècle : les mêmes lois physiques s'appliquent aux différents éléments dans un référentiel : aussi bien à la matière qu'à la lumière. Néanmoins, il explique que la vitesse de la lumière est constante (égale à 300000 km/s dans le vide) quelle que soit la vitesse du corps qui l'émet ce qui n'est pas le cas pour la matière. En effet, un corps matériel projeté par un corps en mouvement bénéficie de l'inertie de son émetteur. On admettra donc cette théorie en comprenant que les photons (constituants de la lumière) n'ont pas de masse leur permettant de bénéficier de quelque inertie. La vitesse de la lumière est donc constante et indépendante.*

• *La démarche de problématisation*

Suscitée par la science-fiction, et en particulier "Cosmos" de l'astrophysicien Carl Sagan, la démarche des élèves est d'abord orientée dans le TPE autour d'une question de Physique : *Comment se déplacer à très grande vitesse ?* Ils ne se demandent pas *Comment se pose t-on des questions en astronomie ?* En ramenant leur question dans une conception strictement disciplinaire, ils pouvaient trouver dans la Physique des réponses du type : la mesure du temps, les contraintes d'un déplacement, les différents types de propul-

admettre une construction progressive du questionnement

sion ou l'orbite géostationnaire. Mais cette problématique (P. 1) est présentée par le groupe d'élèves comme provisoire. La différence constatée entre P. 1 et P. 2 (la problématique finale) indique bien une approche non disciplinaire : pas d'ordonnancement précis des connaissances, pas de traitement pré-établi de la question en une série de sous questions permettant d'éviter la complexité du problème. Pour l'élève, la problématique P. 1 (se déplacer à grande vitesse) est un tout supérieur à la somme des éléments (la mesure du temps, les contraintes d'un déplacement, les différents types de propulsion ou l'orbite géostationnaire).

L'histoire des savoirs scientifiques qu'ils mettent en jeu, qu'ils éliminent ou qu'ils convoquent avec renforcement est associée à celle des savoirs technologiques puisque leur problématique les conduit à ne retenir que les connaissances utiles qui donnent sens à leur réponse finale. Cette mobilité du questionnement fait évoluer la forme de la synthèse de leurs connaissances au fur et à mesure de leur insertion dans le TPE. Ainsi les mises en ordre et les organisations données aux connaissances – c'est-à-dire la structuration – seront dépendantes de la mobilité prise par la problématique.

• *Le dossier : savoirs sélectionnés et activité de structuration des connaissances*

À la différence du texte de synthèse qui expose la problématisation, sa naissance, sa modification et les discussions internes au groupe d'élèves pour aboutir à un sujet consensuel, le dossier est un document formel présenté pour l'évaluation du TPE.

Dans la synthèse, l'utilisation du "nous" est d'ordre méthodologique, elle rend compte de la réalité des personnes présentes. À l'inverse, le dossier est compris par les élèves comme un média qui a une fonction différente : les divergences de points de vue entre les personnes disparaissent sous l'enjeu de l'évaluation d'une capacité à fournir des connaissances problématisées. Cet aspect formel de la connaissance s'exprime dans le plan du dossier : celui-ci imite les caractéristiques d'un article scientifique en respectant les règles et les modes d'argumentation nécessaires pour exposer une notion.

Les contenus du dossier se réfèrent à des savoirs scientifiques majoritairement non enseignés dans la discipline Physique du lycée. Si l'on compare les notions nécessaires (la mesure du temps, les contraintes d'un déplacement, les différents types de propulsion, et l'orbite géostationnaire) à la réalisation de la problématique (3) P. 1 (se déplacer à grande

(3) Dans un TPE, les questions orientant le travail sont dès le départ appelées "problématique" par les élèves, même si elles ne constituent une véritable problématique qu'en fin de travail.

vitesse), la recherche d'une réponse à cette problématique ne conduit pas forcément les élèves à une maîtrise des contenus conceptuels : *"La plupart de ces notions ou de ces principes étant le fruit de théories scientifiques d'une grande complexité, il nous est impossible d'en faire la démonstration. Nous allons devoir les prendre en compte en admettant leur exactitude. Afin de rester objectifs, nous exposerons tout de même d'autres théories différentes, opposées ou même contestées"* (Dossier, p. 1). Pour les élèves, la problématique P. 1 repose sur une série de notions indémontrables ou de postulats à admettre afin moins de répondre à la problématique que de situer le contexte théorique du déplacement à grande vitesse dans l'espace. La mise en relation des connaissances nécessaires à la problématisation du TPE n'exige pas la compréhension et la maîtrise des savoirs de la Physique présents dans les théories d'Einstein. Nous constatons ici un mécanisme de structuration qui conduit à exclure certains savoirs par constitution de "boîtes noires" établies en fonction de l'orientation donnée par la problématique : la visée pragmatique donnée au voyage interplanétaire et interstellaire réoriente l'usage des théories scientifiques vers leurs conséquences pratiques sur les vaisseaux spatiaux.

trier, évaluer, adapter :

La recherche sur des sites spécialisés est finalisée et non hasardeuse : ne disposant pas dans le savoir disciplinaire des réponses aux questions didactiques pertinentes, les élèves incorporent à leur TPE des sources d'expertises et des savoirs professionnels. Dans un premier temps, la structure de leur dossier correspond essentiellement à une activité de copier-coller à partir de sites élaborés par des experts. Cependant, peu de temps avant leur soutenance orale, ces informations sont réorganisées à l'intérieur d'une mise en récit fonctionnel. Le fond rejoint alors la forme. L'écriture au présent du dossier, plutôt qu'au conditionnel, renforce l'effet "compte-rendu de mission". Avec les possibilités concrètes de voyage qu'elle autorise, l'actualité des dispositifs techniques est présentée dans une perspective historique de la découverte scientifique et technologique.

des actions de structuration des connaissances

Cette réorganisation forme-contenu a eu pour effet de transformer non pas la qualité de l'information, mais sa compréhension : les savoirs n'ont acquis une signification problématisée qu'en fin de TPE. Ce déplacement des savoirs d'experts accumulés à des savoirs problématisés a conservé l'intensité scientifique, tout en l'adaptant à un niveau de compréhension accessible aux élèves. La mise en forme des savoirs d'experts les aura structurés, non pas en eux-mêmes, mais pour s'adapter à une organisation ordonnée des réponses aux questions successives du TPE.

Ici, par exemple, le concept de relativité a été évoqué puis mis en relation en fonction de la problématique des élèves. La "boîte noire" de la relativité en particulier sera réouverte et explorée plus tard, au moment de la préparation de l'oral.

Dans ce que les élèves nous donnent à voir de leur travail, il y a une structuration des connaissances qui s'opère essentiellement par sélection et mise en ordre. Cependant nous ne connaissons pas la nature de la confrontation des connaissances entre les élèves ; la construction qui a permis le choix ou l'élimination n'a pas été observée, elle n'apparaît qu'en termes de résultats dans les documents qu'ils produisent. Elle s'effectue en grande partie en dehors de la présence des enseignants.

Ces observations singulières ont été confrontées avec celles des autres TPE étudiés puis réinvesties dans l'élaboration de la méthodologie de recherche que l'équipe présente en conclusion.

1.3. L'oral de soutenance, point d'orgue du TPE

Les élèves choisissent une forme théâtrale pour leur présentation orale et expliquent leur choix dans un passage de leur dossier :

> *"Afin d'étudier les possibilités de déplacement, nous nous donnons une expérience fictive à réaliser. Cette expérience consiste à présenter une agence de tourisme au concept révolutionnaire proposant des voyages dans l'espace. Nous allons mettre en scène un responsable de cette agence de tourisme et deux chercheurs" (dossier, p. 2).*

Au dernier moment, il leur semble manquer un rôle pour traduire la totalité de leur démarche et ils ajoutent un "client voulant voyager dans l'espace". Ils mettent donc en scène trois personnages : un *savant* (blouse blanche, tableau, sérieux) ; un *technico-commercial*, cherchant à vérifier, confronter le discours du savant avec ses applications, et servant d'interface avec son *client*, troisième personnage ignorant, curieux et fortement motivé par son désir de voyage. Cette présentation orale a été conservée sous la forme d'un document vidéo.

• *L'oral, une fonction essentielle dans un projet de connaissances*

la présentation orale de TPE révèle les trois fonctions du projet

Les élèves sont en projet. Ils poursuivent un mobile commun, c'est le sens de leur "projet existentiel" (4) : faire la preuve qu'ils sont capables de montrer comment on pourrait voyager dans l'espace. Ils souhaitent rendre visible le développement de leur projet de connaissances à travers une expérience fictive qui met en jeu des rôles représentatifs de leur questionnement. L'agence de tourisme est un spectacle, une simulation de la réalité qui finalise le projet de connaissances, c'est le sens de leur "projet opératoire". La réalisation

(4) Sur les concepts de projets existentiel, méthode et opératoire voir A. Crindal (2001).

de cet artefact exige de travailler différemment les connaissances en les organisant au fur et à mesure que la problématique prend corps au sein du TPE, c'est le sens de leur "projet méthode" qui se différencie ici fondamentalement de la situation scolaire traditionnelle.

Le projet existentiel rejoint ici l'objectif opératoire car les élèves utilisent le TPE pour mobiliser leur intérêt identitaire au sein d'un projet commun qui les rassemble dans l'activité. Le dossier final apparaît alors comme un élément du projet opératoire dans lequel les élèves expriment leur rapport aux connaissances et l'utilisation de la méthode adéquate. La confrontation des rôles est à la fois identitaire et gnoséologique.

• *Une mise en scène dynamique des savoirs*

Cette présentation finale choisie par les élèves n'est pas due au hasard. La différence choisie entre les rôles d'organisateur, de scientifique et de naïf est le reflet des positions présentes dans leur synthèse, elle correspond à une mise en scène des connaissances. Les élèves se mettent dans la peau de ces personnages à la fois pour indiquer les divergences de points de vue sur le sujet, mais aussi pour souligner combien le travail sur des connaissances en milieu scolaire peut, grâce au TPE, être présenté sous une forme différente. Adeptes des jeux de rôles – dénoncés ou interdits dans la culture scolaire – ces élèves utilisent cette procédure pour échapper au modèle canonique scolaire tout en rendant compte d'un réel travail sur leurs connaissances.

Cette *expérience fictive* au moment de la soutenance du TPE donne à l'activité la valeur d'une performance au sens d'Austin (1962), elle est le moyen de réaliser immédiatement l'imaginaire problématisé. Plus qu'un simple jeu de rôles illustrant des figures, la mise en scène s'inspirant du roman de Ph. K. Dick est une exposition construite des savoirs qui s'équilibre par la répartition donnée aux différentes postures des acteurs. Cette projection des élèves est un indicateur du repérage dans leur TPE de leurs propres jeux de postures par rapport aux savoirs :

trois postures face au savoir

- Une *posture savante* visant à exposer les savoirs scientifiques.
- Une *posture méthodologique* conçue pour sélectionner, mettre en ordre et réorganiser les informations (entre connaissances et savoirs).
- Une *posture naïve* poursuivant en permanence le questionnement indispensable que l'on porte sur ses connaissances.

La distribution de ces trois rôles vient modifier au cours de la présentation orale la structure des rapports au savoir admis par la transmission didactique traditionnelle. En effet, plutôt que d'opposer le professeur et l'élève, les rôles incarnent les postures nécessaires à la structuration des connaissances

dès lors que les savoirs disciplinaires provenant de l'astronomie sont convoqués indirectement. Cette recomposition des postures est nécessaire pour présenter des connaissances qui se sont réellement construites au cours de l'échange entre les élèves dans leur TPE :

- La méthodologie, incarnée par le *technico-commercial*, oriente les questions en assurant le passage entre la problématique et les réponses du savant (cette posture rend compte des rendez-vous élèves – professeur tuteur).

trois rôles pour les traduire

- Le *client* a le souci d'une démarche problématisante car il cherche à résoudre la question P. 1 "Comment se déplacer à très grande vitesse ?", sans avoir ni la méthodologie ni les connaissances appropriées (cette posture rend compte du travail permanent des élèves entre eux).
- Le *savant* qui doit brasser différents types de savoirs ne peut cependant parvenir à les ordonner par rapport à la problématique P. 2 qu'en présence d'une méthodologie appropriée (cette posture rend compte des rendez-vous élèves – professeur expert).

Nous faisons donc l'hypothèse que la capacité à identifier ces différentes postures et les types de savoirs mis en jeu dans leur travail (savoir commun, savoir savant, savoir méthodologique) est à la fois une preuve et un des moyens qui leur a permis de structurer leurs connaissances dans leur TPE.

2. DES ANALYSES DE L'ENCADREMENT DU TRAVAIL DES ÉLÈVES

Nous produisons ici deux niveaux d'analyse : les analyses sous forme de récits écrits par les deux enseignants ayant encadré ce groupe d'élèves (textes encadrés), et l'analyse de leurs textes par l'équipe de recherche.

Deux enseignants-associés ont encadré ce travail. Ils ont d'emblée des rôles différents.

- L'un (professeur de mathématiques) est chargé du suivi régulier du travail des élèves en tant que tuteur ; les élèves le consultent une fois par quinzaine environ.
- L'autre (professeur de physique) est consulté par les élèves en tant qu'expert dans le domaine de l'astronomie ; les élèves n'ont eu avec cet enseignant que des échanges occasionnels.

l'analyse des récits des deux enseignants...

Les points de vue de ces enseignants-associés sont exprimés ici par des récits qu'ils ont construits personnellement à partir de leurs notes. Ce travail de mise en récit de leur activité d'encadrement d'un groupe d'élèves est une occasion pour prendre du recul par rapport à leur pratique en passant progressivement de la posture d'enseignant à celle de praticien-réflexif.

D'autre part, l'analyse de ces récits a permis à l'équipe de recherche de réaliser à quel point l'interaction élèves-enseignant pouvait intervenir sur la structuration des connaissances des élèves. Les limites de cette forme d'analyse étant vite atteintes ceci nous a conduit la deuxième année de recherche à abandonner ce premier type d'investigation à partir de récits pour recueillir d'autres données : nous avons décidé d'enregistrer systématiquement les entretiens entre tuteur et élèves pour analyser leurs interactions et leurs effets sur la structuration des connaissances de l'élève.

...montre le rôle clé des entretiens avec les élèves

2.1. L'encadrement du travail des élèves par un enseignant jouant le rôle d'expert dans le domaine de l'astronomie

Récit de l'enseignant-expert
Je n'ai eu que des contacts très brefs avec les élèves au cours de leur travail. Leurs sources ont été essentiellement issues de sites spécialisés.
Je mettais en doute ce qu'ils me disaient, je donnais un autre point de vue. Je pense que je contrariais un peu le travail de leur tuteur.
Vers la fin du TPE, je leur ai demandé : "Pourquoi vous intéressez-vous à ça ? Pourquoi voulez-vous voyager dans l'espace ?"
Ils m'ont répondu que c'était pour VOIR l'Univers !
Je leur ai répondu qu'alors il fallait y aller et dire ce qu'on y voyait.

Jusqu'à la fin, j'ai cru qu'ils ne travaillaient pas. Je n'ai pas été convaincue par la lecture de leur dossier, je pensais qu'ils ne maîtrisaient pas les notions présentées. Mais à la présentation orale de leur TPE, j'ai été très impressionnée par la précision de leurs réponses ! Je n'ai réalisé qu'à ce moment-là la qualité de leur travail.
Par exemple, dans leur mise en scène, le "savant" expliquait qu'en fonction de la vitesse du vaisseau, on n'applique pas les mêmes lois. Dans le référentiel galiléen, si la vitesse est inférieure à la vitesse de la lumière, il faut appliquer les lois de la mécanique et de la dynamique classique.
Si la vitesse est proche de la vitesse de la lumière, le calcul doit se faire en appliquant les lois de la relativité restreinte : transformation de Lorentz, Espace temps, contraction des longueurs et des temps. Et ils savaient appliquer ces notions à un exemple.
À la fin de leur exposé, je leur ai posé des questions du type : "Et si tu étais au bord du trou noir ? Et si vous aviez embarqué une horloge dans votre vaisseau, comment la synchroniser ? Comment déceler un trou noir ?"
Ils ont alors abordé les concepts de la relativité générale, de la déviation de la lumière aux abords des trous noirs, des fontaines blanches et des théories de la contraction et de l'explosion donnant naissance à de nouveaux univers.
Pour terminer, nous avons discuté des articles qu'ils avaient lus sur les travaux de Stephen Hawking.
L'aisance avec laquelle ils intégraient ces concepts dans la conversation, et la précision de leurs explications étaient impressionnantes !
Un peu plus tard, j'ai dû retravailler sur ces concepts pour une intervention dans un cadre associatif sur les fontaines blanches notamment, et je me suis resservie de la construction de leur travail pour aborder ces concepts avec des "non-spécialistes".

La *posture d'expert*, soit d'un enseignant érudit dans le domaine concerné, soit d'un professionnel, est souvent recherchée par les élèves dans ce dispositif. Ce sont des

personnages incarnant les savoirs, ils apparaissent comme des garants d'authenticité. Dans notre exemple, l'enseignante se positionne essentiellement sur un plan didactique comme une spécialiste par rapport au champ des connaissances explorées, elle ne se présente pas comme professeur de Physique. Son action remet en cause leurs connaissances, les pousse à vérifier et à préciser leurs données scientifiques.

Elle ne peut faire ce travail sans se questionner sur leur démarche, en tant qu'enseignante, elle ne demeure pas sur une posture unique d'expert. Elle a tenté notamment de leur faire expliciter leur démarche, en se positionnant alors comme spécialiste des procédés à mettre en œuvre pour construire des connaissances en astronomie. Cependant ses interventions ponctuelles sur le plan pédagogique font que l'ensemble du travail effectué par les élèves ne lui est révélé qu'au moment de l'oral. Elle intervient aussi sur la reconstruction finale de leur problématique en demandant d'exprimer leur intérêt pour ce voyage dans l'espace.

enseignant et expert, une harmonie difficile à mettre en œuvre

Lors de leur soutenance orale, elle fait sienne la concrétisation de leur problématique et devient un quatrième personnage de la mise en scène en entrant en dialogue avec les trois élèves. Aux yeux des élèves, elle représente une authentique "savante" et ils intègrent ses interventions à leur expérience fictive.

Pour elle, ce n'est qu'à cet instant qu'elle comprend la construction de leur travail et que tous les éléments du dossier qu'elle considérait comme disparates prennent leur place. La conjonction de ses deux *postures d'experte et d'enseignante* en font une "enseignante-expert", qui peut alors évaluer la maîtrise des contenus scientifiques de leur TPE et leur structuration.

2.2. L'encadrement du travail des élèves par un enseignant-tuteur

Nous présentons ici quelques extraits du récit de l'enseignant qui a suivi le travail du groupe tout au long de leur TPE, accompagnés de leur analyse par l'équipe de recherche.

• *La posture de l'enseignant-tuteur*

des interventions de tutelle et de médiation...

En suivant régulièrement le développement de ce TPE, l'enseignant prend un rôle de tuteur. Cette activité vise à s'adapter continuellement à l'évolution du travail des élèves, elle nécessite donc de la part de l'enseignant des postures plus mobiles face aux connaissances présentées par les élèves. Il ne se situe pas par rapport au contenu scientifique, il n'impose pas de contraintes concernant les savoirs, il applique essentiellement une méthodologie visant à discuter les questions que les élèves se posent. Le tuteur a un projet

qui est de faire construire et de faire évoluer la problématique des élèves.

Dans ce TPE, il se trouve que les rôles d'expert et de tuteur se conjuguent. Ces deux rôles permettent d'éviter les conflits qu'aurait pu donner la coexistence d'un expert-physique et d'un expert-maths souhaitant mettre en application une organisation bidisciplinaire telle qu'elle était présentée dans les prescriptions données aux enseignants.

Je n'étais pas "expert" en physique. Il m'était donc impossible de juger de l'exactitude des connaissances qu'ils apportaient au fil des rendez-vous. Mon aide fut donc surtout d'ordre méthodologique. Cela correspondait d'ailleurs à la vision que je possédais de la partie la plus intéressante de mon propre rôle dans le cadre d'un TPE. L'objectif était pour moi de conserver autant que possible les idées originelles des élèves tout en les incitant à comprendre qu'un TPE n'était pas un "super exposé" et donc que ceci impliquait la satisfaction de certaines contraintes méthodologiques, notamment dans la définition et la construction de la problématique. Par contre, comme nous en avions convenu entre collègues lors de réunions communes, je n'ai manifesté aucune exigence quant à la présence de la bidisciplinarité dans ce TPE d'élèves de première.

Le groupe a commencé par exprimer, sous forme de boutades, sa fascination pour le concept d'espace-temps. Leurs connaissances sur le sujet étaient faibles, mais l'intérêt était vif car soutenu par les conséquences les plus spectaculaires de ce concept, largement diffusées par les ouvrages de vulgarisation scientifique ou le cinéma, par exemple : "plus on voyage vite, moins on vieillit", "il est possible de remonter le temps car il existe des "portes" dans l'espace-temps pour cela", etc.

Je fis alors remarquer qu'il était toujours positif de partir sur une envie ou un intérêt personnel car c'est souvent la promesse d'un enthousiasme et d'une ardeur au travail durables. Ma première tâche fut donc de convaincre le groupe qu'il n'y avait pas d'idée loufoque mais seulement des idées qui demandaient à être problématisées. Les élèves furent surpris et satisfaits de ne pas voir leur attirance mise à l'index pour la seule raison que le projet n'était pas encore bien défini ou qu'il ne portait pas sur les thèmes strictement contenus dans les programmes scolaires du lycée. Ils s'attendaient en effet à devoir suivre une fois de plus les exigences d'un moule scolaire qui, jusque-là, bloquait leur créativité.

• *Construire un questionnement*

... concrétisées par des postures de lecture et de conduite de projet...

Dans un premier temps, le tuteur encourage les élèves à produire un questionnement naïf en prenant un point de vue neutre dans une *posture de lecture* de leur activité : il les incite, à partir de questions sur leurs intérêts et leurs motivations, à exprimer leurs représentations d'un sujet donné.

Ensuite, le tuteur intervient pour aider à organiser le lien entre la problématique et la nature des connaissances recueillies. Dans cette posture de conduite du projet de connaissances, Il aide les élèves à formuler des questions orientant leurs recherches d'information. Le groupe d'élèves se trouve alors face à de nouvelles perspectives, de nouvelles interrogations qui suscitent chez lui une remise en cause de ses connaissances naïves.

Aucune question ne leur apparaissait spontanément.

Je leur ai alors proposé de partir de leurs propres questions de profanes plutôt que de tenter d'emblée de trouver une question de "spécialiste" en astronomie ou en physique. Ce choix méthodologique me paraissait reposer sur deux intérêts majeurs que je leur ai communiqués :

D'une part, formuler des questions permettait d'énoncer des mots clés et des domaines de connaissance qui allaient leur permettre de démarrer leurs recherches en repérant ces mots dans les sources d'information auxquelles ils pourraient avoir accès. Qu'importe si la nature exacte des questions initialement posées ne constituerait finalement pas à l'avenir la trame de leur TPE, Le travail serait malgré tout rapidement lancé et orienté.

