

COMMENT AIDER À MODÉLISER “LE CIEL ET LA TERRE”

Hélène Merle

Cet article présente deux activités de modélisation conduites en cours moyen en France, avec des élèves âgés de 9 à 11 ans. Il s'agit pour les enfants de s'approprier le modèle d'une Terre en rotation sur elle-même et en révolution autour du Soleil sur un axe incliné. Nous montrons comment, grâce à des manipulations nombreuses et variées, ces jeunes élèves se montrent capables d'une modélisation authentique qui s'accompagne d'une élaboration conceptuelle.

Les activités d'investigation occupent une part importante dans les textes officiels (Bulletin officiel n° 5, 1995) concernant l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école élémentaire : on y insiste sur le fait que l'enfant doit apprendre “à formuler des questions”, à “faire émerger un problème et à le formuler correctement”. Pour résoudre les problèmes posés en classe, les activités scientifiques pratiquées avec de jeunes élèves peuvent s'appuyer sur des démarches variées. Les domaines explorés en cycle 3 (le ciel et la Terre, matière et énergie, objets et réalisations technologiques) privilégient chacun, sans pour autant s'y limiter, un type de démarche spécifique. Ainsi la démarche expérimentale est pratiquée aisément lors de l'étude de la matière, les démarches technologiques s'exprimant quant à elles lors de l'étude et de la fabrication d'objets. Le domaine “le ciel et la Terre” donne lieu dans les classes à des activités de documentation, mais de nombreux travaux ont montré la capacité des élèves de cycle 3 à modéliser (Pierrard, 1988). Nous présentons ici un travail réalisé en cours moyen qui met en jeu deux activités de modélisation liées aux mouvements de la Terre par rapport au Soleil.

1. UTILISATION D'UN PLANÉTIARIUM DANS L'ÉTUDE DE LA ROTATION DIURNE DE LA TERRE SUR ELLE-MÊME

En classe l'introduction du mouvement diurne de la Terre, c'est-à-dire de son mouvement de rotation autour de l'axe des pôles en vingt-quatre heures, s'appuie sur des observations effectuées par les élèves depuis la Terre. Il s'agit pour les enseignants de faire observer le mouvement du Soleil ou des

étoiles pendant un jour. Puis ces mouvements sont expliqués par la rotation de la Terre sur elle-même et interprétés en terme de mouvements que nous qualifierons d’"apparents" (Merle & Dusseau, 1996). L’objectif, en effet, est de faire passer les élèves de la vision de l’observateur terrestre à celle d’un observateur qui serait situé sur le Soleil.

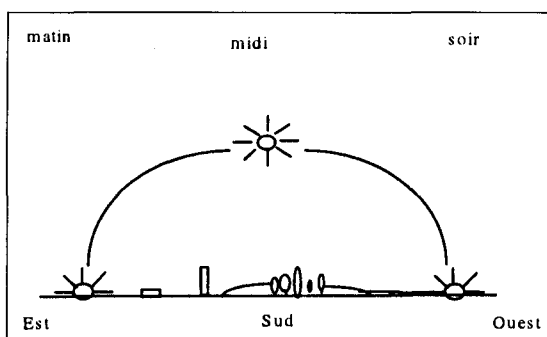
La méthode la plus répandue, que nous nommerons approche "classique", se base sur l’observation du mouvement du Soleil, pour des raisons évidentes de simplicité. Le mouvement apparent des étoiles est utilisé parfois pour conforter le travail réalisé avec le Soleil, mais il fait rarement l’objet d’une observation directe. La plupart des manuels scolaires de cours moyen proposent une photographie du ciel nocturne en pose, qui permet de visualiser la rotation "apparente" des étoiles autour de l’étoile polaire apparaissant comme fixe : c’est ce document qui sert de support en classe, lorsque la rotation des étoiles est évoquée.

Nous nous sommes posé la question de savoir si l’activité de modélisation mettant en jeu seulement la Terre et le Soleil permet une réelle conceptualisation du mouvement diurne de la Terre. Pour cela nous avons confronté une classe à l’approche classique.

1.1. Approche classique basée sur l’observation du Soleil

Rappelons rapidement les étapes de cette démarche, largement décrite et analysée par ailleurs (Pierrard, 1988). Elle débute par l’observation du mouvement apparent du Soleil sur une journée et utilise en général une représentation plane de l’espace vu par l’observateur terrestre : on représente le mouvement apparent du Soleil par rapport à un horizon assimilé à une bande horizontale sur laquelle apparaissent quelques éléments de paysage (document 1).

Document 1



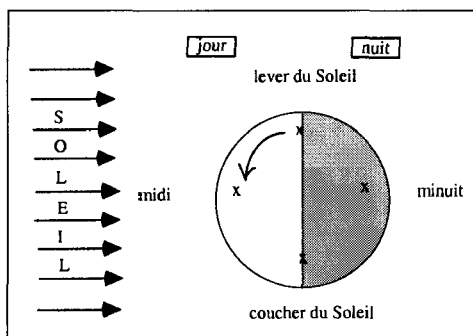
de l’observation
du mouvement
du Soleil depuis
la Terre...

Après ce travail d’observation les élèves notent que : *“Le Soleil apparaît le matin vers l’horizon est, il monte dans le ciel et*

culmine au sud à midi solaire, puis il descend et disparaît sous l'horizon vers l'ouest ; c'est alors la nuit."

Après l'observation, la recherche d'un modèle explicatif s'appuie sur l'utilisation de mimes (l'enfant jouant le rôle de la Terre) et la réalisation de maquettes explicatives (source de lumière pour le Soleil et globe pour la Terre). Les élèves miment ou représentent à l'aide de maquettes deux modèles qui permettent d'interpréter les observations : Soleil qui tourne autour de la Terre ou Terre tournant sur elle-même (d'autres modélisations sont possibles et ont été étudiées par M-A Pierrard (1988). Comme il est impossible de choisir entre ces deux modèles, le recours à la documentation permet de valider le second modèle. Ce travail de modélisation conduit à la schématisation et à la conclusion suivantes (document 2) :

Document 2



... à la rotation de la Terre sur elle-même

"Le mouvement du Soleil d'est en ouest au cours d'une journée n'est qu'apparent. En fait le Soleil est fixe mais on le voit tourner à cause de la rotation de la Terre sur elle-même d'ouest en est en 24 heures."

une activité de modélisation...

Nous allons analyser plus particulièrement les activités mises en œuvre lorsqu'on introduit le mouvement diurne de la Terre. Lors de cette séance, les objets réels sont remplacés par des objets de substitution : sphère ou globe terrestre pour la Terre, lampe ou projecteur de diapositives pour le Soleil. Comme le souligne Pierrard (1988), cette manipulation peut ainsi être considérée comme une aide à la modélisation, le terme de modèle étant pris au sens de substitut du réel. Nous pouvons utiliser le terme de "modèle physique" pour décrire le type de modèle utilisé ici, au sens de Walliser (1977), puisqu'il s'agit d'une maquette utilisant des objets concrets homothétiques des objets réels. De plus l'analogie entre les objets réels (la Terre et le Soleil) et la maquette (globe terrestre et lampe) fonctionne dans les deux sens : les enfants participent à l'élaboration et à la description de la maquette dans un premier temps, et acceptent ensuite d'appliquer les conclusions tirées de l'observation de la maquette aux objets réels.

Enfin plusieurs modèles peuvent expliquer les phénomènes observés et les élèves doivent choisir le "bon" modèle : comme ils n'ont pas le moyen de trancher entre les deux hypothèses, ils admettront les informations fournies par une documentation scientifique. Il semble donc que cette activité aide les élèves à prendre conscience qu'ils manipulent des modèles, puisque ceux-ci ne sont considérés que comme une explication possible de la réalité et non comme la réalité elle-même.

Pour ces trois raisons, Pierrard pense pouvoir affirmer que dans cette situation de classe, les élèves ont mené une réelle activité de modélisation. Si nous sommes tentés d'adhérer à cette interprétation, une question importante se pose toutefois : cette activité de "modélisation" permet-elle une réelle conceptualisation du mouvement diurne ?

La plupart des auteurs sont d'accord pour attribuer trois fonctions aux modèles : fonction de représentation, d'explication et de prédiction. Les deux premières fonctions semblent assurées par l'activité décrite ci-dessus car les exercices qui concernent la situation étudiée en classe, c'est-à-dire le cas du Soleil sont en général correctement réalisés.

Mais s'il y a réellement eu conceptualisation, les élèves devraient être capables d'utiliser le "modèle" pour prévoir les autres conséquences du mouvement diurne pour l'observateur terrestre, à savoir le mouvement d'ensemble de la voûte céleste et plus particulièrement la rotation des étoiles autour de l'étoile polaire. La capacité de prédiction est en effet une fonction importante du modèle : le schéma de J.-L. Martinand (1992) montre que la démarche de modélisation comporte des moments d'application du modèle construit sur le référent empirique. Si cette application s'exerce sur un référent empirique "élargi", au monde des étoiles dans le cas qui nous préoccupe, il y a alors prédiction. Si toutefois les élèves n'étaient pas capables de prédire le mouvement des étoiles, on peut espérer qu'ils seront capables de l'interpréter, après l'avoir observé, en utilisant le modèle préalablement élaboré.

... qui n'assure pas toujours une fonction de prédiction

Pour tester les capacités de prévision des élèves nous les avons interrogés individuellement, juste après la séquence "classique", au sujet du mouvement apparent des étoiles (annexe 1). Seulement 43 % d'entre eux sont capables de mobiliser le modèle d'une Terre en rotation pour prévoir ce mouvement apparent en l'expliquant correctement. Après observation de ce mouvement au planétarium, le pourcentage d'élèves capables de l'expliquer correctement reste le même.