D'autre part, il était probable que les questions qu'ils se posaient étaient représentatives de celles que pourrait se poser n'importe quelle autre personne néophyte en la matière et donc étaient porteuses d'un intérêt évident, qui ne serait pas à construire artificiellement.

Les premières questions formulées par les élèves furent : "Qu'est-ce que la notion d'espace-temps ?" et "Peut-on voyager aussi vite ou plus vite que la lumière ?"

• *Trier, évaluer... pour structurer les connaissances*

...et une posture d'accompagnement du traitement logique des connaissances

À plusieurs moments, le tuteur engage les élèves à évaluer les difficultés rencontrées pour définir les limites de leur champ d'investigation (cf. partie 3 du récit du tuteur). Par exemple, le concept de la relativité doit bien être identifié en tant que tel, mais pas re-démontré. Seules ses applications en relation avec le sujet sont à conserver. En demandant de limiter leurs importations en fonction de leur degré de complexité, il les incite à explorer la relation entre ces savoirs scientifiques et leur sujet d'étude. C'est à partir de là que nous considérons que les élèves sont conduits à structurer leurs connaissances en dépassant la simple accumulation de savoirs recueillis à différentes sources.

De leurs recherches sur ces sujets, ils revinrent essentiellement avec des informations sur les théories de la relativité d'Einstein. Confrontés à l'immensité et à la complexité de la théorie, ils pensèrent un instant être sur une fausse piste ou tout du moins vaine.

Je leur expliquais qu'au contraire, cette complexité était un indicateur des limites qu'il fallait se donner dans l'exposé de cette théorie à une tierce personne, virtuellement lectrice de leur TPE. Comprendre et exprimer l'essentiel du concept d'espace-temps était essentiel (ne pas le faire eut été une erreur). Il fallait simplement se rappeler que chaque connaissance sélectionnée devait être mise au service de leur objectif et qu'il n'était pas utile, souhaitable et encore moins demandé de se lancer dans un exposé plat et vainement exhaustif de telle ou telle théorie. Cela ne constituait pas une problématique et c'était forcément déjà fait par des auteurs ayant publié sur le sujet. Et comme il fallait apporter quelque chose de nouveau [...]

Je leur ai alors demandé de trouver un intérêt "concret" à cette réflexion. Ils me répondirent que les réponses qu'elle apporterait pouvaient servir à optimiser les voyages expérimentaux d'agences spatiales comme la NASA. Puis très vite, l'un des membres du groupe évoqua l'idée de voyages commerciaux, de trajets destinés aux loisirs des futurs Terriens. Cette perspective d'ordre plus humain et pragmatique que la précédente suffit à soulever de nouvelles contraintes qui se révélèrent être autant de pistes : la durée du voyage, le coût du voyage, le choix d'accélérations compatibles avec la préservation du capital biologique du voyageur (!), etc. [...] Le lien fait entre la vitesse de la lumière et sa masse.../...

.../... (considérée comme nulle) entraîna le groupe vers le champ des limites physiques du déplacement d'un objet à travers l'espace de par la simple existence de sa masse. Tout naturellement, les élèves en sont venus à se demander jusqu'où il était techniquement possible d'aller. La question était intéressante, mais formulée ainsi elle prédisposait à nouveau à se perdre dans des notions théoriques et à simplement explorer le domaine de la physique fondamentale.
La recherche d'informations sur les techniques de propulsion actuellement expérimentées ou simplement imaginées fut assez rapidement fructueuse grâce notamment à un site Internet déjà fortement constitué sur le sujet. Mais l'aspect technique y était très développé pour ne pas dire surchargé.
Pour alléger quelque peu l'importation de ces données, je leur proposai de déterminer quelques paramètres permettant de comparer les avantages et les inconvénients de chaque formule de propulsion. Les élèves définirent alors comme critères d'évaluation : la consommation en carburant, le caractère facilement réalisable du projet, sa dangerosité, sa puissance.
Par ailleurs, toujours dans le souci de dynamiser l'ensemble qui paraissait quelque peu empesé, je proposai d'imaginer un jeu de questions/réponses permettant d'avancer les connaissances en restant au plus près de l'intérêt qu'elles étaient censées susciter. Le groupe approfondit immédiatement cette idée en proposant d'imaginer un dialogue mettant en scène le directeur d'une agence de voyages spatiaux et deux de ses clients. Ils décidèrent cependant de réserver cette mise en situation pour l'exposé oral de leur TPE et de laisser inchangé leur dossier final de TPE.

D'autre part, le tuteur incite à un travail de comparaison des différents types de propulsion à l'aide de critères issus de la problématique "voyages commerciaux". Il les stimule pour mettre en pratique une logique de discrimination. En répondant à cette sollicitation les connaissances importées par les élèves deviennent de plus en plus homogènes ; elles comportent des liens logiques internes (entre elles) et externes (avec les concepts scientifiques).

Les contours de l'architecture finale se dessinent alors "tout naturellement" quand le tuteur leur demande de reconstruire l'ensemble de leur travail à partir de leurs questions. Ce travail ultime permet aux élèves de vérifier la pertinence des liens construits. Il donne également la mesure du chemin parcouru. Apparaît alors l'ensemble des liens structurant les connaissances convoquées dans leur TPE.

Les interventions de cet enseignant caractérisent ce que peut être l'activité d'un tuteur : il utilise le dialogue pour relancer, modifier sa position initiale, rétroagir par rapport à la prise d'initiative des élèves. Il est essentiellement dans une *posture d'accompagnement* de leur démarche.

Comme dans cet exemple, l'analyse de l'ensemble des TPE observés la première année nous a permis de décider que l'interaction tuteur-élèves au cours d'entretiens de suivi concrétisant l'encadrement du TPE serait un des facteurs essentiels à étudier pour rendre compte de la structuration des connaissances par les élèves.

dévolution du projet de connaissance aux élèves

2.3. Jeux de postures entre élèves et enseignants

Globalement nous constatons qu'au cours de leur TPE, ces élèves n'ont rencontré aucun enseignant prenant la posture

habituelle de celui qui explicite les savoirs en jeu. Le travail des élèves a été suivi par un tuteur qui les a encouragés à poursuivre leur questionnement en assurant un encadrement de type accompagnement et par un expert, intervenant sur les contenus scientifiques sans orienter leur cheminement par une démarche d'enseignement dans laquelle les savoirs seraient organisés et préconstruits. Ces deux formes d'encadrement ont dévolué le projet de connaissances aux élèves.

L'enseignant tuteur met en œuvre de nouvelles compétences visant à faciliter l'inscription des élèves dans leur projet, il les encourage à anticiper. Son aide d'ordre méthodologique permet aux élèves de définir au mieux la problématique et de la rendre adéquate aux connaissances choisies. Il vise à une complémentarité entre deux sens du projet : la projection identitaire des élèves rejoint le projet méthodologique de structuration des connaissances de l'enseignant tuteur.

En les interrogeant sur la nature de leurs rapports, nous avons pu apprendre qu'entre enseignants, expert et tuteur, les relations ont été conflictuelles tant que la complémentarité de leurs rôles n'a pas été comprise. L'expert considérait que le tuteur donnait trop d'importance à la construction du questionnement (ceci retardait l'affrontement des concepts scientifiques à travailler, qu'il avait, lui, repéré précocement). Le tuteur reprochait à l'expert de ne pas laisser les élèves sélectionner les savoirs dont ils avaient besoin, sans forcément tous les explorer complètement.

ce sont les élèves qui sollicitent les compétences différentes des enseignants

Afin d'éviter les conflits ouverts, la relation qu'ils ont souvent adoptée a été celle d'une non-communication entre eux. Dans ce cas, ce sont les élèves qui ont eu à gérer leurs différences de points de vue ! Les élèves "se sont servi" des deux professeurs, tuteur et expert, de manière complémentaire sans les opposer et sans en faire le même usage : l'expert comme discutant sur la connaissance, le tuteur comme un médiateur par rapport à l'avancée du travail. Suffisamment motivés et fonctionnant apparemment en harmonie, ces élèves ont utilisé les compétences de chaque enseignant à des moments différents dans le TPE. Lors de la soutenance, l'expert rentre dans le jeu de rôle tant par passion que par fonction. Le tuteur, quant à lui, exerce sa fonction dans la recherche de la définition du mobile du projet.

Dans cet exemple particulier, grâce au double service rendu par les enseignants, la démarche de problématisation est associée à la démarche de structuration des connaissances au sein du projet de connaissances des élèves. Partageant un idéal commun, les élèves font sortir la connaissance de sa dimension artificielle tout en respectant une certaine hiérarchie fonctionnelle des savoirs qu'ils traduisent dans leurs trois types de postures possibles : le méthodologue, le savant, le naïf.

3. LES APPORTS DE CETTE PREMIÈRE ANNÉE DE RECHERCHE

3.1. Les conditions d'une structuration des connaissances en TPE sont déterminées

À partir de ce cas singulier et des autres TPE que nous avons expérimentés et analysés la première année, nous avons déterminé certaines conditions qui seraient nécessaires pour que les connaissances mises en jeu par les élèves soient structurées :

quatre conditions pour une structuration des connaissances

- Existence d'une variété des sources de savoirs sollicités (savoirs communs, savoirs disciplinaires, savoirs d'expert, savoirs professionnels).
- Existence d'un traitement des informations par association, exclusion, et construction de liens logiques, plus ou moins conscientisés et exprimés.
- Existence d'un traitement progressif des informations qui prend son sens dans une action finalisée par une problématique vue dans sa dynamique.
- Existence d'un type d'encadrement caractérisé par différentes postures. Il vise à ce que les élèves développent un projet de connaissances. Il favorise la confrontation avec des experts du domaine abordé. Il permet d'échapper à une construction disciplinaire préétablie, sans toutefois ignorer les relations entre les connaissances du TPE et les savoirs disciplinaires.

3.2. L'objet de recherche est précisé

la construction des savoirs se fait en dehors des enseignants

L'étude de ces différents TPE nous conduit à distinguer la structuration des connaissances de la construction des connaissances. Dans une situation d'enseignement-apprentissage classique, l'enseignant influe directement sur la construction des connaissances. *A contrario*, notre résultat de recherche montre que le construit social des savoirs en TPE s'effectue en dehors de la présence du tuteur grâce à un traitement socio-cognitif de ces savoirs entre les élèves du groupe et d'autres partenaires. Nous ne pouvons observer l'ensemble de ce processus. Le résultat de cette construction est une série de connaissances établies à partir de sources hétérogènes, sorte de "tout à trac", que l'élève générique exprime au nom du groupe en entretien avec le tuteur. Le simple fait d'exposer ces connaissances en vrac convoque, autant chez l'enseignant que chez les élèves, le désir les structurer. Les entretiens avec le tuteur sont donc à la fois le lieu et le moyen de cette structuration des connaissances (5).

mais leur structuration se joue dans les entretiens

La structuration telle que nous la concevons ici se présente comme un travail de compréhension d'un paysage où l'on met en ordre une mosaïque de connaissances. Elle se distingue d'un travail d'appropriation qui serait conduit sur la base de

savoirs précis, identifiés, choisis, organisés puis simplifiés par un expert des constructions curriculaires du domaine abordé.

La structuration s'effectue par le passage de l'élève à travers trois modes différents de rapports à la connaissance :

- Un mode intuitif de convocation des connaissances dans lequel l'élève suit un processus de découverte sans traitement logique.
- Un mode réflexif au cours duquel l'élève recherche une mise en ordre des connaissances par comparaison, sélection et différenciation.
- Un mode métacognitif qui correspond à un travail d'articulation entre les connaissances, ce travail étant orienté par un projet finalisant l'activité.

Le mode intuitif est à considérer plutôt comme une amorce qui permet ensuite de mettre en œuvre deux registres de structuration. L'un intervient surtout dans la coordination entre connaissances (ordre et classement des connaissances) et l'autre intervient essentiellement dans leur articulation (organisation entre les connaissances, arborescences, mise en perspective).

3.3. Les questions de recherche et la méthodologie sont réadaptées

Au-delà de cette précision portée sur l'objet de recherche, l'analyse de ces premières données nous a également permis de redéfinir les questions de recherche et la méthodologie afférente.

une nouvelle question de recherche :

Considérant que la structuration des connaissances au cours d'un TPE apparaît essentiellement dans les entretiens tuteur-élèves, nous avons fait l'hypothèse qu'elle est déterminée, au moins en partie, par les jeux de postures entre élèves et tuteur. Dans cette perspective, la recherche en cours visera à identifier et à catégoriser ces postures tout au long des entretiens pour faire apparaître leur évolution dans la dynamique du TPE et leur effet sur la structuration des connaissances de l'élève.

Sur le plan méthodologique, au cours de la deuxième année de recherche, nous avons systématiquement enregistré et retranscrit ces entretiens tout au long du développement des TPE pour une quinzaine de groupes. Nous avons construit,

(5) Pour chaque groupe d'élèves suivis, nous avons ensuite enregistré au moins trois entretiens jalonnant le travail des élèves : en début, milieu et fin de leur TPE. Dans la suite de notre travail, une trentaine d'entretiens a été analysée pour déterminer en quoi les jeux de postures des uns et des autres pouvaient intervenir sur la structuration des connaissances.

relations entre : connaissances, postures et registres de structuration

testé et stabilisé, un outil d'analyse permettant d'identifier dans ces entretiens à la fois les différents registres de structuration des connaissances, les différentes postures et les différents types de connaissances mis en jeu.

À présent, ces indicateurs nous conduisent à déterminer les relations qui se construisent au cours du TPE entre connaissances, postures prises face aux connaissances et registres de structuration des connaissances dans un échange verbal entre élèves et tuteur.

Bernard ANDRIEU,
IUFM de Lorraine
Isabelle BOURGEOIS,
Éric GASPAR,
Yvette RENAULD,
Lycée Bichat, Lunéville
Équipe de recherche INRP

BIBLIOGRAPHIE

ANDRIEU, B. (2003). *Le laboratoire du cerveau psychologique. Histoire et modèles.* Paris : Éd. CNRS.

AUSTIN, J.L. (1962). *How to do things with words.* London : Oxford University Press.

CRINDAL, A. (2001). *Les figures de la démarche de projet en technologie.* Thèse ENS Cachan.

DUMAS-CARRE, A. et WEIL-BARAIS, A. (1998). *Tutelle et médiation dans l'enseignement scientifique.* Berne : Peter Lang.

FABRE, M. (1999). *Situations problèmes et savoirs scolaires.* Paris : PUF.

LES MÉTÉORITES : DEUX EXPOSITIONS À 30 ANS D'INTERVALLE

Jean-Guy Michard
Florence Raulin-Cerceau

Deux expositions organisées autour de la riche collection de météorites du Muséum national d'Histoire naturelle se sont succédées à presque trente ans d'intervalle. La première partie de cette étude présente les contenus respectifs de ce qui peut sembler un défi muséologique compte tenu de l'aspect terne et rébarbatif de ces "cailloux venus de l'espace", qui renferment cependant la mémoire des premiers instants du système solaire. Dans la seconde partie de l'article, nous analysons les similitudes et différences de ces présentations ; nous tentons ainsi de mieux comprendre l'évolution des messages scientifiques transmis au public par le média exposition et les incidences du développement des supports muséologiques dans ce mode de diffusion des connaissances.
Il apparaît que la narration du phénomène de chutes des météorites reste très comparable dans son mode de présentation, car essentiellement illustrée par l'objet. En revanche, l'explication du processus de formation du système solaire, domaine dans lequel l'astrophysique a fait d'énormes progrès en quelques décennies, nécessite aujourd'hui l'utilisation de techniques muséographiques beaucoup plus diversifiées.

deux expositions à trente ans d'intervalle...

Le Muséum national d'Histoire naturelle a consacré deux expositions temporaires au thème et à la collection des météorites du laboratoire de minéralogie de l'établissement. La première exposition, intitulée "Les Météorites, messagères du Cosmos, et les expériences spatiales", a été présentée dans la Galerie de Botanique du Muséum, de juillet à novembre 1968 et en mars-avril 1969. Elle a fait l'objet d'une itinérance entre ces deux dates. La seconde exposition, intitulée "Météorites !", s'est déroulée dans la salle des expositions temporaires de la Grande Galerie de l'Évolution, de mai 1996 à janvier 1997. Elle a été reconfigurée pour l'itinérance et circule encore actuellement dans les musées et centres culturels français.

Il a paru intéressant de faire une étude comparative de ces deux expositions, qui ont eu lieu à presque trente ans d'intervalle pour analyser l'évolution des savoirs, et celle de la diffusion des connaissances, sur le sujet particulier des météorites.

Lors d'une mise en exposition, ce sujet d'astronomie présente des caractéristiques particulières que nous évoquerons dans cet article. Le contenu des diverses sections de chacune des expositions sera tout d'abord précisé afin de dégager tous les éléments nécessaires à cette comparaison. La description de l'exposition de 1968 que nous donnons ici se base sur les documents décrivant l'exposition itinérante, pour laquelle il

existe des traces publiées (catalogue, notice explicative, photos des panneaux). Version condensée de l'exposition qui s'est déroulée dans la galerie de Botanique, cette exposition itinérante fut néanmoins enrichie (par rapport à l'exposition temporaire) de documents sur les expériences spatiales américaines et soviétiques. Quant à la deuxième exposition, nous en avons été les concepteurs muséologiques, et nous utiliserons nos propres connaissances et analyses sur le sujet pour alimenter la réflexion.

...similitudes et différences

Nous pourrons ainsi mettre en évidence les similitudes et différences dans les dernières parties de l'article, de façon à tenter d'apporter des éléments de réponse aux deux questions suivantes :

- Quels changements dans le contexte scientifique sont susceptibles d'avoir introduit des nouveautés dans le traitement du thème ?
- En quoi les nouvelles possibilités de la muséographie conditionnent-elles de nouvelles formes de diffusion des connaissances dans ce domaine ?

1. *"LES MÉTÉORITES MESSAGÈRES DU COSMOS"* : LES CONNAISSANCES DES ANNÉES 60

L'exposition est découpée en dix parties et s'attarde particulièrement sur certains faits d'actualité comme l'exploration de la Lune ou l'analyse des constituants de la météorite d'Orgueil. Les premières parties comprennent des thèmes que nous retrouvons également dans l'exposition de 1996 (historique, cratères, phénomènes sonores et visuels) et qui sont sensiblement traités de la même manière. La synthèse comparative présentée dans le tableau 1 intègrera donc préférentiellement les thèmes évoqués dans les dernières parties de l'exposition de 1968/69 qui mettent davantage en évidence les avancées scientifiques en matière d'astronomie.

L'introduction (partie I) est une *mise en ambiance du visiteur dans le milieu cosmique* (photos d'astronomie).

techniques,

Puis, l'exposition présente des données sur l'astrophysique et la radioastronomie. Cette partie II, *"Les données de l'astrophysique et de la radioastronomie"*, explique les techniques d'étude de la constitution chimique de l'univers et la chimie des astres. Elle parle de spectroscopie et des mesures radar qui permettent de repérer la poussière météoritique. Elle évoque aussi le recueil des micrométéorites dans l'espace (par les satellites artificiels) et dans les sédiments océaniques.

La partie III, *"Acquisition des connaissances sur les météorites"*, suit un cheminement historique, depuis l'Antiquité jusqu'à nos jours. L'accent est mis sur les météorites célèbres, telle celle d'Ensisheim (Alsace) tombée en 1492. On montre dans cette partie combien le mythe de la "pierre

histoire des sciences,

tombée" a fait appel à des interprétations variées ou contestées pendant des millénaires, jusqu'au XVIIIe siècle. L'hypothèse de l'origine extraterrestre est confortée par les premières analyses chimiques de météorites, notamment celles de Chladni, ce physicien qui en apporta en 1794 de nombreuses preuves. L'exposition signale la chute de l'Aigle (Orne) en 1803 comme le tournant historique ayant levé l'incertitude sur l'origine des météorites. Des documents relatifs au rapport de Biot sur sa mission à l'Aigle organisée par l'Académie des Sciences sont présentés.

L'exposition a inclus dans cette partie le cas de la Tunguska, phénomène non clairement élucidé ayant causé de nombreux dégâts le 30 juin 1908. Enfin, une chute récente est évoquée, celle de Saint-Séverin en Charente, le 27 juin 1966.

trajectoires et rencontres avec le sol :

La partie IV, *"Comment nous parviennent les météorites ?"*, traite des phénomènes lumineux (trajectoires), sonores (onde de choc, audibilité), de la vitesse et de la périodicité des chutes, des averses de météorites.

"Comment se fait la rencontre des météorites avec le sol ?" représente le thème de la partie V. Celle-ci évoque les principaux cratères météoritiques terrestres, dont le *Meteor Crater* en Arizona.

des thèmes communs aux deux expositions

L'ensemble de ces thèmes, y compris le même type d'illustration muséologique, se retrouvent dans l'exposition de 1996. En revanche, les dernières parties font ressortir de notables différences avec la nouvelle exposition, compte tenu de l'évolution des savoirs scientifiques et muséologiques.

le contexte de la première exposition : exploration spatiale en pleine expansion

Pour mieux comprendre l'orientation de l'exposition de 1968/69, il faut rappeler le contexte de la fin des années 1960. L'exploration spatiale est alors un domaine en pleine expansion. L'année 1969 est particulièrement marquée par les premiers pas de l'homme sur la Lune, un tournant dans l'histoire de l'humanité. Cet événement et l'enthousiasme qui a accompagné toute la série de voyages sur la Lune devaient nécessairement contribuer à orienter le choix des thèmes de l'exposition de 1969 vers le domaine des techniques et de l'exploration spatiale et surtout celui des vols habités vers la Lune. Les nombreuses techniques développées dans l'exposition en témoignent. L'exploration de la Lune par les stations automatiques soviétiques a permis la récolte d'images de cratères et "mers", dont le premier document sur la face cachée de la Lune. Une rétrospective de l'exploration spatiale au voisinage de la Lune (vols Gemini, Apollo VIII, Surveyor, Lunar Orbiter) est présentée, montrant l'accroissement des données concernant l'étude de la surface lunaire et constitue le thème de la partie VI, *"De la Terre à la Lune"*. Elle se termine par "La Terre vue de la Lune", et montre l'intérêt que présentent ces photos pour les études météorologiques.

La partie VII s'intéresse à la *classification des météorites* et à leurs *principales caractéristiques*. Elle présente les trois grandes familles de météorites, selon le classement de

l'époque : sidérites, sidérolithes, aérolithes, elles-mêmes divisées en chondrites et achondrites. Nous verrons que cette classification s'est modifiée en fonction de l'analyse de l'état plus ou moins "primitif" des météorites (voir le tableau 1).

La partie VIII s'interroge sur les *lieux où ont été trouvées des météorites* et s'attache à faire connaître la localisation sur la carte de France des points de chutes connus à ce jour.