Ainsi, la fonction de prédiction n'est pas assurée pour un nombre important d'élèves, puisque l'application du modèle à un référent empirique "élargi" ne fonctionne pas. Quant à la nature du mouvement apparent des étoiles (une rotation autour d'un point fixe représenté par la polaire) elle n'est envisagée par aucun élève, dans une classe pourtant de très bon niveau.

Il nous a donc semblé indispensable, pour construire réellement le concept de mouvement diurne, d'étendre le travail à l'observation du mouvement d'ensemble de la voûte céleste, grâce à l'utilisation d'un planétarium. Notre hypothèse est que ce travail d'observation et d'interprétation permettra d'améliorer sensiblement la conceptualisation du mouvement de la rotation de la Terre. Nous allons donc décrire et analyser les séances de planétarium et d'exploitation mises en œuvre.

1.2. Approche incluant l'utilisation d'un planétarium

Ce travail a été réalisé dans la classe précédente et reproduit dans 6 autres classes de CM1, ou de CM2 en tout début d'année scolaire (168 élèves au total). Après une approche classique, les élèves ont été conduits au planétarium. Nous avons animé nous-mêmes les séances de planétarium et les maîtres disposaient d'une fiche de préparation détaillée pour les séances d'exploitation que nous avons observées. On constate que les réactions des élèves sont très semblables dans les différentes classes.

Le planétarium utilisé est un mini-planétarium modèle GOTO EX-3 de chez Perl, permettant de projeter entre autres les positions de 500 étoiles sur un dôme de trois mètres de diamètre. Il peut accueillir une quinzaine de personnes, soit une demi-classe. L'intérêt d'un planétarium pour ce qui nous préoccupe est évidemment la visualisation en accéléré du mouvement de rotation des étoiles autour de l'étoile polaire. De plus la perception d'un espace à trois dimensions est immédiate : les enfants se tournent sur leurs chaises dans toutes les directions, pointent certaines étoiles pour les montrer à leurs camarades placés différemment... Le travail d'exploitation pourra donc utiliser facilement un support en trois dimensions (demi-sphère transparente symbolisant la voûte céleste).

• séance de planétarium

Dès que le projecteur est allumé, les enfants ont des réactions d'émerveillement. L'animateur fait identifier quelques constellations essentielles comme la Grande Ourse, la Petite Ourse et l'étoile polaire, Cassiopée, et d'autres faciles à reconnaître. La position des points cardinaux est rappelée en utilisant comme référence l'étoile polaire placée au nord. Ensuite, le mouvement de la voûte céleste est déclenché. Les élèves sont fort étonnés lorsqu'ils l'observent, même ceux qui l'avaient prévu. Mais assez rapidement fusent des remarques du type : *"c'est normal puisque la Terre bouge, c'est pas les étoiles qui bougent, c'est la Terre..."*. Les enfants qui s'expriment raisonnent par analogie avec le Soleil : *"c'est comme pour le Soleil, on croit qu'il bouge mais en fait c'est une impression... avec les étoiles c'est pareil"*.

l'observation du mouvement de la voûte céleste...

Un nouvel étonnement se manifeste lorsque les élèves découvrent l'immobilité de l'étoile polaire. Il s'agit là d'une découverte qui les déstabilise. En effet pour la plupart d'entre eux, la découverte du mouvement apparent des étoiles va dans le sens de l'évolution conceptuelle en cours, même s'ils ne maîtrisent pas encore tout à fait le phénomène. Par contre, l'immobilité de l'étoile polaire constitue au contraire un obstacle qui s'oppose à cette construction intellectuelle en gestation (*"si le mouvement de la Terre explique qu'on voit bouger les étoiles, pourquoi il y en a une qui ne bouge pas ? Elles devraient toutes bouger..."*). D'où la nécessité pour les enfants de remettre en cause leur modèle explicatif ou du moins de l'enrichir pour pouvoir y intégrer cette nouvelle donnée. Il s'agit donc là d'une situation extrêmement riche sur le plan didactique. On voit donc que le planétarium constitue un excellent outil didactique car en visualisant le mouvement de la voûte céleste, il déclenche une situation-problème.

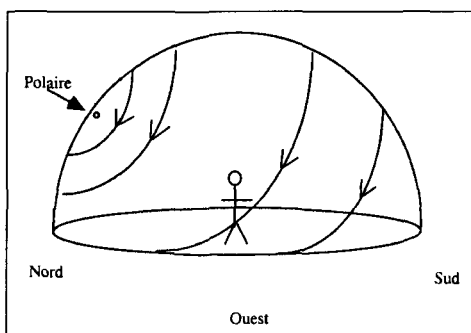
• tracé du mouvement apparent des étoiles autour de la polaire

Les enfants disposent d'une planchette représentant le sol, sur laquelle est placé, au centre, un petit personnage symbolisant l'observateur. Le demi-globe transparent renversé sur cette planchette représente pour les élèves le "grand parapluie" du planétarium, c'est-à-dire la voûte céleste. La consigne est de reproduire le plus fidèlement possible les mouvements des étoiles observés lors de la séance de planétarium. Ils doivent dessiner les trajectoires ("trajet" ou "chemin") de quatre étoiles plus ou moins proches de l'étoile polaire.