La partie IX, *"Caractéristiques structurales des météorites"*, présente la structure lamellaire des fers et la figure de Widmanstätten, ainsi que la structure chondritique (disposition des lamelles d'olivine dans un chondre). Elle montre aussi des photos en lumière polarisée de sections minces de chondrites et d'achondrites. Cette partie est également dédiée à la composition des météorites, leur analyse minéralogique et chimique.

mise en évidence et unité des avancées scientifiques

Nous relevons que l'exposition de 1968/69 s'attarde sur l'exemple de la météorite d'Orgueil, chondrite carbonée remarquable par ses constituants. Cette météorite permet d'aborder un autre thème, celui de la *"Probabilité d'existence d'une vie organisée sur d'autres planètes"*. On évoque à ce propos le cas des éléments organiques identifiés dans Orgueil. Les éléments découverts parurent semblables à certaines substances nutritives trouvées habituellement dans le sol, telles que les acides humiques, et à des composés comme les bases puriques et pyrimidiques (des composants de l'ADN). Or, dans les années soixante, trois spécialistes en chimie organique proposèrent d'attribuer une origine biologique à ces substances. Ceci laissait supposer que les météorites pouvaient apporter directement la preuve de l'existence de la vie sur d'autres corps du système solaire (Cerceau, 1985). La découverte la plus retentissante fut celle de deux structures organisées ressemblant à certaines spores d'algues qui paraissaient ne correspondre à aucune espèce connue. Elles ont été interprétées à cette époque comme des fossiles provenant de microorganismes extraterrestres : on comprend l'intérêt de présenter ce thème dans l'exposition. Ces structures ont finalement, quelques années plus tard, été identifiées comme étant une contamination terrestre.

Compte tenu de l'ensemble des découvertes relatives à la météorite d'Orgueil, et de leur caractère spectaculaire, les thèmes de l'origine de la vie et de la vie dans l'univers ont bien évidemment été mis en valeur dans l'exposition.

La dernière partie, *"Âge, origine et genèse des météorites"*, rend compte de l'histoire probable de la formation des météorites dont les principales étapes sont évoquées (synthèse nucléaire, accrétion, formation des corps-parents des météorites, chutes de fragments sur la Terre ou sur une autre planète). Peu de données sont fournies sur les corps-parents, dont l'identité était incertaine. La structure de la nébuleuse solaire primitive et la théorie de formation des planètes (accrétion) sont évoquées. Enfin, l'analogie avec les comètes

est mentionnée ainsi que les dernières données les plus récentes concernant Vénus, fournies par les sondes Vénus 5 et 6 en 1969.

La conclusion de l'exposition se centre sur l'unité des connaissances scientifiques, depuis les atomes et minéraux constituants des météorites jusqu'aux immenses espaces de l'univers dont ils sont issus, et soulève la question de l'interdépendance des phénomènes naturels (Orcel, 1969).

Si l'exposition présente de nombreux spécimens de météorites réels (dont le fer de Canyon Diablo, la sidérolithe de Krasnojarsk, la chondrite de St Séverin) ainsi que des moulages, elle n'offre cependant pas de présentation particulière dévolue à la collection de météorites. Ces dernières illustrent le propos selon les thèmes, mais n'ont pas fait l'objet d'une section d'exposition attitrée.

2. *"MÉTÉORITES"* 1996 : TRENTE ANS DE DÉCOUVERTES POUR UN PUBLIC DIFFÉRENT

trente ans plus tard, il s'agit d'assurer une meilleure diffusion des connaissances

Avant d'en détailler le contenu, il semble important de souligner le fait que cette exposition était la première manifestation entièrement conçue en interne à occuper la salle de neuf cent mètres carrés dédiée aux expositions temporaires et située au sous-sol de la Grande Galerie de l'Évolution. Nouvelle vitrine du savoir et du savoir-faire du Muséum, cette exposition bénéficiait d'un budget qui, sans être "astronomique", permettait à son comité d'organisation de mettre en œuvre un certain nombre de techniques muséographiques modernes. Le but n'en était pas seulement de rivaliser avec les autres grandes institutions muséales internationales ; la variété des supports utilisés permettait surtout de procurer au public un confort de visite accru, afin d'assurer une meilleure diffusion des connaissances, en rapport avec les acquis scientifiques très importants depuis la fin des années soixante.

En plus des quelques trois cent cinquante météorites de toutes tailles exposées (qui ne constituent qu'une petite partie de la collection du Muséum), dix moniteurs vidéo donnent à voir des montages d'extraits de films ou de documentaires, et deux films de trois et sept minutes ont été spécialement réalisés. Deux interactifs informatiques et onze dispositifs spéciaux statiques ou animés ont été créés. Un grand microscope de haute technologie automatisé et piloté par ordinateur, plusieurs microscopes polarisant et loupes binoculaires permettent aux visiteurs d'accéder aux plus fins détails des météorites (Raulin-Cerceau *et al.*, 1997).

Après avoir ouvert le registre de l'étonnement par deux objets d'appel extérieurs, une Chevrolet traversée en 1992 par une météorite aux États-Unis et une impressionnante météorite

ferreuse de onze tonnes prêtée par l'Université de Mexico, le visiteur traverse le hall d'accès à l'exposition dans lequel est présentée une sélection d'œuvres graphiques en tous genres, illustrant la fascination qu'exercent ces pierres de l'espace sur l'imaginaire des hommes.

L'exposition proprement dite s'organise en trois parties, articulées autour d'un espace central dédié à l'exposition de plus de deux cent cinquante météorites classées et à la présentation du grand microscope.

l'histoire des sciences pour s'approprier les notions de base

La première partie, intitulée *"Les météorites à travers l'Histoire"*, retrace les nombreuses interprétations que les hommes ont données aux chutes de météorites depuis l'Antiquité. Ce parti pris muséologique, qui est d'utiliser l'Histoire des Sciences comme fil rouge en début d'exposition, permet au visiteur de s'approprier les notions de base en suivant le cheminement de la pensée des savants des siècles précédents, tout en donnant à voir à l'amateur éclairé un certain nombre de pièces et de documents rarement mis en exposition.

Après avoir évoqué une dizaine de penseurs et philosophes, l'histoire commence réellement avec la première chute bien documentée, celle de la météorite d'Ensisheim en 1492 et suit les tentatives d'interprétations novatrices (Lycostène, Gesner, Descartes) ou négationnistes du XVIIIe siècle (Lemery, Bertholon, les Encyclopédistes). Enfin, le visiteur découvre la vraie nature des météorites grâce à la mise en scène d'un cabinet de chimiste du début du XIXe.

Faisant office de transition avec la suite, une carte de France interactive permet de localiser les soixante-huit chutes de météorites répertoriées depuis 1492 sur le sol français. La quasi-totalité de ces chutes est illustrée par un fragment de la météorite en question, tandis qu'un bref commentaire s'affiche à l'écran sur commande du visiteur. Ce dispositif est significatif d'une des évolutions majeures en muséographie, l'interactivité du visiteur, puisque ce dernier agit sur la "vitrine pilotée" pour avoir l'information souhaitée.

La deuxième partie, *"Les chutes, scénario et conséquences"*, est divisée en quatre grands thèmes : l'arrivée sur Terre, les cratères, quelques exemples de grandes controverses scientifiques et enfin, les différents modes de collecte des météorites. Ces thèmes, déjà présents dans les premières parties de l'exposition de 1968/69, sont illustrés ici par une plus grande diversité de supports muséologiques tels que photos, films, enregistrements, échantillons, objets. L'installation de nombreux réseaux d'observation du ciel nocturne dans le monde depuis les années 1970, ainsi que certains coups de chance de vidéastes amateurs, permettent d'associer photographies ou films de la chute à certains spécimens et à leur lieu d'impact. Une loupe binoculaire offre la possibilité d'observer l'aspect de la croûte de fusion sur la paroi externe de plusieurs météorites.

Une dizaine de grands cratères d'impact terrestres sont présentés en photographie, tandis que le plus célèbre d'entre eux, le *Meteor Crater*, est ici reproduit sous forme d'une maquette montant sa coupe géologique. Plusieurs vitrines donnent à voir différents résultats d'impacts sur les roches terrestres, notamment celles qui sont vitrifiées et projetées sous le choc – les tectites.

Une grande fresque, composée essentiellement de photographies récentes de la surface d'autres planètes, aimablement communiquées par la NASA, montre au visiteur l'ampleur des collisions survenues depuis plus de trois milliards d'années d'un bout à l'autre du système solaire. Il y a là une corrélation directe entre le champ d'investigation des scientifiques et la présentation au public. Il est d'ailleurs intéressant de remarquer que le visiteur ne s'étonne plus de découvrir des photos de Vénus ou de la surface des satellites de Jupiter.

les météorites au cœur des grands débats scientifiques...

Si le mystère de la Tunguska est toujours un thème prisé dans les expositions sur les météorites (cf. l'exposition temporaire de la saison 2003 au parc Vulcania), d'autres controverses, qui placent les météorites au cœur de grands débats scientifiques, sont présentées au public. En 1996, le rôle des collisions de masses rocheuses dans l'origine de la Lune, dans la cause des extinctions de masse il y a 65 millions d'années, et dans l'apparition de la vie sur Terre, est sérieusement pris au sérieux par une partie de la communauté scientifique et les médias s'en font régulièrement l'écho.

La présentation-collecte des météorites dans les déserts chauds et dans les déserts froids ne diffère que peu de celle de 1968/69. Mais une part importante de l'espace est consacrée à la collecte des micrométéorites, que ce soit dans les lacs et les glaces polaires ou directement dans l'espace. Ce dernier aspect est particulièrement spectaculaire. À côté d'un dispositif collecteur de micrométéorites ayant équipé la station MIR, une vidéo montre les astronautes dans cette même station orbitale en train de présenter à la caméra, quelques semaines avant l'ouverture de l'exposition, les résultats positifs de leur collecte. Grâce aux nouvelles technologies, les scientifiques en orbite font irruption, presque en direct, dans l'exposition.

et le visiteur au cœur des météorites

La troisième partie de l'exposition en constitue le cœur, une sorte de salle du trésor en forme d'ellipse aux parois fenêtrées, avec la présentation d'environ deux cents échantillons de météorites, dans des conditions parfaitement sécurisées. Les deux immenses présentoirs rectangulaires entièrement vitrés permettent au public de percevoir immédiatement que les météorites se répartissent en deux grands groupes : les météorites non différenciées et les météorites différenciées. Chaque ensemble est organisé selon un classement reflétant la composition chimique des échantillons, ainsi que le laisse

présager le titre de la salle *"Classer pour comprendre"*. Un imposant microscope entièrement automatisé (déplacement de la platine, changement d'objectifs, rotation de filtres) est piloté par un programme informatique développé par les chercheurs du Muséum et les ingénieurs de la firme Leica. Il propose aux visiteurs, grâce à une caméra oculaire reliée à un moniteur couleur plusieurs minutes de "visite guidée au cœur des météorites" puisqu'un commentaire s'affiche sur un second écran au fur et à mesure du parcours.

Sachant que la vitrine des météorites ferreuses attire les visiteurs du fait de l'éclat du ferro-nickel et de la beauté de certaines tranches aux inclusions d'olivines rétro-éclairées, les commissaires et les muséologues ont souhaité mettre l'accent sur l'autre catégorie de météorites, d'aspect terne mais infiniment plus riches en informations pour les scientifiques. La sortie de cette salle est dotée de plusieurs tables d'observation, équipées de loupes binoculaires et de microscopes à lumière polarisée, afin de mettre en évidence les principaux constituants des chondrites – les chondres, les inclusions blanches, les minéraux et la matrice. En effet, ces météorites, dites primitives, sont contemporaines de la formation du système solaire, il y a 4,56 milliards d'années, et n'ont pas été modifiées depuis.

Au sortir de cet espace, la dernière partie de l'exposition, intitulée *"Décrypter les météorites"*, traite de la formation et de l'origine des météorites, depuis la notion de corps-parents, dont on ne connaissait que peu de choses en 1969, ainsi que des collisions qui se produisent au sein de la ceinture d'astéroïdes jusqu'aux phénomènes de modification de trajectoires simulés sur un dispositif informatique à disposition du public. Cette partie s'achève par un vaste îlot présentant les acquis scientifiques les plus récents. Histoire pétrologique, analyse des anomalies isotopiques et principes de datation radioactive permettent au visiteur de comprendre l'importance de ces pierres de l'espace qui portent en elles toute la mémoire du système solaire.

3. L'APPORT MUSÉOGRAPHIQUE AUX MESSAGES SCIENTIFIQUES DÉLIVRÉS À UN LARGE PUBLIC

les trois missions du Muséum national d'Histoire naturelle

D'une manière générale, nous l'avons déjà souligné, de grandes analogies thématiques sont évidentes quand on compare l'exposition de 1968/69 à celle de 1996. Les objectifs scientifiques et muséologiques qui ont présidé à la conception de la dernière exposition temporaire du Muséum national d'Histoire naturelle sur les météorites peuvent en effet être considérés comme sensiblement identiques à ceux de la précédente ; ce qui ne surprendra guère, puisqu'ils

reflètent les trois missions fondamentales de l'Établissement (collections, diffusion des connaissances, recherche) :

1 – traiter l'importante collection du Muséum comme référence constante du propos tout au long de la visite, en concentrant toutefois (dans l'exposition de 1996) un ensemble spectaculaire de spécimens classés dans un espace bien individualisé ;

2 – tenter d'apporter aux différents publics des réponses à leurs attentes et à leurs questions : D'où viennent-elles ? De quoi sont-elles faites ? Comment tombent-elles ? Sont-elles rares ? Quels renseignements apportent-elles aux scientifiques ?... ;

3 – montrer que le Muséum est un lieu où s'effectue une recherche de haut niveau, fondée en l'occurrence sur l'étude très poussée des échantillons en collection.

En outre, on retrouve dans les deux expositions l'approche historique permettant d'accéder à l'évolution des idées et à la résolution de l'énigme sur l'origine des météorites. Le sujet des "météorites" représente en effet typiquement un cas de controverse en histoire. Ce passage obligé vers l'histoire des idées s'est automatiquement inscrit dans le développement du parcours muséologique de chacune des expositions. Il est vrai que l'énigme, sous forme de controverse, a duré des siècles : d'où viennent-les météorites ? que contiennent-elles ? Elle est à la fois fascinante et accessible au public, qui peut se mettre assez aisément dans la peau du scientifique au fil des siècles, en suivant le développement des arguments en faveur d'une théorie ou d'une autre (origine terrestre ou origine céleste ?).

La pratique muséologique utilisée dans ce cas cherche à faire participer le visiteur à cette controverse et, indirectement, à la construction progressive du savoir en tentant de lui faire suivre la démarche de pensée des scientifiques et des philosophes au cours des siècles. Le visiteur peut aller de l'observation brute des faits et de leur interprétation aux différentes hypothèses qui ont été établies. C'est une démarche de "redécouverte scientifique", utilisée plus ouvertement dans l'exposition de 1996, qui est alors proposée au visiteur.

D'autres choix se montrent clairement différents dans chacune des deux expositions. Si en 1969 les météorites illustraient essentiellement l'espace, celles de 1996 nous racontent aussi le temps. La conception de cette exposition a tenu compte de ce facteur en dégageant trois échelles :

en 1969, l'espace, en 1996, le temps

- le temps de la pensée humaine,
- le temps géologique, montrant comment les météorites ont modelé la surface des planètes,
- enfin, une échelle de temps beaucoup plus grande qui entraîne le visiteur dans un voyage aux origines du système solaire.

Les concepteurs ont ainsi pris soin d'organiser les thèmes traités dans un ordre logique de succession pour le public.

De plus, dans l'exposition de 1996, on a voulu traiter la collection de météorites comme un véritable "joyau" au cœur des thèmes évoqués. En effet, les objets météoritiques en eux-mêmes n'évoquent pas forcément grand chose dans l'esprit du visiteur : ce sont des pierres, certes venues de l'espace, mais leurs particularités ne sautent pas nécessairement aux yeux. Les programmes scolaires ne traitent que peu de l'astronomie, et sauf exception, pas du tout des météorites. La scénographie utilisée les a entourées d'un certain mystère, dans un premier temps en utilisant un fil conducteur historique, puis en ménageant des "fenêtres" laissant entrevoir la collection dans son ensemble. Enfin, la découverte par le visiteur d'un espace exclusivement destiné à ces pierres extra-terrestres a sans doute contribué à les valoriser et à mieux montrer l'intérêt de leur étude approfondie (ce qui faisait l'objet de la section suivante sur l'histoire du système solaire).

Des efforts de mise en scène se sont portés sur certaines parties d'exposition. Une mise en scène appropriée se retrouve notamment, dans l'exposition de 1996, dans le cas de la reconstitution d'un cabinet de chimie de l'aube du XIXe siècle ; le visiteur y découvre enfin la vraie nature des météorites, grâce aux travaux de Chladni, de De Bournon et de Howard, présentés par des documents, spécimens et objets originaux, ainsi que par la relation de plusieurs chutes remarquables. Cette présentation touche à l'utilisation de l'esthétique comme style de mise en exposition. La muséographie et l'expérience esthétique des visiteurs dans l'exposition présupposent vraisemblablement un champ de forces qui tente de dévoiler un discours, ou des discours, par le truchement des objets mis en scène, qu'ils appartiennent ou non à une collection (Rodrigues Barbosa, 2002). Dans cette exposition, le décor est apparu important pour rendre la mise en scène plus réaliste, et, en association avec une amélioration des mises en lumière, il fait partie d'une évolution globale de la muséographie axée sur la notion d'ambiance.

L'évolution de la technologie scientifique a inversé l'approche conceptuelle en privilégiant lors de l'exposition de 1996 la mise en valeur des résultats plutôt que celle des techniques elles-mêmes (évoquées, mais assez discrètement), notamment en ce qui concerne l'analyse des météorites carbonées. Ce choix a orienté une partie de la présentation vers la science fondamentale et ses conséquences, quant à l'interprétation des premiers instants du système solaire (voire avant cette naissance). Ainsi, certains appareillages d'analyse de précision apparus récemment dans les laboratoires (comme la microsonde ionique) permettent d'aller plus profondément dans l'histoire de l'univers que les observations au télescope. Les immenses progrès réalisés grâce à

l'évolution de la technologie a modifié l'approche conceptuelle

l'utilisation de la microsonde ionique, ont permis, depuis 1987, d'obtenir des renseignements sur des grains météoritiques pré-solaires provenant d'étoiles nées et mortes avant la naissance du Soleil et d'établir toute l'histoire de la météorite, de la naissance du grain à la capture de la météorite par la Terre (Collectif, 1996). La microsonde ionique joue le rôle d'un télescope : l'analyse des anomalies, grain par grain, permet en effet de donner des caractéristiques du nuage interstellaire dont est issue la nébuleuse solaire (Maurette, 1993). Ces techniques de pointe, qui répondent à la question de la formation des corps du système solaire et à celle de leur histoire intégrée à celle de l'univers, permettent d'approcher de près les grands problèmes qui ont fasciné l'humanité depuis des millénaires (la place de la Terre dans l'univers, celle de l'homme).

Par ailleurs, la quantité disponible, en 1996, de très belles images de la surface des planètes du système solaire, au sol constellé de cratères d'impacts, était, bien entendu, considérablement supérieure à celle qui pouvait exister 30 ans auparavant du fait des nombreuses sondes spatiales lancées dans l'intervalle (Viking, Voyager, Pioneer 10 et 11, Galiléo). La lecture immédiate de ces images par le visiteur, contrastait avec le décryptage des clichés en noir et blanc des années soixante, et facilitait considérablement la perception du propos scientifique.

D'une manière générale, évoquer l'astronomie dans l'espace du musée, c'est nécessairement toucher à quelques-uns des mystères –qui sortent du quotidien – ayant jalonné l'histoire de l'humanité. Par essence même, les objets d'étude de l'astronomie (galaxies, étoiles, planètes, comètes...) sont hors de portée de l'homme. Les météorites représentent justement les seuls objets de cet ordre à pouvoir être interceptés par la main de l'homme. Elles suscitent à ce titre respect et fascination, comme si, voyageuses de l'espace, elles étaient des intermédiaires entre l'origine de l'univers et celle de l'homme (par exemple, nous pouvons évoquer le film *2001 L'Odyssée de l'espace*, de Stanley Kubrick, dans lequel le monolithe, qui voyage dans l'espace et dans le temps, fournit la Connaissance à l'humanité).

Il est en outre probable que la démystification apportée par l'accroissement des connaissances scientifiques ne diminue en rien le caractère étrange des météorites, bien au contraire. Leur richesse et complexité en données scientifiques ne font que renforcer leur attrait, d'autant que cette démystification se fait par l'intermédiaire de moyens techniques scrutant l'infiniment petit. Comme l'a suggéré le géochimiste Paul Pellas (*Les Météorites*, p. 123), c'est ici, grâce aux météorites, que les deux infinis atteints par télescopes et microscopes se rejoignent.

Tableau 1. Les météorites. Comparaison de la mise en exposition d'un sujet d'astronomie à trente ans d'intervalle

Thèmes	Les cratères	La classification des météorites	Les analyses	L'origine de la Vie	Les corps-parents	La composition et l'âge de la nébuleuse primitive
Actualité scientifique des années 60	– Missions Apollo – Exploration de la Lune	– Fondée sur les teneurs en Ni/Fe et Silicates	– Méthodes d'analyse classiques en minéralogie	– Structures biologiques dans la météorite d'Orgueil	– Parenté supposée entre météorites, astéroïdes et comètes	– Méthodes de dosage des éléments radioactifs
Exposition 1968/69	– Présentation de photos des cratères lunaires	– 3 grandes familles présentées : *Sidérites, *Sidérolithes, *Aérolithes (chondrites et achondrites)	– Explication des méthodes d'analyse pétrographique, minéralogique, chimique	– Présentation de la météorite et des interprétations possibles	– Thème traité assez discrètement	– Âge de 4,5 milliards d'années – Nébuleuse primitive présentée comme homogène
Actualité scientifique des années 80 et 90	– Sondes Galileo, Voyager, Viking – Exploration du système solaire	– Fondée sur le stade de différenciation par rapport à la nébuleuse primitive	– Découverte d'inclusions réfractaires dans la météorite d'Allende en 1973	– Différentes théories divisent la communauté scientifique	– Bonne maîtrise des techniques de spectroscopie appliquée à la minéralogie de surface des astéroïdes – La sonde Galileo photographie des astéroïdes en 1991 et en 1993	– Dosage précis du rapport U/Pb des inclusions de la météorite d'Allende – Découverte de grains présolaires à la fin des années 1980 : la nébuleuse primitive n'est pas homogène
Exposition 1996	– Présentation de photos de cratères sur différentes planètes	– 2 grandes vitrines : * météorites primitives (chondrites carbonées, chondrites ordinaires, chondrites à enstatite) * météorites différenciées (achondrites diverses, lithosidérites, mésosidérites, pallasites)	– Explication des méthodes classiques mais aussi des mesures des anomalies isotopiques	– Présentation de ces théories sous l'intitulé "Controverses"	– Réalisation de dispositifs spéciaux sur les astéroïdes (interactif des trajectoires, maquette animée) – Présentation de photos d'astéroïdes (Gaspra et Ida) – Météorites martiennes et lunaires associées à un fragment de sol lunaire (NASA)	– Âge de 4,566 milliards d'années – Présentation des processus probables de nucléosynthèse qui ont précédé la formation du système solaire.