... des trajectoires
des étoiles autour
de la polaire...

Les productions sont maladroites et incomplètes : certains élèves font tourner uniquement les étoiles circumpolaires, d'autres ne dessinent que les étoiles qui se "lèvent" à l'est et se "couchent" à l'ouest, pour d'autres enfin les trajectoires sont verticales et non inclinées. Après confrontation entre ces diverses productions et analyse critique le maître invite les enfants à imaginer une méthode de tracé permettant d'obtenir un résultat plus correct. Dans les classes, lors de l'observation, les enfants remarquent très nettement que *"ça fait des cercles"*, *"c'est comme avec un compas"*, *"il faudrait mettre la pointe sur l'étoile polaire"*... Les enfants pensent à l'utilisation du compas ; les maîtres proposent pour plus de facilité d'utiliser des ficelles et les élèves effectuent leurs tracés en fixant l'extrémité de la ficelle sur l'étoile polaire. Ce travail de tracé est indispensable afin que les enfants prennent conscience du mouvement d'ensemble du ciel (document 3), mouvement qu'ils semblaient avoir perçu lors de la séance au planétarium mais qu'ils n'avaient pas assimilé, comme le prouvent leurs premières productions.

Document 3



• **recherche d'un modèle explicatif**

L'hypothèse relative à un mouvement de la Terre est rappelée, ainsi que les problèmes qu'elle soulève : "si le mouvement de la Terre explique qu'on voit tourner les étoiles qu'on observe depuis la Terre, alors pourquoi y a-t-il une étoile immobile ?"

Le maître propose le matériel nécessaire pour trouver une explication. Les élèves disposent d'un mini-globe terrestre (taille-crayon) monté sur un axe (aiguille à tricoter). Ils ont également à leur disposition la demi-sphère transparente qui représente la voûte céleste. Cette demi-sphère est percée au niveau de l'étoile polaire depuis la séance de tracé, il est donc possible de faire passer l'axe des pôles par ce trou. Quelques gommettes sont fixées sur la voûte et représentent des étoiles, qui sont supposées immobiles. La consigne est la suivante : *"Comment faut-il placer la Terre et la faire tourner, pour que l'observateur sur la Terre voit les étoiles tourner, la polaire restant fixe ?"*

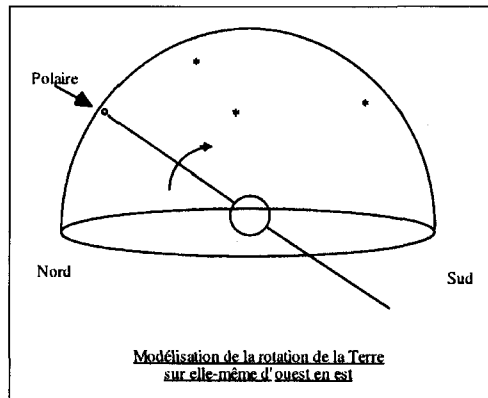
... s'interprète aussi par la rotation de la Terre

Le premier tâtonnement consiste à placer la Terre au centre de la voûte céleste. Après cette étape, les élèves inclinent intuitivement la Terre en direction de la polaire et la font tourner sur elle-même pour tenter d'imaginer la conséquence de ce mouvement pour l'observateur terrestre. Le maître apporte l'aide nécessaire en suggérant par exemple aux élèves de placer un doigt sur le bout de l'aiguille : *"ah oui, si je mets mon doigt sur l'aiguille et que je fais tourner la Terre, mon doigt ne bouge pas. C'est pour cela que la polaire est immobile"*. Ce travail permet donc d'introduire la notion d'axe de rotation, les points situés sur l'axe étant immobiles pour l'observateur terrestre.