4. LE CAS PARTICULIER DE LA MISE EN EXPOSITION DU THÈME DES MÉTÉORITES

Située au carrefour entre le savoir et les représentations mentales et affectives du visiteur, l'exposition est un lieu particulier de transmission du savoir. Elle permet une appropriation de ce savoir, sans prétendre être une véritable entreprise éducative.

Concevoir une exposition consiste à déstructurer le sujet choisi en thèmes aisément compréhensibles par le visiteur, puis à reconstruire un parcours intellectuel et physique en fonction d'une logique, celle du concepteur, celle du scénographe (cette logique n'est d'ailleurs pas forcément saisie ou suivie par le visiteur). Il est clair que l'exposition contient une grande part de subjectivité, en amont (conception) comme en aval (appréciation par le visiteur), ce qui la rapproche de la création artistique ou poétique. Déstructurer et restructurer le savoir pour en faire l'objet d'une "œuvre" unique est un travail d'équipe, qui conduit à faire des choix non seulement au niveau scientifique mais aussi au niveau des différentes représentations que peuvent prendre les messages à faire passer. L'illustration en trois dimensions d'objets de très grande taille comme le système solaire, fait inévitablement appel à l'utilisation de modèles (schémas en 1969, maquette tridimensionnelle en 1996), au sens d'objets de substitution (Drouin, 1988). La réalisation d'une maquette animée, présentant les planètes internes du système jusqu'à la ceinture d'astéroïdes, s'est toutefois heurtée aux difficultés de transposition d'échelle. De même que pour les échelles de temps astronomique ou géologique, la modélisation des grandes distances, même avec l'aide de dispositifs audiovisuels présentant des "zoom" reste, semble-t-il, difficilement compréhensible par le public non initié (Pierrard, 1988 ; Dargent, 2001).

l'exposition : un lieu particulier de transmission du savoir

Ainsi, pour l'exposition *"Météorites !"*, lors de la phase de conception, nous nous sommes heurtés à différents problèmes. Les deux principaux concernent les thématiques :

- les thématiques ne sont globalement pas des sujets abordés au quotidien (par les médias en particulier), et sont donc peu familiers (sauf pour les initiés) ;
- les thématiques ne sont pas du même ordre aux yeux du visiteur.

On peut en effet dégager trois types de thématiques :

- celle qui relève de l'histoire, et qui fait appel à l'aventure humaine,
- celle qui relève des faits bruts (chutes, phénomènes lumineux, cratères),
- celle qui relève de la recherche fondamentale (origine du système solaire).

Le concepteur doit faire face à cette disparité en ce qui concerne la transmission des messages et faire en sorte que

ceux-ci restent accessibles au plus grand nombre, en évitant un discours trop savant, en particulier dans la partie qui relève de la recherche fondamentale.

présenter des collections : une activité classique de l'histoire naturelle mais qui a beaucoup évolué

Heureusement, le cas des météorites nous a aussi permis de présenter de nombreux objets (échantillons, ouvrages, outils, matériels de chimie), ce qui, pour un thème traitant de l'astronomie, est plutôt rare. Ce thème entre d'ailleurs typiquement dans le cadre de l'Histoire naturelle (au sens classique du terme) par la présence de la collection de météorites et de sa classification, ce qui a indéniablement rendu la tâche plus facile. Cependant, monter une collection, est un acte muséographique qui a beaucoup évolué en quelques décennies. La collection essaie de montrer une représentation la plus fidèle possible d'un inventaire construit dans une taxonomie telle que les observateurs visiteurs puissent avoir une vision plus claire de la collection, tout en sachant distinguer à quel domaine scientifique elle fait référence. Il apparaît que les expositions scientifiques exigent de plus en plus une muséographie élaborée, de manière à attirer l'attention du visiteur, tout en le mettant en harmonie avec les intentions des concepteurs (Rodrigues Barbosa, 2002). La présentation de la collection des météorites a été tout particulièrement l'objet, en 1996, d'une étude scénographique approfondie de façon à concilier au mieux l'aspect esthétique et les objectifs des concepteurs.

5. CONCLUSION

L'analyse comparative des deux expositions reflète évidemment l'évolution des techniques et des connaissances dans le domaine de l'astronomie, car l'exposition se veut être le miroir (le moins déformant possible) de l'actualité scientifique. Cette analyse souligne en particulier l'accroissement énorme des connaissances sur l'histoire du système solaire. Elle met cependant en scène des thèmes qui traversent le temps, traités différemment, ce qui met en évidence un flux continu d'intérêt pour des sujets particuliers (formation des cratères, classification des météorites, formation des planètes). Par ailleurs, l'évolution muséographique, et en particulier la maîtrise croissante des technologies informatiques dans les expositions (infographie 3D, écrans tactiles, pilotage de systèmes optiques par ordinateur) et le faible coût actuel des dispositifs audiovisuels, permettent au visiteur de retrouver au musée le dynamisme des images auquel il est habitué dans sa vie de tous les jours. Ces techniques lui apportent aussi une aide à la compréhension des modélisations toujours abstraites, puisque hors de portée de ses repères spatio-temporels. Enfin, l'évolution des méthodes de conservation préventive lors de la mise en exposition permet de donner à voir au visiteur beaucoup plus de spécimens que par

le passé, et ce dans une scénographie "d'ambiance" qui favorise la réception des messages scientifiques.

La présentation des thèmes astronomiques constitue et constituera toujours un défi muséographique, qui mérite cependant d'être relevé en raison de la fascination qu'exercent les images, les objets célestes ou les engins spatiaux, et de tout l'imaginaire qui se crée autour des concepts qu'ils soulèvent. La transmission de la science et l'acquisition de connaissances sont certes les buts "avoués" de l'exposition, mais beaucoup de progrès ont été accomplis en quelques décennies pour que grâce à des intentions plus ou moins "cachées", des visiteurs de différentes sensibilités accèdent à ces connaissances.

Jean-Guy MICHARD
Département des Galeries, Muséum national d'Histoire naturelle
Florence RAULIN-CERCEAU
Centre Alexandre Koyré, Muséum national d'Histoire naturelle

BIBLIOGRAPHIE

CERCEAU, F. (1985). Orgueil et préjugés. *L'Univers du Vivant, n° 1.*

Collectif. (1996). *Les Météorites, Carnets d'Histoire Naturelle, Muséum national d'Histoire naturelle.* Paris : Bordas.

DARGENT, O. (2001). *La maquette, au sein d'un musée, est-elle une aide ou un obstacle à la compréhension des échelles en planétologie ?* Mémoire de D.E.A. de muséologie des Sciences Naturelles et Humaines, MNHN.

DROUIN, A.-M. (1988). Le modèle en questions, *Aster, 7.*

MAURETTE, M. (1993). *Chasseur d'étoiles.* Paris : Hachette.

ORCEL, J. *et al.* (1969). *Les Météorites messagères du cosmos et les expériences spatiales, guide du visiteur.* Paris : MNHN.

PIERRARD, M.-A. (1988). Modélisation et astronomie, *Aster, 7.*

RAULIN-CERCEAU, F., MICHARD, J.G. & PERRON, C. (1997). L'exposition temporaire "Météorites !". In *Actes de l'Université d'Été 1996, Mairie de Paris/ M.I.G.T.,* 58 – 67.

RODRIGUES-BARBOSA, C. (2002). *L'expérience esthétique et l'art dans les musées scientifiques et techniques : possibilités de mobiliser un savoir scientifique.* Mémoire de D.E.A. de muséologie des Sciences Naturelles et Humaines, MNHN

LA TERRE, OBJET D'ASTRONOMIE : UN PROJET DE MÉDIATION AVEC LES PLANÉTARIUMS

Gérard Azoulay
Agnès Acker

En s'appuyant sur les représentations issues des observations spatiales, qui ont renouvelé la vision de notre Univers mais aussi de la Terre, nous avons souhaité proposer un renversement de perspective dans un planétarium et offrir la Terre comme objet d'astronomie. Ce projet s'est concrétisée par un spectacle diffusé dans 36 planétariums qu'ils soient en milieu scolaire, urbain ou rural. Une enquête qualitative a été ensuite menée auprès des médiateurs et des publics de ces planétariums pour tenter d'évaluer le résultat de cette approche et son impact.

les activités spatiales sont génératrices d'images inédites qui bouleversent notre vision du Monde

Les dispositifs de médiation, tels les Planétariums, qui sont au contact d'un large public scolaire et familial, sont d'importants utilisateurs d'images et donc de représentations, tant lors des présentations qu'effectuent les animateurs que dans les spectacles enregistrés. Les activités spatiales, quant à elles, sont génératrices d'images inédites, au gré des nouveaux instruments spatiaux qui sont mis en orbite ou des traitements informatiques qui sont effectués sur les mesures faites. Ces représentations issues de l'aventure spatiale, et notamment celles de la Terre, sont-elles utilisées dans les Planétariums au même titre que les images usuelles de l'astronomie ? En effet, le renversement de perspective auquel a conduit la conquête de l'orbite terrestre a-t-il été pris en compte par les dispositifs de médiation d'une part, perçu par leur public d'autre part ? De fait, la Terre est-elle considérée à ce titre comme un objet d'astronomie à part entière ?

C'est la question centrale qui a guidé la construction de notre action et à laquelle nous allons tenter d'apporter des éléments de réflexion. Tout d'abord, nous avons souhaité revenir sur l'apport des outils spatiaux dans la production des images astronomiques et particulièrement celles de la planète Terre. Puis, nous avons abordé la définition du projet proprement dit et sa mise en œuvre. Ce n'est qu'ensuite que nous avons commenté les réactions des publics concernés.

Précisons enfin que notre projet ne se présente pas comme une démarche de recherche en sciences sociales, pour laquelle nous ne possédons ni les outils d'analyse, ni la compétence, mais s'inscrit plutôt comme le témoignage d'une expérimentation en grandeur réelle conçue avec certains présupposés.

1. CONSIDÉRATIONS LIMINAIRES

les images qui reproduisent de multiples facettes d'un même univers, en arrivent à nous faire douter du réel et surtout de son unicité

Les représentations générées par les nouveaux outils de l'imagerie scientifique témoignent de la diversité des domaines explorés par la curiosité scientifique. L'accès à l'Espace, en s'affranchissant de l'atmosphère terrestre, a ouvert de nouveaux champs à ces investigations. Que ce soit à travers l'imagerie X, Gamma, infrarouge ou visible, à travers des capteurs radars ou encore le résultat de modèles numériques, les images qui reproduisent de multiples facettes d'un même univers, en arrivent à nous faire douter du réel et surtout de son unicité (Serres M., Farouki N., 1999).

L'augmentation des moyens spatiaux : satellites, sondes, télescopes et la diversité de leurs capteurs font que ces représentations sont aujourd'hui réalisées en grand nombre par le milieu scientifique. La complexité des codes qu'elles utilisent, les multiples sens des gammes de couleurs employées ne sont pas toujours aisément compréhensibles par le non-spécialiste. Pourtant, diffusées dans les médias, employées comme illustrations de discours, ces images prolifèrent et la césure avec les non-experts semble s'accroître (Soubès-Vergé I. 2002).

Compte tenu de la position privilégiée de l'Observatoire de l'Espace dans ce dispositif de production d'images, il nous a paru important de construire un procédé explicite de transmission de ces différentes visions à un public profane. Nous nous sommes plus particulièrement attachés aux représentations issues de l'emploi de ces outils spatiaux pour l'observation et l'étude de la Terre ; elles ont profondément bouleversé l'appréhension que nous avions de notre propre monde.

il nous a donc paru important de construire un procédé explicite de transmission de ces différentes visions à un public profane

Pour tenter d'évaluer la perception que pourrait en avoir le public, nous nous sommes tournés vers le réseau des Planétariums dont le public est traditionnellement attiré par l'astronomie classique avec les questions suivantes :

- Au sein de ce type d'établissement, de quelle façon ces nouvelles représentations sont-elles ressaisies par les médiateurs que sont les animateurs de Planétariums afin de les partager avec leur public ?
- Ce processus de médiation s'applique-t-il aussi bien à l'ensemble des objets d'astronomie qu'à la Terre ?
- Le public habituel des Planétariums adhère-t-il à la démarche sur la base d'un projet orienté vers les représentations de la Terre ou cela draine-t-il une nouvelle catégorie de public attiré par cette approche ?

Mais que sont précisément ces représentations issues de l'Espace et comment se sont-elles construites ?

2. CHANGEMENT D'ÉCHELLE

l'aventure spatiale, en s'affranchissant de l'atmosphère terrestre, a permis aux astronomes de prolonger les observations au sol et d'approfondir notre connaissance de l'Univers

Jusqu'aux années 60, l'astronomie, science du regard par excellence, était restreinte à des fenêtres d'observations bien particulières du fait de l'extinction de certaines radiations par l'atmosphère terrestre. Seuls certains rayonnements étaient détectables ; astres et planètes ne pouvaient donc être observés que partiellement. L'aventure spatiale, en s'affranchissant de l'atmosphère terrestre, a permis aux astronomes de prolonger les observations au sol et d'approfondir notre connaissance de l'Univers. En s'ouvrant surtout à de nouveaux domaines de longueurs d'ondes tels ceux de l'infrarouge lointain, du X et du gamma, elle a radicalement modifié notre vision du ciel et les représentations qui ont été construites grâce aux instruments utilisés par l'astronomie traditionnelle. Tant que les astres étaient observés dans le visible, ils concouraient à une vision du ciel paisible où tout était immuable. La conquête des domaines X et Gamma a révélé un ciel violent, où des phénomènes extrêmement énergétiques se déroulent – supernovae, pulsars, trous noirs – bouleversant déjà notre appréciation de l'Univers. L'observation dans le domaine infrarouge a permis de traverser les zones denses de poussières opaques au rayonnement visible et a dévoilé de véritables pouponnières d'étoiles ; de plus, l'accès à l'infrarouge très lointain a permis d'atteindre les galaxies primordiales situées à de très grandes distances et dont le rayonnement est très fortement décalé vers les grandes ondes du fait de l'expansion de l'Univers.

Trois domaines, trois exemples de longueurs d'ondes pour souligner que chaque image recèle une partie de l'information sur notre Univers, encore que, précisons-le, les images sont déjà un choix de représentation déterminé selon l'information scientifique recherchée. Mais surtout cette pluralité d'images a permis de construire une autre représentation de notre Univers que celle du XIXe siècle. Un univers en évolution constante qui ne pourrait être appréhendé dans sa globalité qu'après en avoir épuisé les multiples aspects, chacun lié à un domaine observationnel : tel est l'apport des outils spatiaux à l'astronomie classique.

l'appréhension d'un univers en évolution constante qui ne peut être perçu dans sa globalité : tel est l'apport des outils spatiaux à l'astronomie classique

3. CHANGEMENT DE PERSPECTIVE

L'accès à l'orbite terrestre a également induit une rupture vis-à-vis de notre planète en permettant de franchir la biosphère et de s'intéresser à la Terre au même titre que Mars ou Venus. L'apport capital en ce domaine des outils spatiaux fut de pouvoir en réaliser l'observation globale, répétitive dans le temps et surtout multispectrale. Les représentations issues de ces observations ont renouvelé la vision, la perception de la Terre et des phénomènes qui s'y déroulent.

Une difficulté intrinsèque demeure cependant liée à la représentation de notre planète. En effet, une mappemonde n'est jamais qu'une construction des techniques et de l'esprit humain. Elle n'a jamais réellement existé. Parce que la Terre est ronde, les cartes qui la représentent doivent user de méthodes de projection. Parce qu'elle tourne sur elle-même et autour du soleil, elle n'est éclairée que partiellement et de manière hétérogène à chaque instant.

Lorsqu'on se place du point de vue des regards mécanisés des satellites qui occupent l'orbite terrestre, tout se complexifie. En effet, les représentations construites à partir des observations des satellites témoignent de phénomènes de distorsion spatiale et temporelle. Les représentations sont issues de capteurs de différentes natures, d'observations faites à différentes échelles spatiales ainsi qu'à différentes échelles temporelles, ou encore de modèles numériques. Examinons schématiquement à quoi chaque catégorie correspond en terme de représentation.

De manière identique à l'observation de l'univers, les différents capteurs utilisés pour étudier la Terre révèlent des aspects, des caractéristiques, inconnues, invisibles des cartographes du passé. Michel Serres (1), faisant référence aux satellites d'altimétrie pointe à juste titre que *"Les satellites dévoilent les choses cachées depuis la fondation des continents sur le plancher des océans et le train de leur évolution."*. Que ce soit les images météorologiques, les compositions colorées qui nous indiquent l'état des récoltes, les mesures d'altimétrie qui nous renseignent sur le niveau des mers, chaque représentation concourt à montrer le spectacle de la variété de la Terre.

l'observation globale depuis l'Espace invente une Terre recomposée

L'observation globale depuis l'Espace invente une Terre recomposée : quatre satellites météorologiques sur une orbite géostationnaire permettent de reconstituer une vision globale de la Terre pour ce qui concerne l'état de l'atmosphère et sa météorologie. L'observation spatiale condense en une vision instantanée des phénomènes qui se déroulent dans le temps : les mesures d'altimétrie de la totalité des océans réalisées en dix jours par le satellite océanographique Topex-Poseidon fournissent une vision reconstituée de l'état des mers, une observation complète de la biosphère réalisée en vingt-six jours par le satellite SPOT 5 permet de construire une Terre des surfaces émergées.

Si on s'intéresse maintenant aux variations temporelles, le satellite permet l'observation réitérée d'une zone géographique spécifique. Ainsi, les observations effectuées depuis l'Espace mettent en évidence le caractère évolutif, dynamique, de l'environnement terrestre : modifications physi-

(1) SERRES M. : Introduction in SERRES M. & FAROUKI N.(Eds) (1997).

ques, géologiques, agricoles ou encore hydrologiques. Cette échelle de temps est extrêmement variable selon les phénomènes observés : cela peut concerner des phénomènes directement liés à l'action de l'homme sur des longues périodes comme les feux observés sur la planète ou l'évolution de la mer d'Aral, ou bien des phénomènes naturels comme la variation de la température de surface des océans. En terme de restitution, les mesures spatiales permettent de faire bouger les représentations, de les animer, condensant dans un espace donné les phénomènes qui s'y sont déroulés et constituent là encore une rupture complète avec les visions fixistes des cartographes du début du XXe siècle (Berque A. 1992).

l'observation spatiale condense en une vision instantanée des phénomènes qui se déroulent dans le temps

Cet aspect dynamique n'est pas aussi simple à accepter qu'on pourrait le croire. La nature reste, pour beaucoup d'entre nous, une réalité fixée une fois pour toutes, ou du moins dont les variations sont connues et limitées – à l'instar de l'astronomie du XIXe siècle. La réalité appréhendée par les techniques satellitales échappe à l'observateur et il est indispensable de construire des représentations qui traduisent, en donnant à voir et à comprendre, les phénomènes mesurés (Pelletier M. 1998). Citons pour exemple les surprenants diagrammes d'interférométrie radar constitués à partir d'observations recueillies sur un même endroit, mais avec un léger décalage dans le temps. Leur interprétation permet d'établir des cartes des mouvements du sol.

la réalité appréhendée par les techniques satellitales échappe à l'observateur et il est indispensable de construire des représentations des phénomènes mesurés

Reste le dernier type de représentations, celles qui représentent une Terre qui n'a pas encore existé, celles qui sont issues des modèles numériques. Elles permettent, par exemple, de visualiser l'état de l'océan, sa température, sa turbulence, plusieurs jours avant sa réalité, ou encore celles de la météo de demain, images plus connues du public.

4. ET LE PUBLIC ?

La question pendante est de savoir de quelle façon les médiateurs des Planétariums se sont appropriés ces nouvelles représentations construites à partir des observations spatiales et comment elles ont été transmises au public lorsque cela a été le cas. En ce qui concerne l'observation du ciel, les nouvelles représentations issues des outils spatiaux se trouvèrent en phase avec une attente légitime du public, informé par la publicité opérée par les média autour des instruments nouveaux qui les produisent : télescope spatial Hubble, sonde planétaire Voyager, mission cométaire Giotto, etc. Mais, précisons-le une fois de plus, la lecture de ces images inhabituelles n'est possible qu'à condition que le "code d'accès" en soit fourni.

comment les médiateurs des Planétariums se sont appropriés ces nouvelles représentations ?

En ce qui concerne les représentations de la Terre, qui, elles, ne répondaient pas directement à une attente du public, elles constituent le principal enjeu du projet de l'Observatoire de

l'Espace (2) du Centre National d'Études Spatiales (CNES) et de son partenariat avec l'Association des Planétariums de Langue Française (APLF).

5. LE PARTENARIAT DE L'OBSERVATOIRE DE L'ESPACE DU CNES ET DE L'APLF

un partenariat avec l'APLF pour produire un spectacle qui présente les diverses représentations de la Terre observée depuis l'Espace

Le déploiement du partenariat avec l'APLF (3) s'est construit autour d'un projet extrêmement motivant pour introduire l'apport des outils spatiaux dans des lieux *a priori* dédiés à la présentation d'une astronomie plus traditionnelle : la conception et la production d'un spectacle pré-enregistré dont le contenu allait s'ouvrir largement aux représentations de la Terre observée depuis l'Espace. Concrètement, cela revenait à imaginer un dispositif original qui permettrait de prendre en compte la spécificité technique de la majorité des Planétariums pour qu'ils diffusent simultanément un même spectacle "*la planète aux mille regards*" et donc de toucher le public le plus large afin d'apprécier au mieux l'impact du contenu du programme.

6. LE PROJET DE "LA PLANÈTE AUX MILLE REGARDS"

chaque structure pouvait adapter ce spectacle à ses moyens de diffusion sans altérer le sens général du programme

L'univers des planétariums étant profondément hétérogène, la difficulté d'un tel projet, on le pressent aisément, résidait d'abord dans l'élaboration d'un processus permettant de réaliser non pas un spectacle unique, mais différents niveaux de spectacle accompagnés des outils indispensables à leur bonne intégration dans des contextes de projection variés. L'objet d'un tel préalable technique était de créer les conditions favorables à l'utilisation du contenu par l'ensemble de la communauté des Planétariums. En effet, les choix techniques de production de ce spectacle ont fait que chaque structure pouvait se réapproprier les différents éléments constitutifs du spectacle et l'adapter à ses moyens de diffusion sans altérer le sens général du programme. L'opération fut un succès, puisqu'en 2001, 37 Planétariums francophones qu'ils soient en milieu scolaire, urbain ou rural diffu-

(2) L'Observatoire de l'Espace, créé par le CNES au début 2000, a pour mission de partager les connaissances issues de l'Espace avec les établissements culturels sur l'ensemble du territoire.

(3) Depuis 1984, les Planétariums francophones ont décidé d'unir leurs compétences, leurs diversités, et leurs moyens ; ils ont constitué en 1989 l'Association des Planétariums de Langue Française (APLF) au sein de laquelle ils œuvrent de concert, avec un soutien du ministère de la Recherche et d'institutions scientifiques.

saient le spectacle et nombreux sont ceux qui le diffusaient encore en 2002 et en 2003.

Sur un mode narratif, ce spectacle propose aux visiteurs un récit croisé entre la Terre et un observateur extérieur. C'est ainsi que se déroule l'histoire de la planète depuis sa formation jusqu'à nos jours, des premières représentations cartographiques jusqu'à l'observation qu'en font les multiples satellites en orbite autour d'elle et des différentes images qui sont produites, dévoilant autant d'aspects inédits. Par son choix initial, ce programme a été conçu comme un spectacle. Les représentations de la Terre utilisées sont souvent mises en scène avec une certaine théâtralisation (Moutin M., 2002).

Le programme de ce spectacle s'articule autour de trois parties :

- La Terre depuis sa formation et son origine, jusqu'à la conception des premières cartes globales, ce qui relève donc d'une vision pré-spatiale ;
- La révolution spatiale et l'accès à l'espace, ce qui est illustré par le fait de pouvoir observer la planète dans sa globalité selon les thématiques suivantes :
  - La compréhension des phénomènes naturels qui traversent la Terre (sismicité, volcanisme, etc.) ainsi que la variabilité naturelle du climat (Effet de serre, anomalie climatique de type El Niño),
  - L'interaction de l'homme avec son environnement sous l'angle de la gestion des ressources naturelles (ressources agricoles, déforestation, mer d'Aral),
  - L'influence de l'homme sur l'évolution du climat à long terme (fonte des glaces, désertification et élévation du niveau des mers) ;
- Une partie conclusive destinée à sensibiliser le visiteur sur son rôle dans la préservation de l'environnement. Les satellites, et donc les scientifiques qui les utilisent, fournissent des éléments d'informations. La décision est l'affaire de tous (Duplessy J. C. & Morel P., 1990).

imagerie se référant en partie à des environnements connus ou vécus par le public...

À l'exception de ciel étoilé produit par le planétaire, une part de l'imagerie se réfère à des environnements connus ou vécus par le public : la pollution, les inondations, les feux, les tremblements de terre et leurs destructions. Cette imagerie est surprenante uniquement dans son traitement graphique. L'autre partie de l'imagerie relève des problématiques environnementales portées par l'actualité : surveillance climatique, modification de l'effet de serre, prévention des risques (inondations, sismique, feux). Ces représentations sont, elles, issues de l'imagerie spatiale et sont appelées en contrepoint de l'imagerie traditionnelle. Ces images ne sont pas toujours faciles à décrypter, font appel à des codages complexes de couleurs ou à des systèmes de représentations pour traduire l'information.

...relevant en partie des problématiques environnementales portées par l'actualité

Le choix d'un dispositif narratif permet d'expliciter et de commenter en permanence les représentations qui sont

montrées. La "voix de la Terre" est descriptive, la voix du narrateur plus analytique.

En définitive, la Terre, cette fois, n'est pas considérée comme point d'observation du ciel ou point du système solaire. L'objectif est bien de provoquer un renversement de perspective dans un Planétarium – donc de situer le visiteur dans l'Espace. Ce renversement doit questionner le visiteur puisque habituellement la Terre n'est pas pour lui un objet d'astronomie alors qu'elle l'est pour les scientifiques. Les satellites en orbite autour de notre planète en délivrent de multiples visions ainsi que nous l'avons décrit précédemment.

7. LES RÉACTIONS

appréhender les différentes réactions suscitées par ce projet à travers la perception des animateurs

Le premier résultat d'un tel spectacle de Planétarium sur le thème inédit de *"La planète aux mille regards"* est de permettre au public de ces établissements de découvrir de multiples représentations de la Terre auxquelles il n'a usuellement pas accès, et de jeter un pont entre les producteurs de représentations qui gravitent autour du CNES et les médiateurs regroupés au sein de l'APLF. Nous avons tenté d'appréhender les différentes réactions suscitées par ce projet.

Une enquête qualitative a été menée auprès des médiateurs et des publics de ces Planétariums pour tenter d'évaluer le résultat de cette approche et son impact. Les questions que nous pouvions nous poser étaient les suivantes :

- Le public habituel des Planétariums se sentirait-il concerné par ces représentations de la Terre, les comprendrait-il ou y aurait-il un rejet global ?
- En ce qui concerne le public scolaire et enseignant, comment réagirait-il vis-à-vis de cette nouvelle problématique ?
- Enfin le public attiré par ce spectacle était-il le même que celui qui fréquente habituellement les Planétariums ? Ou tout au contraire, cette nouvelle approche a-t-elle généré une autre catégorie de public, attirée par la problématique liée à l'environnement ?

le public est essentiellement constitué de groupes scolaires

Le spectacle a été présenté depuis le 18 avril 2001 dans la majorité des Planétariums engagés dans le projet, à raison de trois à vingt et une fois par semaine, y compris les dimanches. Le public est majoritairement scolaire, car des visites sont régulièrement organisées par les écoles, le public familial représente environ 40 %. Sur les 37 Planétariums participant à l'opération, seuls 10 ont répondu à l'enquête, ceux de Bretagne, Bruxelles, Cappelle-la-Grande, Monts-de-Guéret, Nîmes, St-Etienne, Ste-Geneviève-des-Bois, Strasbourg, Toulouse, et Vaulx-en-Velin.

Il nous faut encore préciser que les questionnaires que nous avions établis étaient destinés à des animateurs de planétariums et que nous n'avons jamais directement interrogé les visiteurs. Le recueil des informations s'est fait ensuite de deux manières, soit par interview des animateurs ou responsables de structures, une quinzaine à peu près, soit par dépouillement des réponses écrites – une dizaine. Dans les planétariums, les animateurs, pour remplir les questionnaires ou répondre à nos interviews, interrogeaient globalement les spectateurs à la fin de chaque séance, ce qui recouvre une population d'un millier de personnes (Huyard P., 1997).

Le grand public a montré un réel enthousiasme pour le spectacle, le trouvant étonnant, esthétique et surtout accessible. Par ailleurs le spectacle fait prendre conscience de la fragilité de notre planète. C'est ce que relèvent et apprécient les représentants des collectivités publiques. C'est aussi le commentaire généralement entendu dans les Planétariums les plus modestes (recevant une trentaine de visiteurs, donc pouvant plus aisément interagir avec le public), où des visiteurs très sensibilisés aux problèmes de l'environnement ont exprimé leur grand intérêt.

Cependant plusieurs visiteurs ont regretté que le ciel étoilé du Planétarium n'ait pas été mieux exploité ; ce public averti – qui vient à chaque nouveau programme – attend du Planétarium un sujet d'astronomie qui l'emmène aux confins de l'Univers. Les représentations de notre "petite" Terre faisant l'objet de "*la planète aux mille regards*" empêchent l'évasion et le rêve tels qu'ils sont souhaités par ces visiteurs.

En ce qui concerne le public scolaire, une majorité d'élèves et la plupart des professeurs de collège et lycée ont apprécié le spectacle, qui cible la Terre et apporte ainsi un nouveau chapitre aux démonstrations classiques des Planétariums. Des phénomènes souvent mal vulgarisés (comme l'effet de serre, l'effet *El Niño*) ont été bien présentés et illustrés, ce qui fut spécialement apprécié par les professeurs de Sciences de la Vie et de la Terre. Cependant, certains enseignants jugent l'analyse trop superficielle car balayant trop rapidement de nombreux phénomènes. De plus, à l'inverse du public scolaire, certains enseignants n'ont pas apprécié que le scénario utilise un subterfuge narratif : transformer la Terre en un acteur à part entière du spectacle afin qu'elle puisse intervenir dans la problématique et s'exprimer au même titre que le narrateur. Ce choix de médiation est apparu en contradiction avec les approches prônées habituellement.

à l'inverse du public scolaire, certains enseignants n'ont pas apprécié que le scénario utilise un subterfuge narratif

Pour les élèves du primaire, le spectacle a été jugé pédagogique pour les élèves de cours moyen (9-11 ans), mais difficilement abordable pour les plus jeunes, d'où la nécessité de le compléter par des explications données par les animateurs. En particulier, le petit Planétarium de Ste Geneviève des Bois a renforcé ce spectacle par une mini-exposition commentée à

l'entrée et un débat de dix minutes en fin de séance (Martin P. & Nicolle L.,2002)

Un autre constat négatif, partagé par le public et les animateurs : beaucoup de sujets sont évoqués dans les trente minutes du spectacle, mais les notions n'ont pas été réellement explicitées pour un public néophyte. Au vu du nombre et de la complexité des notions scientifiques, de nombreux animateurs (connaissant l'astronomie mais pas la Terre) regrettent l'absence de support documentaire pour les aider dans les explications à formuler aux spectateurs.

trop de sujets sont évoqués, de fait les notions n'ont pas été réellement explicitées pour un public néophyte

8. CONCLUSION

L'aspect soigné de la réalisation, des images inédites, une composition sonore originale, le talent des comédiens pour interpréter les textes, a largement contribué à une bonne diffusion dont les média se sont fait l'écho. En effet, la presse a réservé un bon accueil au spectacle, avec 30 articles nationaux et 41 articles régionaux. On a recensé de plus 11 passages TV et 15 citations radio. Ce bon résultat a peut-être occulté un effet important, à savoir que le public semble être d'abord venu voir un spectacle plutôt qu'une approche autre de l'astronomie. La question légitime que l'on pourrait se poser est de savoir si le dispositif de médiation ne l'a pas finalement emporté sur le projet culturel.

A contrario, si l'on s'interroge sur les motivations réelles des visiteurs de Planétariums et que l'on tente de départager entre le rêve que provoque le ciel étoilé, et la réactualisation de ses connaissances sur l'astronomie, on se rend compte que la véritable motivation est certainement à mi-chemin de ces deux options. Pour le rêve, le dispositif technique – le planétaire – se suffit à lui-même et ne demande pas d'apports extérieurs. Pour la réévaluation des connaissances en astronomie, le chemin semble tout autre et passe par l'animateur qui prépare le visiteur, l'accompagne dans le spectacle qui est présenté au Planétarium.

le public semble être venu voir un spectacle plus qu'une approche autre de l'astronomie

Or, on l'a bien noté, ce maillon demeure, en ce qui concerne l'imagerie spatiale relative à la Terre, la partie faible du dispositif de médiation, car les animateurs œuvrant dans les Planétariums sont confrontés à des représentations variées, complexes, toujours en évolution, qui offrent parfois une lisibilité faible et de nombreux contresens sont possibles

C'est donc tout un travail de formation qu'il faut reconsidérer. Pour que les représentations issues de l'imagerie spatiale viennent enrichir la culture du public, il faut qu'elles soient d'abord assimilées par les médiateurs que sont les animateurs des Planétariums. Ensuite viendra le travail de restitution auprès du public. C'est à ce prix que la Terre, à travers son entrée au Planétarium, prendra pleinement son

il faut reconsidérer la formation des animateurs des Planétariums, ensuite viendra le travail de restitution auprès du public

statut de corps astronomique et s'insérera dans la continuité des connaissances qui permettent d'appréhender notre univers.

Gérard AZOULAY
Observatoire de l'Espace, Centre National d'Études Spatiales
Agnès ACKER
APFL, Observatoire de Strasbourg

BIBLIOGRAPHIE

BERQUE, A. (1992). Espace, milieu, paysage, environnement. In *Encyclopédie de la Géographie sous la direction de Bailly et al.* Ed. Economica

DUPLESSY, J.C. & MOREL, P. (1990). *Gros temps sur la planète*, Paris : Éd. Odile Jacob.

HUYARD, P. (1997). Planétariums et Scolaires : Séance pour les scolaires et évaluation. *Revue Planétariums 1995*, p. 20.

MARTIN, P. & NICOLLE, L. (2002). La Planète aux mille regards : Compléments au Spectacle, *Revue Planétariums 2002*, p. 26.

MOUTIN, M. (2002). La Planète aux mille regards : Retour sur une production originale. *Revue Planétariums 2002*, p. 23.

PELLETIER, M. (Dir) (1998). *Couleurs de la Terre, des mappemondes médiévales aux images satellitales,* Paris : Éd. Seuil/Bibliothèque Nationale de France.

SERRES, M. & FAROUKI, N. (1999). *Paysage des sciences*, Paris : Éd. le Pommier-Fayard.

SERRES, M. & FAROUKI, N. (1997). *Le Trésor, dictionnaire des sciences*, Paris : Éd. Flammarion.

SOUBÉS-VERGÉ, I. (Dir) (2002) – l'Espace, enjeu politique. *Revue Hermes, n° 34.*

STROBEL, J.-C. (1997). Planétariums et Scolaires : La culture scientifique en crise ? Planétarium mode d'emploi. *Revue Planétariums*, p. 40.

ENSEIGNER L'ASTRONOMIE : L'EXPÉRIENCE DE 25 ANS D'ACTIVITÉ DU COMITÉ DE LIAISON ENSEIGNANTS ET ASTRONOMES (CLEA)

Lucienne Gouguenheim

Le CLEA est une association qui réunit des enseignants et des astronomes professionnels qui veulent ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement. Ils focalisent leur action sur la formation des enseignants et la réalisation de matériel pédagogique.

1. LA CRÉATION DU CLEA

promouvoir l'astronomie dans les classes

Le CLEA a été créé pour répondre à une requête formulée, lors de l'Assemblée Générale de l'Union Astronomique Internationale (UAI) qui s'était tenue à Grenoble en 1976, par la Commission "Enseignement de l'Astronomie" de l'UAI, qui nous avait chargés d'organiser une rencontre et des débats sur l'enseignement de l'astronomie dans les écoles françaises. Notre perplexité fut grande car, à cette époque, l'astronomie était totalement absente des programmes de notre pays. Cependant, en nous adressant aux associations professionnelles d'enseignants, dont l'UdP et l'APMEP (1), nous n'eûmes pas de peine à réunir plus de cent participants, enthousiastes, qui témoignèrent de leurs expériences de clubs d'astronomie ; à l'issue de la rencontre, ils adoptèrent des résolutions pour promouvoir l'astronomie dans les classes : *"Les chercheurs et les universitaires doivent répondre à la demande qui se dégage chez les enseignants : favoriser la réalisation et la diffusion au niveau de tous les établissements de documents audiovisuels, mettre au point des ouvrages de base destinés aux enseignants, organiser des écoles d'été, dont le principe est retenu.".*

une aventure commencée en 1976

La grande aventure a commencé ce 2 septembre 1976 avec la promesse, rapidement suivie d'effet, des astronomes de répondre à la demande exprimée par les participants. Nul n'imaginait alors où cette aventure devait nous conduire. La première École d'Été (elle allait être reconduite régulièrement chaque année jusqu'en 1998), eut lieu en été 1977 à Lanslebourg-Mont-Cenis ; le premier numéro de notre revue "Les Cahiers Clairaut" parut au printemps 1978 et fut suivi régulièrement depuis, à raison de quatre numéros chaque année :

(1) UdP : Union des Physiciens (UdPPC : union des professeurs de physique et de chimie depuis le 14 juin 2003)
APMEP : Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public

Les Cahiers Clairaut
Printemps 2003 n° 101

EDITORIAL

Le numéro 100 et ses belles photos en couleur n'était pas le bouquet final d'un feu d'artifice.

Le présent numéro démarre fièrement une nouvelle centaine en réaffirmant l'esprit CLEA. Il propose de nombreuses activités à faire en classe depuis la maternelle jusqu'au lycée, nous incite à observer le transit de Mercure, nous replonge dans l'histoire et inaugure une série de reportages sur les horloges astronomiques.

Ce numéro vous présente aussi le compte rendu de l'A.G. du CLEA, moment important de la vie de notre association, d'autant plus qu'il nous a permis de rendre hommage à Lucienne, qui par son activité sans relâche a *permis au* CLEA d'être ce qu'il est, et d'accueillir Georges comme nouveau président. Georges qui nous offre la suite de son article sur le pendule de Foucault.

En feuilletant ce numéro vous penserez à Martine qui avec un grand courage et sa rigueur coutumière en a assuré la rédaction... Merci Martine...

La Rédaction

Avec nos élèves

La lumière et les ombres
Niveau primaire
Dominique Glatz et Jacques Montoya
p. 2

Un clown pour expliquer le fonctionnement d'un cadran sphérique
Niveau collège
Daniel Toussaint
p. 7

Evaluation de la distance d'un objet photographié
Niveau seconde
Gilles Guillemin
p. 10

Détermination de la distance à M100 à l'aide des étoiles variables Céphéïdes
Niveau lycée
p. 12

Article de fond

Le pendule de Foucault : la physique du phénomène en images
Georges Paturel
p. 17

Reportages

L'horloge astronomique de Stendal
Paul Gagnaire et Charles-Henri Eyrault
p. 22

Histoire

Peiresc
Jean Ripert
p. 25

L'astronomie dans l'enseignement secondaire aux 18e s et 19e s
Colette Le Lay
p. 28

Observations

Observer le passage de Mercure devant le Soleil
Daniel Bardin et Roger Marical
p. 31

Vie associative

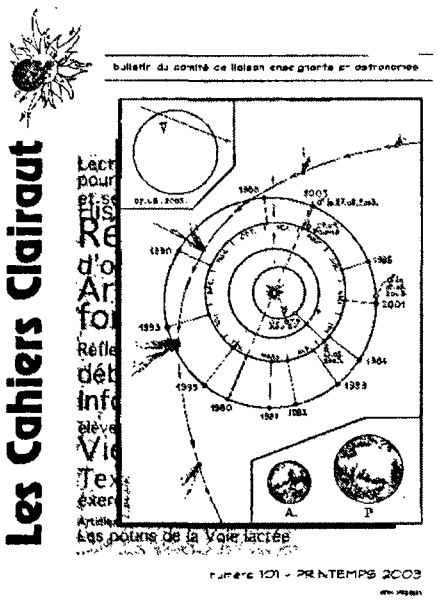
Compte-rendu de l'AG 2002
Jean Ripert

Les Cahiers Clairaut, lieu d'expression
Georges Paturel

Ecoles d'été
Jean Ripert et Josée Sert
p. 33

Martine Bobin
p. 40

le numéro 101 est paru au printemps 2003. Le sommaire (ci-contre) permet de constater la variété des articles : chaque numéro contient un article de fond de bon niveau scientifique, des propositions d'activités pour les élèves de tous niveaux scolaires, des articles d'histoire...



2. POURQUOI ENSEIGNER L'ASTRONOMIE ?

Le choix d'enseigner l'astronomie de l'école élémentaire au premier cycle universitaire ne relève pas de la défense d'une discipline, aussi riche et passionnante soit-elle, mais de l'intérêt extrascolaire que lui portent les élèves et de ses finalités éducatives qui sont de montrer la place de l'Homme dans l'Univers, l'universalité des phénomènes et des lois qui les expliquent et de fournir enfin une belle illustration de la démarche scientifique.

L'astronomie est sans nul doute aujourd'hui l'une des sciences pour lesquelles le public manifeste le plus d'intérêt ; on peut dire qu'elle a fortement influencé la perception que l'homme a de lui-même et de son environnement, et cela depuis des millénaires, et qu'elle constitue un excellent exemple de l'interaction entre la science, la culture et la technologie, dans tous ses aspects historiques et contemporains.

l'Astronomie : une des sciences pour laquelle le public manifeste le plus d'intérêt

Elle peut donner une idée de l'unité de la science. Son enseignement peut contribuer à la compréhension des lois physiques, aussi bien à l'échelle humaine qu'à celle du cosmos, et

donner une vision structurée et scientifique de notre monde en appréciant le caractère unique que revêt la Terre pour l'espèce humaine, localisant dans l'espace et dans le temps la niche que nous occupons. C'est ainsi que l'astrophysicien Evry Schatzman rappelait dans les Cahiers Clairaut (numéro 39-40, 1987) le caractère universel des lois physiques qui rendent compte du monde, l'interaction entre progrès scientifiques et progrès techniques, et discutait le caractère particulier de l'astronomie : *"Ce qui est à la fois un avantage et un inconvénient de l'astronomie est son lien millénaire à la vie humaine, avec tout le symbolisme qui a été vu dans le mouvement des astres, véritable projection de l'âme humaine sur le ciel. Reconnaître la réalité physique des astres et de leurs propriétés, c'est un peu aussi chasser les dieux du ciel et se retrouver face à face avec une autre réalité : la réalité des sociétés humaines. C'est renvoyer l'homme à la nécessité de se prendre en charge"*.

découvrir la démarche scientifique...

Elle offre une multitude d'exemples exploitables, sur le plan pédagogique, de ce qu'est une démarche scientifique. L'astronomie constitue aussi une science en soi, avec ses méthodes (observation à distance, utilisation d'autres domaines scientifiques comme outils...) et ses problématiques (problèmes d'évolution, d'origine...). Elle mérite donc mieux que d'être utilisée comme seul champ d'applications pour illustrer des lois physiques.

...à travers une approche pluridisciplinaire...

Elle peut enfin servir de tremplin pour accéder à de nombreux autres domaines de la connaissance et des activités humaines. Son caractère pluridisciplinaire constitue un double intérêt : donner l'occasion de montrer aux élèves que la connaissance n'est pas aussi morcelée que ce qu'elle apparaît au sein des programmes et montrer que les avancées de la connaissance se font justement par des approches de nature pluridisciplinaire ; c'est aussi un handicap, dans la mesure où les enseignants sont très spécialisés et où le travail en équipes pédagogiques reste difficile.

3. LES MÉTHODES DU CLEA

...en partenariat avec des scientifiques

Le CLEA s'est créé à partir de la rencontre d'une part d'un petit nombre d'enseignants motivés (de tous niveaux et de disciplines variées) qui savaient exprimer leurs besoins et, d'autre part, d'astronomes qui ne concevaient pas cette tâche de formation comme une simple vulgarisation de leur propre recherche. Ils ont beaucoup dialogué, confronté des expériences, des savoir-faire... S'est ainsi formé un noyau d'"animateurs", astronomes ou enseignants, qui fonctionne en tant que groupe, par échanges et feed-back. Ce noyau a formé des animateurs locaux, a essaimé, en gardant constant le principe de production basée sur les échanges au sein d'un groupe de réflexion.

des outils que les enseignants peuvent utiliser pour construire eux mêmes leur propre démarche

Le CLEA, qui est structuré avec des correspondants dans presque toutes les académies, a ainsi pour objectif essentiel de fournir aux enseignants des outils (intellectuels et pratiques) leur permettant de construire eux-mêmes leur propre démarche. Il se refuse donc à diffuser des "Travaux Pratiques clés en main".