La détermination du sens de rotation de la Terre est difficile pour les enfants et l'origine de cette difficulté a été analysée par ailleurs (Merle, 1999). Cela conduit à proposer aux enfants une analyse des positions successives de la Terre correspondant au lever, à la culmination et au coucher d'une étoile donnée. Sur les mini-globes utilisés, les continents sont représentés par des couleurs différentes : Asie en jaune,

Europe et Afrique en blanc, Amérique en vert. Un rappel concernant les points cardinaux est organisé : les enfants doivent identifier et localiser sur le globe le continent qui est à l'est de la France (l'Asie), celui qui est à l'ouest (l'Amérique) et au sud (l'Afrique). Le maître guide l'observation dans les groupes en demandant par exemple : *"Place la Terre pour que cette étoile soit visible à l'est pour les français, puis au sud et enfin à l'ouest"*. Si l'étoile est au-dessus de la Russie, les enfants en déduisent que l'étoile est visible à l'est pour eux, donc qu'elle est en train de se lever. De nombreux exercices de ce genre permettent de repérer les positions de la Terre correspondant au lever, à la culmination et au coucher de telle étoile. Les élèves en déduisent le sens de rotation de la Terre sur elle-même, inverse du sens de rotation des étoiles autour de l'étoile polaire (document 4).

Document 4



1.3. Résultats

À la fin de la séquence, de nombreux exercices de transfert (voir annexe 2) ont été soumis aux élèves. Il s'agit d'interpréter ou d'imaginer des situations qui n'ont pas été étudiées en classe, donc ces exercices sont difficiles pour des enfants de cet âge. L'analyse globale des résultats permet de constater que 56 % d'élèves manifestent, à travers nos tests, une bonne maîtrise du mouvement diurne (3 exercices réussis au minimum sur les 4 proposés). Dans deux des classes, les évaluations différées réalisées deux mois et un an après la fin du travail montrent la stabilité des acquis, certains élèves ayant même progressé : les acquis ne sont donc pas superficiels, mais correspondent à une réelle conceptualisation pour plus de la moitié des élèves.

Pour les autres élèves, l'objectif visé n'est pas atteint totalement. Le concept est seulement en cours d'acquisition pour 30 % d'élèves (2 exercices sur 4 réussis), pour 14 % d'entre

... et permet
une meilleure
conceptualisation
du mouvement
diurne

eux les réponses fournies aux différents exercices d'évaluation sont très confuses : cela montre qu'il est difficile voire impossible, pour ces élèves, de concevoir, en fin de séquence sur le mouvement diurne, la relativité des mouvements de la Terre et des astres. Les activités proposées permettent toutefois à ces élèves de découvrir des phénomènes inconnus (le mouvement des étoiles autour de la polaire en particulier) et de mettre en doute les données de la perception immédiate en les confrontant aux données scientifiques.

Le travail réalisé au planétarium permet un progrès très net dans la conceptualisation du mouvement diurne, l'aptitude des élèves à changer de point de vue s'étant nettement améliorée. Il est intéressant en particulier de noter que ce travail pointe du doigt la nature du mouvement de la Terre, à savoir une rotation autour d'un axe dirigé vers l'étoile polaire.

2. UTILISATION D'UN PLANÉTIARIUM DANS L'ÉTUDE DE LA RÉVOLUTION ANNUELLE DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL

La révolution annuelle de la Terre autour du Soleil constitue le deuxième mouvement que nous devons faire étudier aux élèves. Ceux-ci sont nombreux à posséder avant enseignement des connaissances sur les mouvements de la Terre, mais la plupart d'entre eux n'établissent pas de relations correctes entre chacun des deux mouvements et ses conséquences pour l'observateur terrestre. Ainsi le premier mouvement qu'ils mobilisent à tort pour expliquer la succession des jours et des nuits est souvent le mouvement de révolution. Pour constater les effets de cette révolution sur l'observateur terrestre, il faut observer le ciel étoilé toute l'année et constater que les étoiles visibles la nuit ne sont pas toujours les mêmes au fil des mois. Une observation répétée du ciel en début de nuit chaque mois permettrait de familiariser les élèves avec ce phénomène, mais ceci est pratiquement irréalisable avec une classe pour des raisons matérielles évidentes. Par contre le planétarium constitue un outil irremplaçable pour simuler cette observation : il permet de visualiser la position du Soleil parmi les constellations de l'écliptique à une période donnée de l'année et d'en déduire le ciel visible la nuit à cette saison. Le déplacement apparent du Soleil sur l'écliptique au cours de l'année est ensuite matérialisé et constitue le point de départ du questionnement : les élèves seront en effet conduits à s'interroger sur ce mouvement. Un travail de modélisation leur permettra d'élaborer ou de "reconstruire", sur la base des observations faites au planétarium, le modèle d'une Terre en révolution autour du Soleil.

Le travail a été réalisé dans cinq classes de CM2. Dans chacune de ces classes, le mouvement diurne a tout d'abord été étudié selon la procédure décrite précédemment (travail

sur le Soleil puis sur les étoiles grâce au planétarium). Suit l'étude de la révolution de la Terre autour du Soleil, qui se déroule sur trois séances, dont une au planétarium. Nous avons animé les deux premières séances, les maîtres prenant en charge la séance d'exploitation, que nous avons observée.

2.1. Première séance : reconnaissance de quelques constellations, dont celles de l'écliptique

des constellations
du Zodiaque...