Par ailleurs c'est toujours sur la base d'observations que sont envisagées les séances, même quand des documents de substitution sont proposés (par exemple, l'observation des taches solaires qui permet de déterminer la vitesse de rotation du Soleil ; les phases de la Lune ; le mouvement de rétrogradation des planètes ; l'interprétation d'un spectre solaire ou stellaire, ou encore Saturne et ses anneaux, comme dans le document 1).

Document 1. Dessin tiré d'une photographie de Saturne prise de la sonde spatiale Voyageur 1)

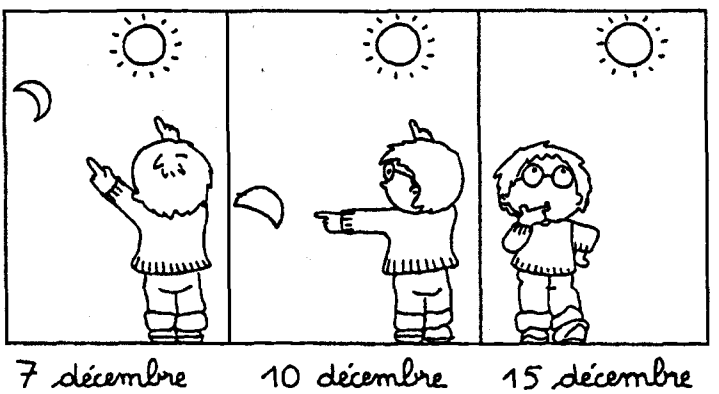
Une sonde spatiale appelée Voyager 1 est passée près de la planète SATURNE, l'a photographiée et envoyé la photo à la TERRE au moyen d'ondes radio.
Le dessin ci-dessus représente cette photo.
Comme la TERRE, SATURNE a la forme d'une boule, mais elle est beaucoup plus grosse que la TERRE et elle est située très loin du SOLEIL ; de plus, elle est entourée de nombreux ANNEAUX.
Ces anneaux sont séparés les uns des autres et forment un disque plat et mince qui tourne autour de la planète.
SATURNE et ses ANNEAUX sont éclairés par le SOLEIL.

Observe bien ce dessin :
- Pourquoi ne voit-on que la partie droite de SATURNE ?
-
- Pourquoi y a-t-il une large bande noire à gauche sur tous les anneaux ?
-
- Pourquoi y a-t-il une ligne noire à droite sur SATURNE ?
-

écoles d'été pour les enseignants

Les méthodes de travail se sont élaborées au travers de nos rencontres en valorisant le dialogue entre enseignants de diverses disciplines exerçant à divers niveaux d'enseignement. Les écoles d'été ont largement favorisé un climat de coopération non hiérarchisé.

Nous avons reconnu et pris en compte l'importance de l'observation, à la fois source de questionnement et de recherche d'informations, comme support des activités proposées.



observations dans le cadre scolaire

Nous avons appris comment l'on peut extraire l'information essentielle d'une observation en limitant l'utilisation de l'outil mathématique, toujours difficile pour l'élève. Pour cela soulignons l'intérêt de construire des instruments simples et performants. Nous avons également développé le rôle des maquettes qui facilitent la vision dans l'espace et la modélisation des situations.

confrontation avec d'autres expériences européennes

On ne dira jamais assez le rôle déterminant de Gilbert Walusinski, ancien président de l'APMEP, qui a enrichi les approches de points de vue historiques, en liant notamment les principes de fonctionnement du CLEA aux propos tenus par Clairaut, nom retenu pour les Cahiers Clairaut, organe de diffusion des productions du CLEA : "*Dans la préface de ses Elémens de Géométrie (1741), il écrivait : 'J'ai pensé que cette Science, comme toutes les autres, devait s'être formée par degré ; que c'était vraisemblablement quelque besoin qui avait fait faire les premiers pas et que ces premiers pas ne pouvaient pas être hors de la portée des Commençans, puisque c'étaient les Commençans qui les avaient faits'*" *(numéro 1, 1978).*

Nous avons aussi bénéficié de rencontres avec des groupes de réflexion d'autres pays, par exemple Darrel Hoff, du projet "*Science Teaching through its Astronomical Roots*" (STAR) aux États-Unis, Roland Szostak à l'Université de Münster, Nicoletta Lanciano à Rome ou l'équipe de Rosa Maria Ros en

Catalogne. Le CLEA a contribué à la création de l'*Association européenne pour l'éducation en Astronomie* (EAAE), en 1995, et participe régulièrement aux Écoles d'été européennes qui ont lieu chaque année dans un pays européen différent et qui permettent le dialogue et la confrontation d'expériences d'enseignants de divers pays. Ainsi, dans le numéro 101, Jean Ripert et Josée Sert annoncent les Écoles d'été du CLEA et de l'EAAE pour 2003.

des pratiques donnant lieu à publication...

Les activités pratiques élaborées par le CLEA ont fait l'objet d'une lente maturation : réalisées en petits groupes, relatées par le groupe dans un compte rendu diffusé à l'ensemble des participants, puis testées avec des élèves au cours de l'année, elles donnent lieu une fois bien mises au point, à des publications diffusées par le CLEA. Si les activités elles-mêmes résultent d'une expérimentation approfondie, les documents qui les décrivent sont également toujours largement expérimentés avant d'être diffusés.

Le CLEA attache beaucoup d'importance à ce que ces documents soient largement accessibles, donc de prix réduit. Il travaille dans le même état d'esprit que le Centre de Documentation Pédagogique (CNDP) avec lequel il a eu l'occasion de collaborer (réalisation de vidéos et de numéros de "Textes et Documents pour la Classe").

4. LES ÉTAPES DE L'ACTIVITÉ DU CLEA

...et diffusion à destination des enseignants

Dans les années 70, l'astronomie étant alors totalement absente des programmes, une demande importante de travailler sur l'astronomie est apparue dans les écoles dans le cadre de la mise en place des 10 % d'activités libres. De nombreux enseignants ont alors fait appel à des astronomes professionnels, qui ont ainsi pris conscience du problème et de l'enjeu de l'enseignement de leur discipline à plus grande échelle. Il leur est apparu que la contribution locale d'astronomes ne pouvait être suffisante, et que cet enseignement devait forcément être relayé par les enseignants, qui ne peuvent enseigner que s'ils ont eux-même une connaissance suffisante.

C'est dans ce contexte que le CLEA s'est constitué et a développé ses activités de formation et d'élaboration de documents. Il s'en est suivi une évolution continue et corrélée d'une part du nombre d'enseignants formés et d'autre part de l'importance des thèmes d'astronomie présents dans les programmes. À partir des années 1980, le potentiel d'enseignants intéressés et formés a rendu l'introduction de l'astronomie dans les programmes scolaires non seulement possible, mais bien acceptée.

Les activités proposées ont évolué au cours du temps, en fonction des objectifs à atteindre.

les activités proposées ont évolué au cours du temps :

Dans une première phase, c'était essentiellement la mise en œuvre par les enseignants d'activités libres, adaptées aux classes transplantées, aux activités de clubs, aux *Projets d'action éducative* (PAE) qui était visée. Il s'agissait donc de donner à la fois des éléments solides de formation en termes de connaissances et en même temps d'élaborer des activités pratiques. Beaucoup d'attention a été portée à la réalisation d'instruments d'observation ou de grandes maquettes utilisables avec un groupe d'élèves. Nous installions de véritables ateliers de menuiserie, des labos photos. Au cours de ces Écoles d'été se sont construits un grand nombre de lunettes astronomiques (avec de grands pieds bien stables !), de montures équatoriales permettant des poses photographiques allant jusqu'au quart d'heure, des sphères célestes en plexiglas, des sphères armillaires en carton... Nous avons pendant plusieurs années publié systématiquement les comptes-rendus *in extenso* des Écoles d'été. Les exposés étaient rédigés par les astronomes et les activités pratiques étaient présentées par un groupe de stagiaires, d'abord sur place, dans une sorte de stand avec affichage, puis dans le compte rendu écrit. Ces volumes ont été assez largement diffusés et utilisés. D'une année sur l'autre, on revenait sur la conception et l'utilisation d'un instrument. Forts de l'expérience acquise avec leurs élèves, certains anciens stagiaires nous ont permis de mieux cadrer l'approche pédagogique, parfois même, ils sont devenus animateurs du CLEA et ils ont été conduits à présenter le fruit de leur réflexion au sein des Cahiers Clairaut.

de l'école d'été...

À partir du moment où des thèmes d'astronomie sont entrés dans les programmes, nous avons réfléchi aux types de travaux pratiques qu'il était possible de proposer compte tenu des contraintes de temps et de lieu différentes de celles des activités de type PAE. Nous avons été guidés par deux idées fortes : toujours maintenir une place prépondérante aux observations, quitte à utiliser un document de substitution (photo, diapo...), et inciter l'enseignant à construire sa propre progression.

...à la réalisation de fiches pédagogiques

Nous avons ainsi publié des séries de "Fiches pédagogiques". Ces fiches s'adressent à l'enseignant. Elles proposent des activités sur un thème avec l'ensemble des documents nécessaires pour la mise en œuvre en classe. Chacune d'entre elles suggère un développement possible. Il arrive que plusieurs fiches traitent du même thème par des approches différentes, laissant ainsi le choix à l'enseignant.

Ces "Fiches pédagogiques" proposent une démarche pédagogique qui privilégie certains objectifs, en particulier:

- proposer aux élèves des activités motivantes permettant une découverte, une réalisation,
- fonder ces activités sur l'observation astronomique, en montrant que celle-ci n'est pas réservée à la nuit et reste possible même en ville,

favoriser le respect des trois étapes : observation, mesures, interprétation

- réaliser des constructions techniques utilisables par l'élève,
- partir de l'observation ou de la manipulation, en passant ensuite à son interprétation, sans être tributaire de l'outil mathématique,
- utiliser un matériel simple et peu coûteux,
- apprendre aux élèves à mener une recherche bibliographique et à utiliser une banque de données,
- s'adresser à tout élève, de formation scientifique ou non.

On insiste particulièrement sur l'importance des différentes étapes : observations, mesures, interprétation.

Principales publications du CLEA

Fiches pédagogiques
HS1. L'astronomie à l'école élémentaire
HS2. La Lune ; niveau collège
HS3. Le temps, les constellations ; niveau lycée
HS4. Astronomie en quatrième
HS5. Gravitation et lumière ; niveau Terminale
HS6. L'âge de la Nébuleuse du Crabe ; niveau lycée
HS7. Étude du spectre du Soleil ; 1re S
HS8. Étoiles variables

Séries de diapositives
D1. Phénomènes lumineux
D2. Les phases de la Lune
D3. Les astres se lèvent aussi
D4. Initiation aux constellations
D5. Rétrogradation de Mars
D6. Une expérience pour illustrer les saisons
D7. Taches solaires et rotation du Soleil
D8. Comètes

Transparents animés pour le rétroprojecteur
T1. Le TranSoLuTe (phases de la Lune et éclipses)
T2. Les fuseaux horaires

des documents adaptés à chaque activité

Différentes séries de fiches ont été élaborées en fonction des programmes de l'école élémentaire, du collège, du lycée. Chaque fois que le travail à réaliser s'appuie sur un document astronomique un peu délicat à reproduire par une simple photocopie, nous avons tenu à fournir un nombre d'exemplaires suffisant pour le travail d'une classe. C'est le cas par exemple du spectre du Soleil destiné à identifier des éléments chimiques.

Aux fiches pédagogiques se sont ajoutées des séries de diapositives, dont le but est de permettre des observations faisant l'objet d'un travail d'interprétation, et des transparents

animés utilisables avec le rétroprojecteur. Nous avons aussi diffusé des instruments en kit à construire : un "cinéciel", sorte de sphère armillaire en carton, et de quoi réaliser une expérience de calorimétrie permettant de mesurer la constante solaire.

des propositions en phase avec l'esprit des programmes

Ce type de matériel a été particulièrement bien adapté à l'option de sciences expérimentales en 1re S et à la conception des Travaux Pratiques que l'on a appelés TP-top, qui proposaient aux élèves un "problème" à résoudre sans fournir une liste de consignes.

Les nouvelles techniques de l'information et de la communication sont maintenant mises au service des objectifs de formation qui sont les nôtres. Un cédérom (CLEA 2000) portant sur le programme de physique de seconde et le site Web (http://www.ac-nice.fr/clea/) prennent le relais des Cahiers Clairaut et de leurs numéros hors-série consacrés aux fiches pédagogiques.

5. LA SITUATION AUJOURD'HUI

Paradoxalement, alors que le contexte semble favorable à nos objectifs, puisqu'il y a maintenant des thèmes d'astronomie dans les programmes, beaucoup d'interrogations et de craintes se font jour.

La nouveauté la plus importante des programmes nous semble être l'apparition de thèmes astronomiques au sein d'un enseignement obligatoire, en particulier en physique dans la classe de seconde. Le CLEA se reconnaît totalement dans les objectifs de cet enseignement, tels qu'ils sont affichés ; rendu obligatoire il implique aussi une extension du public des enseignants concernés, dépassant les seuls motivés, et donc une plus large diffusion de l'astronomie.

des interrogations et des craintes pour l'avenir

Mais le traitement de ces thèmes risque d'aller dans le sens d'une dérive que nous déplorons : s'en tenir à un niveau trop superficiel, expérimenter pour expérimenter sans mettre en évidence la problématique et le cheminement d'une démarche construite, naviguer sur Internet en y collectant de belles images et des textes disparates que les élèves sont tentés de coller bout à bout, sans s'intéresser suffisamment à leur compréhension. Bref, la crainte que nous éprouvons est que l'on s'en tienne à l'aspect motivant de l'astronomie, alors que notre ambition est de partir de cette motivation pour faire acquérir une méthodologie et un mode de raisonnement en même temps que les connaissances sur lesquelles ils s'appuient. Cette crainte est motivée par un certain faisceau d'indices dont on peut donner deux exemples : la réduction sévère des possibilités de formation continue des enseignants, qu'il s'agisse des Universités d'été ou des stages organisés par les IUFM, alors qu'elle est plus que jamais

nécessaire ; les interrogations sur l'organisation des Itinéraires de Découverte où la double nécessité de faire intervenir plusieurs matières et de coller aux programmes limite beaucoup plus les possibilités que ne le faisaient les Parcours de Découverte dont ils sont issus.

Lucienne GOUGUENHEIM
Ancienne présidente du CLEA

BIBLIOGRAPHIE

RIPERT, J. & SERT, J. (2003). Annonces d'écoles d'été 2003. *Les Cahiers Clairaut*, 101.

SCHATZMAN, E. (1987). À propos de deux cultures. *Les Cahiers Clairault*, 39, 40.

WALUSINSKI, G. (1978). Les "Cahiers Clairaut" : pourquoi ce titre ? *Les Cahiers Clairault*, 1.

MESURER LA TERRE AVEC UN BATON : "SUR LES PAS D'ÉRATOSTHÈNE"

Emmanuel Di Folco
David Jasmin

Depuis septembre 2000, des centaines de classes de cycle 3 et de collège participent à un projet international et coopératif organisé par La main à la pâte, *permettant de mesurer simplement la taille de notre planète. Reproduisant ainsi l'expérience historique du savant grec Ératosthène, ils doivent mesurer l'ombre d'un bâton vertical (appelé aussi "gnomon") à midi au soleil et, en échangeant sur Internet leur résultat avec un partenaire situé à une latitude différente mais à une distance connue, ils obtiennent par un calcul simple la circonférence de la Terre.*

comparer l'ombre d'un gnomon pour mesurer la terre

Cette méthode a été mise au point et appliquée pour la première fois au IIIe siècle av. JC par Ératosthène de Cyrène (1), alors directeur de la grande bibliothèque d'Alexandrie. Convaincu de la rotondité de notre planète et de son éloignement du Soleil, il tira parti du parallélisme des rayons solaires pour construire une figure géométrique élémentaire dans laquelle deux rayons atteignant la Terre en deux lieux de latitudes différentes montrent (à une heure donnée s'ils sont sur le même méridien) une inclinaison différente par rapport à la direction verticale. L'expérience originelle eut lieu un 21 juin (jour du solstice d'été) à midi au soleil. À Syène, dans le sud de l'Égypte, il était connu que les rayons solaires sont quasiment verticaux à cette date, atteignant ainsi le fond des puits à midi. Plus au nord, à Alexandrie, au même instant, les rayons sont plus inclinés et forment autour des obélisques une ombre courte. Ératosthène démontra que la différence d'inclinaison était liée à la courbure terrestre et qu'il suffisait de mesurer cet angle entre les rayons et la verticale pour mesurer la courbure de notre planète (figure 1). Comme il avait également besoin de connaître la distance entre les deux villes pour mener à bien son calcul, il mandata une expédition spécialement chargée de mesurer le long du Nil la distance qui séparait les deux lieux d'observation. Le résultat fut à la hauteur des moyens mis en œuvre puisqu'il obtint pour la longueur du méridien terrestre une valeur très proche de la réalité : 40000 km.

(1) Un des premiers comptes rendus de ces observations a été rédigé par Cléomède , in "*De motu circulari corporum coelestium*".

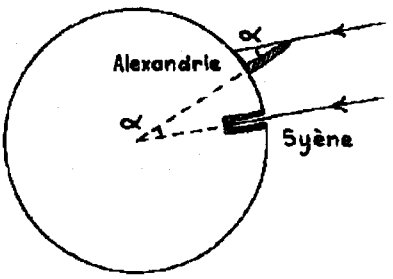


Figure 1.

une progression sur l'année, une approche pluridisciplinaire

C'est autour de cette méthode très simple que nous avons construit ce projet, adapté en un parcours pédagogique progressif dont la démarche repose sur l'observation et l'expérimentation, conformément aux principes prônés par *La main à la pâte*. Celui-ci propose aux classes de reproduire, à travers une approche pluridisciplinaire, les observations d'Ératosthène et d'aboutir, par leurs propres mesures, au calcul de la circonférence terrestre comme le fit avant eux Ératosthène. Les élèves sont ainsi amenés à découvrir, au fil des observations et des expériences, des notions scientifiques telles que la verticalité, la comparaison des angles, la nature des ombres et leur relation avec les sources lumineuses, la trajectoire apparente du Soleil dans le ciel au cours d'une journée ou sur l'année et son rapport avec les saisons, etc. Les élèves comprennent également l'importance de la précision dans les mesures.

Le module pédagogique, en constante référence aux programmes scolaires, leur permet d'aborder d'autres disciplines telles que la technologie (réalisation d'instruments : niveaux à bulles, gnomons, quart de cercle...), la géographie terrestre (le repérage dans un plan et sur une sphère, les points cardinaux, le planisphère) et l'histoire de l'Égypte ancienne (2). Il participe également à l'apprentissage et à la maîtrise progressive de la langue française, grâce notamment à l'importance accordée aux comptes rendus d'expériences et aux discussions entre élèves. À travers la correspondance scolaire, l'occasion est donnée aux jeunes élèves de pratiquer une langue étrangère dans leurs éventuels échanges avec des classes partenaires. Ce projet, grâce aux outils de travail coopératif mis à leur disposition, contribue enfin au développement des TICE à l'école.

Le protocole expérimental est disponible sur le site de *La main à la pâte* (www.inrp.fr/lamap/eratos/), qui regroupe

(2) Certaines séances proposées s'inspirent de la thèse d'Hélène Merle (1999) et des ouvrages de Mireille Hibon-Hartmann (1999, 2001).

des outils pour l'enseignant...

par ailleurs un ensemble d'outils pédagogiques destinés à accompagner les enseignants dans la réalisation des activités. On y trouve ainsi des assistances techniques qui détaillent les notions scientifiques abordées et des animations qui facilitent la compréhension de l'expérience et de son principe. Une mappemonde interactive permet de visualiser l'ensemble des partenaires sur le globe. Enfin, un certain nombre d'outils coopératifs ont été spécialement conçus sur Internet pour faciliter la collecte et la mutualisation des mesures ainsi que le suivi des classes. Une liste de diffusion a été créée, permettant aux acteurs du projet de communiquer entre eux (envois de messages) mais aussi avec des consultants (scientifiques, formateurs pédagogiques) prêts à répondre à toutes leurs interrogations.

...un travail coopératif entre classes

L'ensemble des protocoles expérimentaux a été publié en septembre 2002 aux éditions Le Pommier dans un livre et un cédérom. Au-delà des séquences pédagogiques elles-mêmes, le cédérom présente des animations détaillant le principe de l'expérience, des fiches techniques pour bien assimiler les notions scientifiques mises en jeu, et des séquences vidéos filmées dans une classe participant au projet qui montrent l'évolution et les réactions typiques d'une classe au cours des activités. Une collection de photos du pays d'Ératosthène (l'Égypte !) est également jointe. Outil d'autoformation, ce cédérom a été offert aux classes engagées dans le projet 2002-2003.

découvrir l'Égypte

"Sur les pas d'Ératosthène" a récemment pris une dimension internationale grâce à la mise à disposition sur la toile de protocoles multilingues (en anglais, espagnol, allemand et bientôt italien). En 2003, près d'une vingtaine de pays (encore majoritairement francophones) y participent. Chaque année, des événements ponctuent le projet et assurent son animation : les élèves ont pu par exemple suivre sur Internet le voyage en Égypte de Denis Guedj (3), parti au fil du Nil sur les traces du savant grec. Des mesures synchrones entre les écoles françaises et égyptiennes ont également permis de développer la coopération entre les deux pays et de faire découvrir aux enfants les lieux mêmes de l'expérience d'Ératosthène : Alexandrie et sa nouvelle bibliothèque, Assouan (anciennement Syène) et son puits, les obélisques et les temples égyptiens... Enfin, le 21 juin, jour du solstice d'été dans notre hémisphère et de l'expérience historique, une mesure synchrone est effectuée par tous les participants qui peuvent ainsi aisément utiliser des observations provenant des quatre coins de la planète pour mieux calculer sa

(3) Denis Guedj est historien des mathématiques. Auteur de plusieurs romans sur l'histoire des sciences comme *Le théorème du Perroquet* et plus récemment *Les Cheveux de Bérénice* (2003), il est partenaire de cette opération depuis son début.

échanger avec le monde

circonférence. Avantage notable sur Ératosthène, les élèves peuvent travailler avec des camarades situés n'importe où dans le monde, les distances entre les lieux d'observations étant évaluées à partir de cartes. Lorsque les deux villes partenaires sont situées sur le même méridien (comme Alexandrie et Syène), on mesure la distance réelle les séparant et les relevés d'angles sont effectués à la même heure. Lorsque celles-ci diffèrent par leur longitude, on mesure l'écart en kilomètres entre leurs parallèles respectifs (le long d'un des deux méridiens) et les mesures d'angles se font au midi solaire de chaque ville.

une démarche d'investigation

Au total, ce sont près de cent écoles qui se relaient chaque année tout autour du globe pour reproduire les observations et les mesures d'Ératosthène. Un succès assuré par un projet ambitieux et enthousiasmant qui repose sur la coopération entre les classes et l'utilisation des nouvelles technologies pour l'échange des données. Les enfants y découvrent de manière ludique les principes d'une démarche scientifique d'investigation. La diversité des pays engagés facilite l'obtention de résultats précis en mettant à disposition des élèves des mesures effectuées par des partenaires très éloignés en latitude. En 2001 comme en 2002, une centaine de mesures furent pratiquées dans les classes. 90 % d'entre elles affichèrent des résultats proches de la valeur réelle du méridien (environ 40000 km) alors que d'autres devaient se contenter d'une valeur un peu moins précise, mais quel que soit le résultat, les élèves ont apprécié : *"d'étudier l'histoire de la terre", "de faire souvent des relevés", "de fabriquer les niveaux à bulles, les fils à plomb, les équerres.", "de mesurer les angles", "d'utiliser un rapporteur", "de devoir être très précis", "de faire beaucoup de choses..."* ! Un test préliminaire et un post-test permettent d'ailleurs à l'enseignant de faire une évaluation des connaissances acquises par ces derniers.

des centaines de mesures

un projet long mais instructif

Il reste que ce projet de longue haleine exige un investissement parfois difficile à insérer dans le cadre strict des horaires alloués à l'enseignement des sciences. Les aléas météorologiques et la durée du projet obligent à une certaine souplesse dans la gestion de la classe. Son étalement sur une année peut induire d'éventuelles difficultés de mémorisation des acquis à long terme. Force est cependant de constater que la grande majorité des élèves qui vont au bout du projet acquièrent avant tout, par l'observation et l'expérimentation, les bases d'un raisonnement rationnel et d'une démarche scientifique d'investigation.

Emmanuel DI FOLCO
European Southern Observatory, Munich
David JASMIN
INRP, La Main à la Pâte, Paris

BIBLIOGRAPHIE

CLEOMEDE, *De motu circulari corporum coelestium*, les versions anglaise et grecque de ce texte du 1er siècle après J.C sont disponibles dans *Greek Mathematics*, Loeb University Press. Classical library. Harvard University Press.

FARGES, H., DI FOLCO, E., HARTMANN, M. & JASMIN, D. (2002). *Mesurer la Terre est un jeu d'enfant.* Paris : Le Pommier.

GUEDJ, D. (2003). *Les cheveux de Bérénice.* Paris : Le Seuil.

HARTMANN, M. (1999). *L'Astronomie est un jeu d'enfant* (p. 203). Paris : Le Pommier.

HARTMANN, M. (2001). *Explorer le ciel est un jeu d'enfant* (p. 224). Paris : Le Pommier.

MERLE, H. (1999). Thèse de doctorat : *Apprentissage des mouvements de la Terre à l'école élémentaire.* Université Montpellier II.

ASTRONOMIE ET TRAVAIL PERSONNEL ENCADRÉ AU LYCÉE

Michèle Sagot
Daniel Fossaert

Une recherche collective soutenue par l'IUFM du Nord-Pas de Calais a permis d'accompagner dans deux lycées voisins le démarrage en classe de Première des Travaux Personnels Encadrés (TPE) des élèves puis la première année de mise en place en classe de Terminale. La lecture et l'analyse thématique des premières fiches de synthèse rédigées, pour l'évaluation, par des élèves qui avaient choisi un sujet d'astronomie permet de s'interroger à la fois sur l'intérêt qu'environ un cinquième des élèves de ces classes ont montré pour un tel sujet, et sur quelques-uns des premiers effets du nouveau dispositif pédagogique TPE.

environ un cinquième des élèves dans nos établissements présente un sujet d'astronomie en TPE

Dans le cadre d'un travail collectif de recherche soutenu par l'IUFM Nord-Pas-de-Calais depuis juin 2000 (1), et en collaboration avec le département INRP Didactique des disciplines (2), nous avons eu la possibilité d'accompagner de manière réflexive la mise en place du nouveau dispositif pédagogique des "Travaux Personnels Encadrés" des élèves de lycée (TPE) dans deux établissements du Pas-de-Calais, chacun de nous étant par ailleurs directement responsable du fonctionnement du dispositif dans une classe de Première scientifique (pour Michèle Sagot, depuis septembre 2000) et dans une classe de Terminale scientifique (pour Daniel Fossaert, en 2001-2002). Avec le recul de deux années en classe de Première et d'une première évaluation au baccalauréat (juin 2002), nous avons pu constater que beaucoup d'élèves désiraient traiter un sujet d'astronomie, puis y renonçaient. En revanche la participation de certains d'entre nous aux évaluations a permis de constater qu'un cinquième environ des élèves de nos établissements ont finalement choisi et mené à terme un sujet d'astronomie, proportion suffisamment importante, selon nous, pour motiver une enquête complémentaire. Ignorant tout ou presque des conditions dans lesquelles ils s'étaient préparés à l'examen, nous avons décidé d'étudier le seul écrit standardisé à notre disposition – deux pages personnelles dactylographiées – exigé pour l'épreuve d'évaluation, en faisant l'hypothèse qu'il nous renseignerait sur les motivations et les conditions de travail des élèves.

(1) Groupe de recherche IUFM : *"Enjeux et limites de la responsabilisation des élèves en TPE"*, responsable J. Delattre, UFR des Sciences de l'éducation de Lille 3, membre associé à l'équipe d'accueil PROFEOR.

(2) Programme de recherche INRP 2000-2003, Axe 6 : *"Structuration des savoirs dans les nouveaux dispositifs pédagogiques (TPE, PPCP, ID)"*, responsables C. Larcher et A. Crindal, département de didactique des disciplines.

les fiches de synthèses rédigées par les élèves seront le support de cette étude

L'analyse qui va suivre prend en effet essentiellement appui sur la lecture collective que nous avons faite de "fiches de synthèse" rédigées en vue de l'évaluation de leur travail personnel par vingt élèves de Terminale S, et par quatre élèves de Première S. Les élèves de Terminale appartenaient à six groupes de TPE différents, dont deux ont travaillé sur "le système solaire", un sur "espace et mouvement", un sur "le big bang", un sur "les comètes", et le dernier sur "les trous noirs". Quant aux élèves de Première, ils constituaient un seul et même groupe dont le sujet a progressivement évolué à partir d'une question sur le devenir des étoiles : "Comment naissent, vivent et meurent les étoiles ?", limitée ensuite au seul Soleil, et finalement reformulée en : "Comment a-t-on réussi à prévoir quand et comment finira le Soleil ?".

Nous proposons d'étudier d'abord des extraits des quatre fiches de synthèse du groupe des élèves de Première, qui seront désignés par les lettres A, B, C et D, puis de dégager quelques thèmes récurrents dans les vingt fiches de synthèse des élèves de Terminale, regroupées en fonction des thèmes choisis dans les six catégories G1, G2, G3, G4, G5 et G6. Nous essayerons de mettre en lumière les paradoxes et les contradictions inattendues que nous croyons avoir découverts, en lisant collectivement ces brefs écrits d'élèves, néanmoins fort éloquents.

1. PRÉVOIR QUAND ET COMMENT FINIRA LE SOLEIL : LE TRAVAIL D'UN GROUPE D'ÉLÈVES DE PREMIÈRE

l'apport original des fiches d'un même groupe d'élèves de première

Le groupe des quatre élèves de Première que nous avons nommés A, B, C et D s'est constitué autour de l'élève A, membre d'un club d'astronomie et en situation de réussite scolaire évidente. Les deux professeurs de mathématiques et de physique ont pu suivre régulièrement le travail de ce groupe qui les a sollicités l'une et l'autre ; pourtant, c'est la participation à l'évaluation de leur production et de leur soutenance orale qui a vraiment permis d'apprécier l'acquisition de nouvelles connaissances par les élèves. En effet, ce sont cinq autres thèmes distincts qui se sont dégagés de l'analyse des quatre fiches de synthèse rédigées par les élèves, donnant ainsi un aperçu du travail qu'ils disent avoir effectué dans le cadre de "leur TPE".

1.1. Les raisons du choix des élèves pour l'astronomie

Les élèves parlent tous d'intérêt, de passion, voire d'attirance et de curiosité, mais en même temps ils évoquent leur ignorance, d'où leur désir d'en savoir plus, de manière plus

approfondie, et de ne pas en rester à un niveau superficiel. L'élève A possédait déjà des connaissances, étant donné sa participation à un club d'astronomie depuis plusieurs années. C'est cet élève qui a réellement choisi le sujet, puis contribué à le redéfinir, mais les autres l'ont suivi car ils s'intéressaient simplement à l'astronomie. Voyons ce qu'ils en disent exactement.

une opportunité d'approfondir ce qu'on sait déjà

Élève A : *"L'astronomie est quelque chose qui m'intéresse et me passionne depuis de très nombreuses années ; j'ai toujours voulu essayer de comprendre pourquoi le Soleil bouge dans le ciel et ce qu'étaient ces petits points lumineux dans la nuit que l'on nomme étoiles. Entre temps, j'ai appris beaucoup de choses dont : que le Soleil est une étoile ! Ainsi lorsque j'ai entendu parler pour la première fois des Travaux Personnels Encadrés (T.P.E.), j'ai tout de suite pensé que ce serait une bonne opportunité d'approfondir mes connaissances en matière d'astronomie."*

Le choix du sujet est bien présenté par l'élève *leader* par rapport à son histoire personnelle : une passion, un intérêt de longue date, et puis une volonté de comprendre et d'approfondir ce qu'on a déjà appris ailleurs, type assez répandu de motivation pour le choix des sujets en TPE.

Élève B : *"L'astronomie est une science qui m'a toujours attiré. Mais je n'ai jamais cherché à comprendre les phénomènes qui expliquaient la provenance des astres. En effet, les étoiles et plus particulièrement le Soleil sont très difficiles à comprendre. C'est dans cette optique que j'ai choisi ce thème ; j'ai voulu approfondir les quelques connaissances que j'avais à propos de ce sujet, comme par exemple pourquoi et surtout comment le Soleil et les étoiles ont-ils pu se créer et se développer."*

une démystification des croyances quotidiennement véhiculées

L'attirance spontanée pour l'astronomie est contrebalancée, dans ce cas, par l'aveu d'une ignorance ou même d'une absence de curiosité, liée clairement à la difficulté de comprendre. Peut-être aussi, y a-t-il en filigrane la référence à la dimension mythique et plus ou moins sacrée des êtres célestes : s'interroger sur leur création et leur développement, n'est-ce pas une manière de démystifier des croyances ancestrales qui quotidiennement ne sont que très rarement remises en cause ?

Élève C : *"Si j'ai choisi ce sujet qu'est le Soleil, c'est d'abord parce que pour moi tout ce qui touche l'astronomie me plaît énormément car je trouve qu'il y a encore beaucoup de questions à ce propos, auxquelles nous ne sommes pas prêts à trouver des réponses. Mais aussi parce que tout le monde sait ce qu'est le Soleil superficiellement, c'est-à-dire une grosse boule de feu, et j'ai donc pensé que c'était l'occasion d'expliquer ce qu'est réellement le Soleil, c'est-à-dire un astre très complexe."*

Le plaisir lié à l'astronomie est explicité à deux niveaux différents : tout d'abord, il correspond à la perception que la science astronomique comporte bien plus de questions que

un lieu authentique de questionnement scientifique

de réponses, ce qui nous renvoie en creux une image des autres domaines scientifiques comme apportant davantage... des réponses. La remarque est intéressante du point de vue épistémologique autant que du point de vue didactique : l'assimilation courante des sciences de la nature (matière, vie) à des sciences de "pure" observation, classification et vérification par les faits observés (ou phénomènes), entretient une certaine tendance à amalgamer les composantes empiriques et rationalistes de la démarche scientifique, au lieu de les "dialectiser", selon les célèbres analyses de G. Bachelard, d'où une dérive toute "naturelle" vers le dogmatisme et un *enseignement de la réponse vraie* plutôt que de la question pertinente. Est-ce du fait de sa résistance complexe à "l'observation immédiate" (c'est plutôt une observation différée et répétée sur de longues périodes de temps qui permet, en astronomie, de concevoir et construire des modèles explicatifs) que le domaine astronomique échapperait davantage à cette dérive ? Ou bien n'est-ce pas parce qu'il est un objet de croyance socialement admise et avouée (et fort répandue), et qu'il est en même temps objet de recherche scientifique, nécessairement *paradoxale* (c'est-à-dire impliquant, de fait, la remise en cause fondamentale des opinions communes par un questionnement pertinent) ?

Ensuite, une deuxième source du plaisir procuré par l'astronomie viendrait de ce que l'explication scientifique complexe (de ce qu'est réellement le Soleil) vient remplacer le savoir superficiel partagé par tout le monde, c'est-à-dire vécu sur le mode de la croyance et pas du tout maîtrisé rationnellement. Croire que la Terre tourne autour du Soleil ou que c'est le Soleil qui tourne autour d'elle, comme l'a écrit Alain, c'est toujours *croire*, et ce n'est donc pas du tout le *savoir scientifiquement*.

Élève D : *"Je me suis d'abord orienté sur les étoiles. Le fait d'employer ce mot, de les voir chaque soir et de ne rien connaître à leur sujet, même pas leur création, ne pouvait que favoriser ce choix. Ce TPE était pour moi une occasion de m'enrichir intellectuellement..."*

une occasion de s'enrichir intellectuellement

Outre l'effet cocasse de "l'orientation" rapprochée des étoiles, pendant longtemps guides très précieux des voyageurs du monde entier, l'aveu d'ignorance est cette fois criant ! L'enrichissement intellectuel évoqué peut donc s'interpréter sans équivoque comme une conséquence de la "démystification" des croyances, plus ou moins partagées par tout le monde, et jamais interrogées au cours de la scolarité. Ce qui interpelle aussi le pédagogue, et plus seulement l'épistémologue et le didacticien. Encore une fois, la signification en creux d'une telle proposition nous oblige, en effet, à réfléchir sérieusement à la perception éventuelle par les élèves des sections scientifiques d'une absence "d'enrichissement intellectuel" par l'enseignement scolaire ordinaire ; peut-être par comparaison avec les activités de leurs camarades des autres

sections : littéraires, artistiques, économiques ou technologiques, peut-être aussi simplement, par rapport aux exigences très instrumentales et techniques du bachotage ?

1.2. De l'ampleur de la documentation à la décision de limiter la question du sujet

Au départ, même si une problématique a été définie, les élèves ne font qu'empiler des documents sans chercher à répondre à des questions précises. Ils s'aperçoivent vite que le domaine de recherche est trop vaste et certains élèves expriment alors leur désarroi devant la tâche à accomplir.

des documents trop nombreux et trop vagues

Élève A : *"L'étude de ces documents nous a permis de nous rendre compte de l'ampleur des informations et de la difficulté de traiter un sujet aussi vaste que le devenir de toutes les étoiles."*

Élève B : *"Mais, étant donné le nombre de documents que je trouvais au CDI, nous nous sommes rendus compte que notre thème était beaucoup trop vague et qu'il serait difficile de tout étudier en détail."*

Élève C : *"Au bout d'un certain temps de recherche nous nous sommes aperçus que notre première problématique ne convenait pas, car les informations trouvées étaient trop vagues et trop longues..."*

Élève D : *"J'ai cherché de mon côté, tout ce qui se rattachait au mot 'étoile'. Pour cela, j'ai utilisé un programme au CDI (BCDI), ainsi qu'Internet. Nous avons relevé avec ces données de nombreuses revues et des cassettes vidéo.*

A (nom de l'élève du groupe) nous a proposé de tout arrêter, d'abandonner en fait tout ce que l'on avait fait, car pour lui, le travail restant serait trop conséquent. C'est donc par faute de temps que nous avons changé notre sujet : les étoiles.

une réduction spontanée du sujet

Il choisit : le Soleil. Nous avons accepté."

Les quatre témoignages convergent, mais seul le quatrième mentionne explicitement le fonctionnement du groupe et le rôle joué par l'élève *leader*, lequel pourtant s'identifie complètement, dans son écrit personnel, au fonctionnement collectif, comme l'élève C, à la différence des deux autres, qui mettent en avant les recherches faites personnellement, peut-être parce que le deuil de toute la documentation accumulée a été pour eux plus difficile.

1.3. L'utilisation des connaissances déjà acquises et le recours aux compétences des enseignants

Le sujet étant clairement défini et restreint (les professeurs sont intervenus, en effet, pour les aider à mieux cerner le sujet et à mieux formuler leurs questions), les élèves peuvent commencer alors réellement à "approfondir" leurs connaissances, comme ils le souhaitaient au départ. Mais ils rencontrent alors de grosses difficultés, surtout lorsqu'il s'agit de

l'appel aux professeurs

phénomènes qui n'ont pas encore été abordés dans leurs études antérieures. Ils font à nouveau appel aux professeurs ; cependant les explications prennent du temps et il s'avère difficile de satisfaire en même temps aux demandes de tous les élèves. Il arrive que les professeurs les guident alors vers une recherche dans certains manuels scolaires, et lorsqu'ils rencontrent des phénomènes qui ont été étudiés en cours, les élèves ont la satisfaction de pouvoir utiliser leurs connaissances pour mieux comprendre ; ils s'en aperçoivent avec plaisir.

Élève A : *"J'ai recherché ce qui se passe dans les nuages gazeux spatiaux. J'y ai découvert des structures mathématiques (fractales) que j'ai comprises grâce au professeur, et de nombreux phénomènes physiques que m'ont aidé à comprendre les cours de première S sur les différentes forces (gravitationnelle, électrique...) ou les énergies (cinétiques, potentielles, thermiques...) sans oublier les explications du professeur."*

"j'ai recherché, j'ai découvert, j'ai compris"

"J'ai recherché, j'ai découvert, j'ai compris", belle formule stratégique, idéale pour caractériser la démarche de cet élève remarquable, qui réussit à montrer comment se découvrent les structures mathématiques, au cours d'une enquête qui ne les cherchait justement pas, et qui montre aussi comment les notions abstraites du cours de physique "prennent sens" quand elles sont découvertes "en situation", dans un système complexe dès lors qu'on l'interroge et qu'on l'étudie pour lui-même.

Élève D : *"Nous avons bien entendu parlé des différentes étapes de la fusion. Ce passage était pour nous assez complexe, et c'est pour cela que nous avons fait appel au professeur. Elle nous a expliqué la relation d'Einstein, je n'aurais jamais pensé l'utiliser. Tout cela est si loin pour moi, je croyais la voir après mes études au lycée."*

l'accès à une culture scientifique authentique

L'accès à une culture scientifique authentique, au-delà d'un savoir étroitement scolaire, est clairement ressenti par cet élève, comme un effet immédiat et bénéfique de l'intervention du professeur, quand on a réussi à la solliciter au bon moment de la recherche.

1.4. La dynamique du groupe de travail et l'acquisition d'une attitude scientifique

Les quatre élèves dressent un bilan positif de leur recherche. Deux d'entre eux reconnaissent plus particulièrement l'intérêt d'avoir travaillé avec un camarade déjà formé en astronomie.

la médiation efficace d'un élève "instruit" dans le groupe

Élève B : *"Ce travail m'a permis d'apprendre plus de détails concernant l'astronomie et plus particulièrement sur l'étoile qui permet notre existence... Le travail de groupe fut très enrichissant, et A (nom de l'élève du groupe), qui connaissait déjà quelques éléments sur l'astronomie, a pu m'aider lorsque je ne comprenais pas tout."*

Élève C : *"Ces TPE ont été pour ma part très intéressants du point de vue des informations que j'ai pu apprendre sur le Soleil grâce à ces travaux, mais aussi car c'était enthousiasmant de faire équipe avec une personne qui connaît très bien l'astronomie, c'était, je pense, notre coup de pouce."*

Si l'élève B emploie pour désigner le Soleil la périphrase : "l'étoile qui permet notre existence", rappelant au passage non seulement la dimension scientifique plus large (pas simplement physique et mathématique) de son sujet, mais aussi sa dimension humaine et en même temps métaphysique, l'élève D le formule de manière encore plus claire et plus directe.

Élève D : *"Je vais donc traiter les phénomènes de fusion. Je pense bien avoir tout cerné et suis content d'avoir comme sujet : 'le Soleil'. C'est vrai que les étoiles sont intéressantes, mais sans le Soleil, il n'y aurait pas de vie sur la Terre."*

Ainsi, grâce à l'encadrement régulier par les deux enseignants, ces quatre élèves ont su orienter leurs recherches. Dans les différents entretiens que nous avons réalisés avec d'autres groupes d'élèves (Delattre, 2001), les expressions : "orienter notre recherche" ou "nous orienter dans la documentation" sont fréquemment utilisées par les élèves pour caractériser l'intervention appréciée des professeurs, dont certains disent en cours d'expérience de Première qu'ils n'hésiteront pas, en Terminale, à la solliciter plus vite !

la "bidisciplinarité" physique mathématique

Mais c'est le travail de groupe qui leur a permis, en confrontant leurs idées et leurs informations, de développer leur esprit critique, de corriger des idées reçues, puis de venir poser aux enseignants de vraies questions. La discussion engagée entre les professeurs et l'élève A a même réussi à lui faire prendre conscience, devant les équations mathématiques sur lesquelles il demandait des explications, de l'importance de ces équations et de l'utilisation qui en était faite, la "bidisciplinarité" physique-mathématique prenant dans ce cas tout son intérêt. Cela nous a amenés à mieux faire appréhender la différence entre le rôle du physicien et le rôle du mathématicien. Sans doute est-ce dans une telle situation de réflexion que l'élève s'approche de l'attitude du scientifique, étape qui est à l'origine, d'ailleurs, pour ce groupe de quatre élèves de Première, de la dernière formulation de leur problématique.

Par ailleurs, on peut dire aussi que les élèves de ce groupe ont tiré grand profit du travail collectif, chacun à sa manière, grâce en particulier à l'enthousiasme de l'élève A et à sa culture préalable en astronomie. Ce qui relance la querelle entre partisans de groupes homogènes ou de groupes hétérogènes. Nous avons pu observer justement comment les élèves avaient des stratégies intéressantes d'efficacité, en ce domaine, les amenant à corriger en cours de travail un premier regroupement par affinité.