L'animateur introduit la séance en rappelant ce qu'est une constellation et projette plusieurs diapositives de constellations, en débutant par celles que les enfants ont déjà observées au planétarium. Les diapositives suivantes présentent des constellations nouvelles, parmi lesquelles figurent des constellations du Zodiaque (ou de l'écliptique, les deux mots étant utilisés indifféremment par la suite). Dès qu'une constellation du Zodiaque est présentée, il se trouve un enfant pour dire : *"c'est mon signe"*. S'ensuit une discussion sur les *"signes du Zodiaque"* que les enfants ne connaissent bien sûr que par l'intermédiaire des horoscopes. Il ressort de la discussion qu'il existe douze signes du Zodiaque, qui sont en fait douze constellations, chacune étant affectée à un mois. Les diapositives sélectionnées représentent à la fois des constellations du Zodiaque et d'autres constellations, de manière à induire un questionnement sur les premières.

Cette séance est indispensable pour préparer la séance de planétarium qui va suivre : en effet les élèves devront être capables d'identifier sans difficulté les constellations du Zodiaque les plus reconnaissables. Les enfants sont invités à reconnaître individuellement, sur un polycopié où les douze constellations zodiacales ont été dessinées, les six d'entre elles présentées (le Sagittaire, le Taureau, les Gémeaux, le Lion, la Vierge et le Scorpion). Les noms des six constellations du Zodiaque restantes sont donnés par l'animateur.

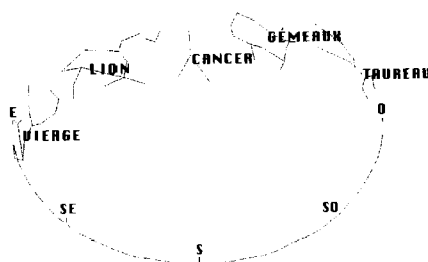
La séance se termine par une question : *"pourquoi y a-t-il douze constellations particulières appelées constellations du Zodiaque et pourquoi chacune d'elle correspond-elle à un mois ?"*. Précisons en effet que dans les cinq classes où ce travail a été réalisé, aucun enfant ne possédait la moindre connaissance à ce sujet.

2.2. Deuxième séance, au planétarium : observation du mouvement apparent du Soleil sur l'écliptique au cours de l'année

L'animateur présente tout d'abord aux élèves le ciel vu lors de la première séance de planétarium, ce qui permet aux élèves de retrouver quelques constellations faciles à identifier. Puis il visualise le mouvement apparent des étoiles autour de l'étoile polaire en faisant rappeler son interprétation.

Cette “révision” étant faite, le mouvement de la voûte céleste est arrêté lorsqu'on atteint le ciel de printemps (c'est-à-dire le ciel visible en début de nuit au printemps) : le Taureau est alors bas sur l'horizon ouest (document 5). L'animateur demande aux enfants de reconnaître quelques constellations du Zodiaque. Il peut les aider en les montrant à l'aide d'un pointeur laser. À cette période de l'année quatre constellations du Zodiaque, lumineuses et facilement identifiables, sont visibles d'ouest en est : le Taureau, les Gémeaux, (le Cancer), le Lion et la Vierge.

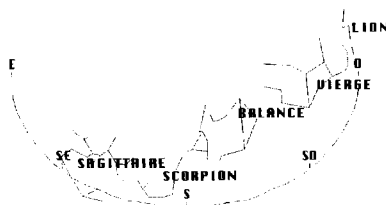
Document 5. Ciel de printemps (logiciel Redshift2)



Dès que les quatre constellations ont bien été visualisées par tous les élèves, fusent un certain nombre de remarques : *“elles se suivent, elles font une ligne...”*. Pour renforcer ces affirmations, l'animateur projette sur le planétarium l'écliptique qui apparaît sous forme d'une ligne lumineuse. Les élèves sont ravis de voir leurs remarques confortées ; l'animateur fait ensuite “tourner” le ciel de manière à vérifier que les autres constellations du Zodiaque sont bien sur cette ligne dont il donne le nom : “l'écliptique”. On observe ainsi, à la suite vers l'est, le Scorpion et le Sagittaire (document 6).

... à la notion
d'écliptique

Document 6. Ciel d'été (logiciel Redshift 2)



Un premier élément de réponse à la question de départ est donc apporté : les douze constellations du Zodiaque sont sur une ligne appelée l'écliptique. Mais le problème se pose de savoir pourquoi on a dessiné cette ligne dans le ciel : que représente-t-elle ?

L'animateur explique que pour répondre à cette question, il faut se préoccuper de ce qui se passe le jour. Il soulève le problème de la présence d'étoiles dans le ciel le jour : des enfants affirment qu'elles sont présentes mais invisibles à cause de la luminosité du ciel (*"on ne les voit pas parce que le Soleil est trop brillant"*) : cette idée est reprise et développée par l'animateur. Il évoque les débuts de nuit où on voit peu à peu apparaître les étoiles au fur et à mesure que le ciel s'assombrit, de manière à convaincre tous les élèves qu'il y a bien des étoiles dans le ciel en plein jour, même si on ne les voit pas.

Il explique ensuite que, le Soleil du planétarium n'étant pas très brillant, il permet de voir les étoiles et le Soleil en même temps, c'est-à-dire de voir les étoiles qui sont dans le ciel pendant la journée. Il place alors le Soleil (un petit disque lumineux) dans la constellation du Taureau, c'est-à-dire dans sa position au mois de juin.

On fait alors défiler le ciel de juin : les élèves constatent que le Soleil coïncide avec le Taureau, et cela pendant toute la journée ; le Taureau "se couche" et "se lève" en même temps que le Soleil, restant toujours noyé dans sa lumière. Les enfants comprennent très bien qu'à cette période de l'année, il sera donc impossible de voir cette constellation. Au coucher du Soleil, on recherche avec les élèves quelle est la constellation du Zodiaque qui se lève : ils reconnaissent aisément la constellation du Scorpion. À minuit, on constate que cette constellation culmine plein sud : elle sera donc visible toute la nuit. Enfin, lorsque le Scorpion se couche, apparaissent vers l'est le Soleil et le Taureau : c'est le jour et les étoiles ne sont plus visibles.

Il est nécessaire de faire défiler la journée complète de manière à faire verbaliser les observations par plusieurs élèves : on constate que les enfants analysent en général très bien ce qui se passe. L'animateur doit toutefois être attentif à faire préciser souvent le moment de la journée : en effet certains élèves peuvent avoir des difficultés à imaginer qu'il fait jour alors même que des étoiles sont visibles sur le planétarium. Les moments clefs (matin, midi, soir, minuit) sont donc exploités, en faisant préciser à chaque fois si les étoiles sont visibles ou non, si elles vont bientôt "s'allumer" (au coucher du Soleil) ou au contraire "s'éteindre" (au lever du jour).

Après avoir analysé en détail le déroulement d'une journée du mois de juin, l'animateur immobilise le planétarium alors que le Soleil est proche du coucher, toujours en coïncidence avec le Taureau. Il visualise alors le déplacement du Soleil de mois en mois : il le décale donc progressivement sur l'écliptique de manière à le faire coïncider avec les Gémeaux (c'est alors le mois de juillet), le Cancer (août), le Lion (septembre), la Vierge (octobre)... Il explique que depuis la Terre on voit le Soleil se déplacer ainsi sur l'écliptique de jour en jour en coïncidant chaque mois avec une constellation du Zodiaque différente.

de l'observation
du mouvement
du Soleil sur
l'écliptique...

Le Soleil est immobilisé lorsqu'il atteint la constellation du Scorpion : c'est alors le mois de décembre, six mois s'étant écoulés depuis le départ. L'animateur fait alors défiler le ciel de décembre, en reprenant l'observation en détail sur vingt-quatre heures, de la même manière que cela a été fait précédemment pour le mois de juin : en décembre, le Scorpion n'est pas visible puisque présent dans le ciel le jour, par contre le Taureau est visible toute la nuit.

Lors du retour en classe, le maître pose la question de savoir pourquoi on voit ainsi le Soleil se déplacer sur l'écliptique : aucune hypothèse claire n'a été formulée par les élèves à cette étape du travail dans aucune classe. La question est donc notée et retenue pour la séance suivante.

2.3. Troisième séance : interprétation par la révolution annuelle de la Terre autour du Soleil

L'observation réalisée au planétarium est rappelée par les enfants et le maître propose une manipulation pour tenter de répondre à la question. Il rappelle que l'écliptique était inclinée au planétarium, mais pour simplifier, l'écliptique sera représentée horizontalement.

Les élèves disposent de douze étiquettes sur lesquelles sont dessinées les douze constellations de l'écliptique, le mois correspondant à chacune d'elle étant indiqué sur l'étiquette. Par groupe, ils doivent les positionner en cercle sur une grande feuille en respectant l'ordre (de janvier à décembre) et le sens (sens inverse des aiguilles d'une montre). Puis le maître leur distribue une balle jaune pour le Soleil et un mini-globe terrestre. Les élèves doivent positionner la Terre et le Soleil pour rendre compte de ce que l'on observe au mois de juin (le Soleil coïncide avec le Taureau et le Scorpion est parfaitement visible à minuit). On constate que les élèves placent tous spontanément la Terre au centre de l'écliptique, puis ils placent le Soleil entre la Terre et le Taureau, à l'intérieur du cercle représentant l'écliptique. Cette tâche est accomplie correctement par tous les groupes, sans difficulté majeure : au sein des groupes s'engagent des échanges au cours desquels la situation est analysée correctement : en particulier les élèves privilégient midi et minuit, ou la partie jour et la partie nuit de la Terre. Ainsi, tout en manipulant, ils expliquent : *“À midi (ou quand il fait jour), on est en face du Taureau, il est derrière le Soleil, donc on ne le voit pas car le Soleil est trop brillant ; à minuit (ou la nuit) on est du côté du Scorpion, on le voit bien parce qu'il fait nuit.”*