1.5. La structuration des savoirs

C'est, en effet, seulement à partir de leur production écrite et de leur soutenance orale que nous avons pu essayer de savoir quelles connaissances nouvelles les élèves avaient acquises, en dehors de la réponse qu'ils avaient trouvée concernant l'évolution du Soleil. Pour décrire cette évolution, ils ont eu à utiliser les notions de température, de pression, de force, d'énergie... Les premières (température, pression, force), avaient fait l'objet de cours traditionnels dans les classes précédentes ; il se trouve qu'elles ont été évoquées et réinvesties correctement. En revanche, nous avons constaté de grandes difficultés dans l'utilisation du concept d'énergie ; en particulier la notion d'énergie de cohésion n'a pas été bien comprise, tandis que les différentes étapes des réactions nucléaires, découvertes à partir des documents, ont été bien exposées. Aussi restons-nous convaincus que certaines notions difficiles de physique ne peuvent s'acquérir ainsi : elles nécessitent un enseignement construit, comme il se donne actuellement dans la classe de Terminale S. Il nous paraît en effet important que des notions non acquises, mais néanmoins utilisées au cours du travail personnel, puissent être ensuite reprises avec rigueur par un professeur. D'ailleurs, ces quatre élèves de Première, maintenant en Terminale S, reconnaissent avec satisfaction les parties de cours relatives au sujet de "leur TPE" ; ils nous ont dit, lors d'un entretien récent, profiter immédiatement de l'enseignement, parce qu'ils avaient déjà à leur disposition des exemples concrets pour lui donner du sens.

les notions difficiles de physique nécessitent une reprise rigoureuse en cours

La recherche personnelle préalable telle qu'elle peut se mener dans le cadre des TPE, en classe de Première, tout en étant essentielle pour la mise en situation complexe de notions abstraites difficiles, pour leur appréhension critique aussi, et éventuellement multi-disciplinaire, s'avère donc seulement propédeutique à une authentique maîtrise structurée des savoirs scientifiques ; il convient en effet d'en favoriser ensuite l'acquisition par d'autres apports ou interventions didactiques.

leur mise en situation complexe en TPE est surtout propédeutique

Examinons à présent le cas des élèves de classe Terminale.

2. DU BIG BANG AUX COMÈTES ET AUX TROUS NOIRS : LES TRAVAUX DE SIX GROUPES DE TERMINALE

d'autres apports dans les fiches des élèves de terminale

Les extraits de fiches de synthèse des vingt élèves de Terminale du second établissement ont été regroupés en six catégories, correspondant chacune à un même groupe de TPE, ayant choisi un sujet d'astronomie (G1 et G5 ont travaillé sur le système solaire, G2 sur les trous noirs, G3 sur le big bang,

G4 sur les comètes). La plupart des remarques font écho à celles des élèves de Première, mais d'autres, formulées différemment, méritent une lecture attentive que nous allons proposer maintenant.

2.1. La fascination pour l'astronomie

Le sujet, visiblement, intéresse pour ne pas dire passionne les élèves. Ils sont conscients, pour la plupart, de leur ignorance, reconnaissent la difficulté qui les attend et déplorent en général que l'astronomie ne soit pas étudiée en tant que telle au lycée. L'aveu d'ignorance apparaît comme lié à une caractéristique "intrinsèque" des sujets d'astronomie :

l'aveu d'ignorance en astronomie

G1 : *"Sujet intéressant car mal connu, et pas étudié en cours. Nous l'observons de manière contemplative, nous nous y intéressons d'une manière assez ignorante."*

"Nous avons choisi l'étude du système solaire car il nous paraissait le plus intéressant, mais étudier le système solaire dans sa totalité reste quasiment impossible."

Comme si, plus que les autres domaines scientifiques, celui-là s'avérait "mal connu" et de ce fait, plus intéressant ! Les élèves semblent interpréter le fait qu'on n'enseigne pas ces questions en cours, comme s'il était dû à ce que le savoir astronomique ne serait pas encore assez bien maîtrisé, avec l'idée en creux que les savoirs transmis en classe seraient donc mieux établis et assurés, idée probablement reçue au travers d'un type d'enseignement scientifique à tendance systématique ou dogmatique, et à prétention absolue et éternelle (Fourez, 1985 ; Mathy, 1997).

une curiosité scientifique authentique

Ainsi le choix d'un sujet d'astronomie, comme nous l'avons déjà vu avec notre groupe d'élèves de Première S, correspondrait bien à une curiosité scientifique authentique, une exigence de comprendre, de découvrir ce que l'on a conscience d'avoir trop longtemps ignoré :

G2 : *"On étudie les trous noirs car il s'agit pour nous d'une réelle énigme, nous voudrions enfin comprendre ce phénomène."*

"Ce sujet nous offre la possibilité de découvrir de nombreuses choses pour l'instant inconnues de nous à notre niveau d'étude."

G5 : *"Je n'avais que très peu de connaissances concernant le vaste sujet du système solaire ; les planètes et les étoiles restaient pour moi une intrigue* (sic). *Je voulais profiter de cette occasion pour enfin comprendre (ou essayer de comprendre) l'univers qui nous entoure."*

intérêt d'un cadre pluridisciplinaire élargi en astronomie

"Intrigue", "énigme", "inconnu", l'appel "cosmique" correspond aussi, c'est évident, à un questionnement de nature philosophique et métaphysique, qu'il est vraiment dommage de ne pas pouvoir travailler dans un cadre pluridisciplinaire élargi. Néanmoins, dans les établissements où

nous travaillons, il n'est pas prévu d'intervention des enseignants de lettres, d'arts plastiques et/ou de philosophie dans les TPE des classes scientifiques, alors que pourtant nous avons pu relever plusieurs cas où leur intervention aurait été bienvenue voire déterminante, tout particulièrement en astronomie.

G3 : *"Ce TPE m'a permis de découvrir un domaine qui m'a toujours fasciné."*

G4 : *"L'astronomie est pour moi une science très passionnante."*

"On s'est rendu compte que l'on ne connaissait pas grand chose sur les comètes et que c'était l'occasion d'en savoir plus. De là vient notre sujet : la fascination pour un objet que tout le monde connaît mais dont on ne sait presque rien."

G6 : *"J'ai toujours été passionnée d'astronomie. Depuis que j'ai douze ans, j'adore admirer les étoiles, mais les planètes je n'y connaissais rien."*

La passion, la fascination sont clairement situées au niveau de "ce que tout le monde connaît", autrement dit "rien" ou "presque rien", tandis que le travail mené collectivement dans le cadre des TPE s'avère être l'occasion de la prise de conscience ("on s'est rendu compte...") de son ignorance, et en même temps de la découverte ou de l'expérience d'un savoir d'un autre niveau. L'astronomie n'est précisément pas ce qu'on croit : les savoirs astronomiques scientifiques sont en "rupture" avec les savoirs d'opinion ; on parlera même avec G. Bachelard de "rupture épistémologique", dès lors que les élèves prennent clairement conscience du caractère irrecevable des superstitions et des discours d'imposteurs sur les phénomènes célestes.

l'astronomie n'est pas ce qu'on croit

2.2. Les difficultés propres aux sujets d'astronomie

Le sujet est difficile, ardu, mais passionnant ; les élèves ont conscience de la difficulté (qui n'est pas seulement la leur) et cela peut les stimuler ou au contraire les arrêter :

G1 : *"L'univers est trop compliqué pour produire un énoncé suffisamment complet sans entrer dans des détails trop scientifiques et difficilement compréhensibles."*

une difficulté inhérente aux sujets astronomiques

G3 : *"Nous avons dû faire un changement de choix. Pour le big-bang les documents étaient plus riches, le big-bang fait l'objet de nombreux articles et débats. (...) Certains documents étaient trop complexes pour un élève de terminale."*

G5 : *"Nous avons manqué de temps à la bibliothèque municipale car il fallait être de retour au lycée à une heure précise. (...) Certaines pistes furent abandonnées, entre autres de nombreuses définitions pour différencier comètes, astéroïdes, météorites, météores, bolides, etc. De plus nous avons rencontré des difficultés d'organisation ainsi que pour délimiter le sujet."*

Certains se sont aperçus que nous étions bel et bien dans le domaine de théories qui demandaient confirmation par observations, calculs, confrontation de simulations informatiques aux faits observables.

G2 : *"La majeure partie des théories sur les trous noirs sont purement hypothétiques. Les sources d'informations se contredisaient parfois, les explications avancées étaient trop vagues."*

des modélisations complexes et des désaccords théoriques

G6 : *"C'est un sujet trop vaste, pour lequel même les scientifiques ne sont pas d'accord, la plupart des informations ne sont qu'à l'état d'hypothèses."*

G6 : *"Nous avons aussi pensé à parler de la théorie de la Relativité d'Einstein, mais cette idée a été très vite abandonnée, ce thème se révélant trop long et trop complexe."*

La plupart des élèves, néanmoins, semblent incapables de "voir", comprendre et donc montrer la complexité de la modélisation mathématique. Ils n'ont probablement pas réussi à faire la démarche nécessaire pour obtenir l'intervention précieuse des professeurs, ou peut-être ne l'ont-ils pas voulu et ont-ils préféré s'abstenir ?

La volonté de travailler seuls s'exprime (se déguise ?) parfois en une difficulté de trouver un contenu susceptible de justifier le recours à l'enseignant responsable, et donc de solliciter une intervention de celui-ci en tant qu'expert d'une discipline d'enseignement dont on pense qu'il faut l'"introduire" dans le TPE, conformément à la consigne (et non pas la "découvrir" au cœur même de la question étudiée).

G6 : *"Au départ les idées étaient troubles et les documents trop complexes."*

"Pour y introduire de la physique, le programme nous permettait de l'utiliser, mais pour les mathématiques, ce fut beaucoup plus difficile."

"*Introduire des mathématiques dans ce sujet n'était pas évident et notre problématique n'était pas assez claire.*"

le plaisir et le défi de travailler seuls

Mais le plaisir de travailler seuls peut prendre aussi la forme du défi : par exemple, chez un groupe d'élèves filles qui avaient d'abord voulu travailler sur les planètes, puis avaient ensuite recentré leur sujet sur les problèmes liés à la retombée d'objets dans l'atmosphère, il s'agissait surtout, comme elle nous l'ont elles-mêmes précisé lors d'un entretien, de "montrer" de quoi elles étaient capables ! Et ce, autant aux enseignants (messieurs uniquement) de leur spécialité "sciences de l'ingénieur", qu'à leurs camarades garçons. D'autres groupes formulent le défi du travail personnel, en termes d'autonomie et de liberté de choix :

G2 : *"Ayant déjà réalisé les TPE en classe de 1re, nous avions quelques notions d'organisation et de répartition du travail, cependant cette première expérience avait été très décevante car le sujet nous avait été imposé."*

ou encore d'exigence, pleinement assumée, de compréhension de ce que l'on écrit :

G4 : *"Il fallait surtout comprendre ce que l'on écrivait ; nous avons reformulé les documents de façon à ce que ce soit compréhensif pour nous, mais aussi pour vous."*

L'intérêt d'être lu par d'éventuels "jurys extérieurs" prend une importance inattendue : il apparaît comme une source de motivation pour expliciter davantage des arguments ou des informations retenues, alors que peut-être avec les enseignants habituels (que l'on connaît et qui vous connaissent trop bien), on aurait plutôt tendance à fonctionner de manière implicite ou approximative, parce qu'ils comprendront bien ce qu'on veut dire.

2.3. L'expérience paradoxale du Travail Personnel Encadré

la découverte de l'organisation collective du travail en groupe

De manière quasiment unanime, ce que nous apprennent presque toutes les fiches de synthèse que nous avons dépouillées, c'est que les TPE signifient pour les élèves la découverte de l'autonomie, du travail en groupe, de l'organisation collective, du sens de la recherche et de l'esprit critique. Ce sont les avantages principaux que les élèves signalent, et qui semblent être finalement plus importants, du moins en place accordée dans la rédaction de leur fiche de synthèse, que l'acquisition d'un nouveau savoir (3). Pourtant, au départ, c'était surtout l'ignorance ou la superficialité des connaissances qui était avancée comme motif du choix d'un sujet d'astronomie.

G2 : *"Les TPE se sont révélés être une expérience très bénéfique sur de nombreux plans : tout d'abord, l'apprentissage du travail en groupe, nous avons pu apprendre à écouter et tirer avantage des discussions communes, cela représente un réel intérêt du point de vue culturel, ce projet nous permettant de comprendre et de maîtriser un thème qui, à l'origine, nous intéressait réellement mais nous était parfaitement inconnu."*

G4 : *"Les TPE sont selon moi un travail d'équipe plutôt qu'un travail personnel. Cependant ils nous permettent d'être plus autonomes. Ils nous apportent de nouvelles connaissances, nous permettent d'acquérir de nouvelles méthodes de recherche. Ils nous permettent de prendre des responsabilités non seulement envers soi mais aussi envers les autres de développer un esprit critique."*

---

(3) Cela confirme ce que nous avons découvert par ailleurs au travers des entretiens avec les enseignants que nous avons rencontrés : cf. DELATTRE, J., Exercice de la liberté et de la créativité en milieu scolaire ordinaire, dans le cadre du dispositif des "travaux personnels encadrés (TPE) au lycée", communication au Colloque international *Utopies et pédagogies* de mai 2002 à Walderbach (Actes à paraître).

être plus autonomes et développer l'esprit critique

G5 : *"D'effectuer ce travail a développé ma curiosité et m'a donné plus de confiance en moi dans le sens où je me sens désormais plus autonome."*

La conviction d'avoir investi un champ de connaissance non scolaire est très forte.

G2 : *"Cette étude m'a appris de nombreuses choses (vie des étoiles, processus de formation, d'autosurvie, d'extinction) que peut-être je n'aurais jamais découvert durant mes études."*

G4 : *"Les TPE ont été pour moi très instructifs car ils m'ont permis de découvrir en mathématiques et en physique des informations non étudiées en cours, et même en physique, d'approfondir le cours sur le mouvement des satellites."*

Le changement des relations avec les professeurs est signalé comme il l'avait déjà été dans les entretiens que nous avons réalisés avec les groupes d'élèves de classes de Première (Boulet et Delattre, 2001):

une relation différente avec les professeurs

G3 : *"Les TPE nous ont apporté des points positifs : le sens de l'organisation et de la répartie, l'esprit d'équipe mais aussi une relation différente avec les professeurs."*

"J'ai pu approfondir mes connaissances ; j'ai appris à travailler en groupe ; j'ai acquis une certaine autonomie bien que les professeurs fussent là pour nous guider, nous aider en cas de problème."

"Il nous a fallu faire un tri car certains documents étaient trop complexes, mais l'aide des professeurs nous a été précieuse."

Il est probable que l'écriture des fiches de synthèse, quoique étant la partie la plus personnelle du travail exigé en TPE, puisqu'il arrive que les carnets de bord soient collectifs, ait néanmoins été supervisée par un relecteur enseignant ou même parent, mais cela ne peut suffire, selon nous, à invalider le caractère extrêmement intéressant de ces brefs écrits personnels, sources d'information irremplaçable sur la manière dont les élèves perçoivent et vivent le nouveau dispositif, et tout particulièrement dans le cas des sujets d'astronomie.

3. SE CULTIVER EN ASTRONOMIE GRÂCE AU TRAVAIL PERSONNEL ENCADRÉ : ÉLARGISSEMENT DU DÉBAT

Le nombre de fiches que nous avons lues est trop réduit (24) pour oser tenter la moindre généralisation. Pourtant, il nous a semblé important de faire connaître, d'une part, la proportion non négligeable de sujets d'astronomie parmi les sujets choisis par nos élèves, d'autre part, un "effet TPE" inattendu : l'envie d'apprendre et de savoir autrement ou différemment, telle qu'elle s'était fortement exprimée dans les réponses des lycéens à la grande enquête sur *"Quels savoirs enseigner au lycée ?"* en 1998, aurait trouvé semble-t-il une certaine satisfaction dans ce nouveau dispositif, en tout cas s'agissant d'astronomie. Mais paradoxalement, cela se solderait moins

un effet TPE inattendu...

en termes d'acquisition de contenus (rarement identifiables comme "scolaires") qu'en termes d'acquisition de savoir-faire, de compétences plus générales ou transversales, celles-là mêmes qu'il est dit si difficile d'acquérir à travers les apprentissages scolaires disciplinaires quotidiens.

... amplifié par le choix des sujets d'astronomie

Il nous reste à nous demander si précisément le choix de sujets d'astronomie n'amplifierait pas un tel "effet TPE" et pour quelles raisons. Il est vrai que, sans avoir disparu complètement des programmes d'enseignement, l'astronomie n'y figure pas à titre de rubrique spécifique, qu'elle s'enseigne assez rarement en tant que telle, et en tout cas toujours dans le cadre d'une autre discipline (mathématiques (4), sciences de la Vie et de la Terre, sciences physiques et chimie, ou encore géographie). La marginalisation de cette *"discipline scientifique plus culturelle que scolaire"* (Laisne, 2000) semble résister aux efforts redoublés d'astronomes et d'enseignants militants (5). Pourtant beaucoup d'idées d'activités – un trésor en termes d'apprentissages possibles – sont proposées, beaucoup d'outils aussi, dans des écoles d'été organisées pour les enseignants volontaires et intéressés qui s'y inscrivent. Des documents nombreux, faciles à consulter et à utiliser sont diffusés, pour un prix assez modique (6). Alors comment expliquer la réticence à enseigner l'astronomie, si ce n'est par *"des raisons profondément liées à l'astronomie elle-même, à ce qu'elle est et représente pour ceux qui s'y adonnent"* (Laisne, 2000) ?

une pratique culturelle comme le théâtre, la musique ou la danse

À l'instar de cet auteur, nous aurions tendance à penser que l'astronomie se partage entre professionnels et amateurs *"d'une manière beaucoup plus évidente et privilégiée que la plupart des autres sciences"*, un peu comme le théâtre, la musique et la danse. La passion des amateurs, une fois qu'ils se sont approprié un certain nombre de techniques, peut alors les amener, en astronomie, jusqu'à découvrir eux-mêmes de nouveaux objets célestes, restés inaperçus ou négligés par les professionnels. En tant que pratique culturelle scientifique et technique, l'astronomie ne se transmet pas simplement *"comme un corpus de savoirs théoriques"*. Elle est surtout

---

(4) On remarquera, par exemple, que le programme de mathématiques de certaines sections comportait autrefois une rubrique "cosmographie" qui a néanmoins disparu.

(5) Comme ceux du CLEA (Comité de Liaison Enseignants Astronomes), par exemple (voir l'article de L. Gouguenheim dans ce numéro). *"Association déclarée (loi de 1901), le CLEA réunit des enseignants et des astronomes professionnels qui veulent ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement et dans les organismes de culture populaire. En particulier, ils agissent dans le cadre de la formation initiale et continue des enseignants... aussi bien au cours de ces stages que dans ses diverses publications, le CLEA favorise les échanges directs entre enseignants et astronomes, hors de toute contrainte hiérarchique."* : présentation de l'Association empruntée à la page 2 de sa revue : *Les cahiers clairaut.*

(6) Notons que la commission inter IREM astronomie, constituée essentiellement d'enseignants de mathématiques et de physique, s'est aussi parfois associée aux initiatives du CLEA pour diffuser des brochures d'activités astronomiques pour les enfants d'école élémentaire, de collège et de lycée (voir les publications de l'IREM de Limoges, mais aussi des IREM de Strasbourg, Besançon et Bordeaux).

désir, *"joie de comprendre un peu mieux les ressorts secrets de notre monde, pour le faire mieux aimer et respecter"*, elle est aussi un *"style de rapport au monde et à la vie"* (Laisne, 2000).

une discipline essentiellement "non scolaire" source de plaisir

En réalité, si l'école semble négliger une discipline et une pratique scientifiques, pourtant cruciales dans l'histoire de l'humanité, ce n'est peut-être pas du seul fait des praticiens et responsables de l'enseignement qui en reconnaissent volontiers la portée culturelle et les richesses poétiques, métaphysiques et épistémologiques ; c'est peut-être aussi qu'une pratique passionnée et discrète "hors l'école" constitue finalement la meilleure garantie de vitalité et de puissance pour cette discipline essentiellement "non scolaire", telle que justement les élèves et les enseignants (qui les ont "orientés" ou "suivis"), avec lesquels nous avons pu nous entretenir, nous ont paru la percevoir ou la redécouvrir dans le cadre des "Travaux Personnels Encadrés", avec beaucoup de plaisir.

Dans le travail présenté par un autre groupe de classe de Première qui avait traité de "La couleur des étoiles", on pouvait lire en conclusion que "tout n'est pas un mystère et qu'il est possible de comprendre ces phénomènes"... La formule est loin d'être banale.

Elle signifie, de manière plus large, que le choix d'un sujet d'astronomie correspond certes au projet plus ou moins flou "d'en savoir plus" sur des objets qui ont échappé à l'enseignement scientifique antérieur. Ils sont alors perçus comme "mystérieux", du fait de leur double connotation, religieuse d'une part, et d'autre part astrologique (en recrudescence dans nos sociétés mercantiles et soi-disant "mécréantes"). Aussi, paradoxalement, la volonté exprimée par environ 20 % de nos élèves des classes scientifiques de traiter de tels sujets doit-elle, selon nous, être prise très sérieusement en considération comme la manifestation d'une attitude scientifique authentique qu'il conviendrait donc de reconnaître comme telle et de cultiver avec rigueur.

un levier puissant pour approfondir l'étude de questions scientifiques

Si pour un grand nombre des élèves que nous avons rencontrés ou observés, la motivation pour les questions d'astronomie s'apparente probablement d'abord à un effet de "mode", elle ne résiste alors pas longtemps à la difficulté de cerner une problématique "raisonnable". Cependant, l'analyse du travail mené par les différents groupes d'élèves dont nous venons de lire les fiches de synthèse montre bien que lorsque la première difficulté de redéfinition du sujet a pu être surmontée, l'intérêt pour l'astronomie constitue de fait un levier puissant qui leur permet d'illustrer, approfondir et valider un enseignement scolaire déjà reçu, mais aussi de se mettre en appétit pour l'étude de questions scientifiques à venir.

Michèle SAGOT
Daniel FOSSAERT
IUFM du Nord-Pas-de-Calais

BIBLIOGRAPHIE

BOULET, M.-H. et DELATTRE, J. (2003) Les TPE une autre manière d'apprendre pour les élèves, et pour les enseignants ? Communication à l'Université inter-IREM d'été d'épistémologie et d'histoire des mathématiques de Poitiers (juillet 2001). *Repères IREM, 52.*

DELATTRE, J. Actualité de la recherche en éducation et en formation. Contribution au Congrès international de l'AECSE de Lille (septembre 2001). Publication des Actes sur CDRom. http://aecse2001.univ-lille1.fr

DELATTRE, J. (à paraître) Exercice de la liberté et de la créativité en milieu scolaire ordinaire, dans le cadre du dispositif des "travaux personnels encadrés (TPE) au lycée". Communication au Colloque international Utopies et pédagogies de mai 2002 à Walderbach (novembre 2003).

FOUREZ, G. (1985). Pour une éthique de l'enseignement des sciences. Bruxelles : éd. Chronique sociale, Lyon et Vie Ouvrière.

FOUREZ, G. (1988). La construction des sciences. Bruxelles/Paris : éd. De Boeck U.

LAISNE M. (2000). Initier à l'astronomie les enfants de 8 à 13 ans. *Spirale, 26, Culture scientifique et culture technique à l'école.*

MATHY, P. (1997). Donner du sens aux cours de sciences. Des outils pour la formation éthique et épistémologique des enseignants. Bruxelles/Paris : éd. De Boeck U.