La deuxième tâche consiste à positionner la Terre et le Soleil au mois de décembre. Tout naturellement, les élèves font tourner le Soleil autour de la Terre d'un demi-tour, reprenant les explications antérieures en inversant les rôles des deux constellations. Dans l'immense majorité des cas, c'est donc un modèle géocentrique qu'ils élaborent. Le maître reste le

... à la révolution de la Terre autour du Soleil

plus neutre possible, sans critiquer ni valider les propositions des élèves. Il leur demande toutefois de dessiner sur leur feuille le résultat de leur travail en donnant un code de couleur (Terre en bleu et Soleil en jaune) : il précise que chaque groupe devra ensuite expliquer aux autres ce qui se passe au cours d'une année. Nous avons constaté qu'à ce moment de la séquence certains élèves prennent conscience du décalage entre leurs connaissances et le modèle qu'ils viennent d'élaborer : placés devant leur schématisation, ils constatent qu'ils ont fait tourner le Soleil autour de la Terre au cours de l'année. On entend donc dans certains groupes des réactions telles que : *"on s'est trompé, c'est le contraire, c'est pas le Soleil qui tourne autour de la Terre, c'est la Terre qui tourne autour du Soleil..."*. Il s'ensuit chez ces élèves une période de grande déstabilisation, ces remarques étant la manifestation d'un conflit cognitif important et pendant quelques instants les enfants sont extrêmement perplexes. Mais rapidement un élève du groupe propose d'inverser les positions de la Terre et du Soleil et les enfants constatent que le nouveau modèle permet lui aussi d'expliquer les observations. Dans chaque classe, un groupe au moins a fait seul ce cheminement.

La mise en commun permet de comparer les différentes propositions des groupes. Dans toutes les classes, nous avons pu confronter les deux modèles : les enfants constatent très vite que, selon les groupes, soit le Soleil tourne autour de la Terre, soit la Terre tourne autour du Soleil (document 7). Il en résulte un conflit socio-cognitif qui, pour de nombreux élèves, est nécessaire à la remise en cause du modèle géocentrique mobilisé spontanément.

une activité de modélisation...

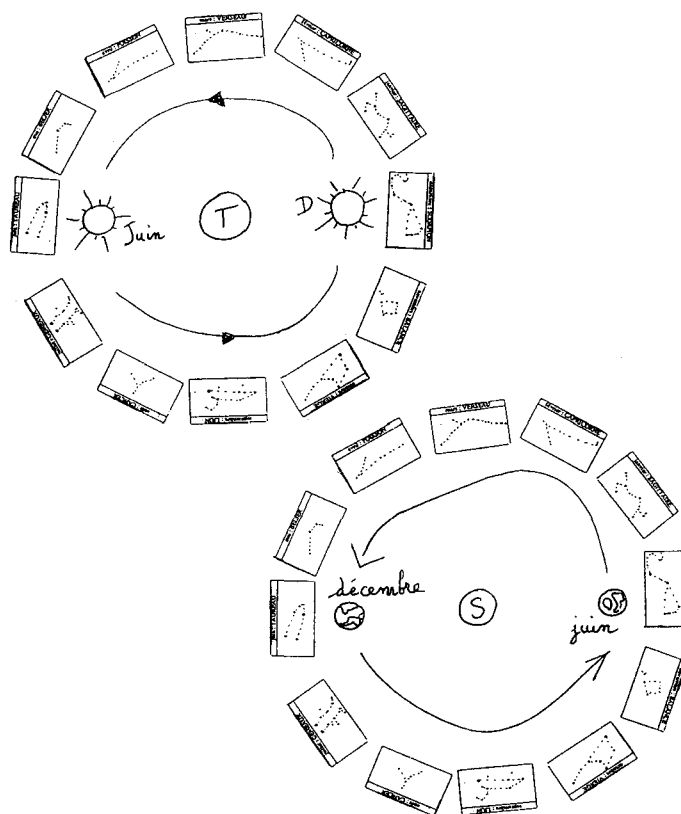
La confrontation amène très rapidement à privilégier le modèle héliocentrique : le conflit se résout uniquement en fonction des connaissances antérieures des élèves qui les conduisent à considérer comme fausses les propositions relevant du modèle géocentrique. Mais les élèves n'utilisent pas le retour au réel pour défendre ou valider le modèle qu'ils ont élaboré, quel qu'il soit. À aucun moment ils ne mettent en relation leur modèle et ce qu'ils ont observé au planétarium. Les connaissances livresques prennent le pas et constituent la seule référence valable, gage d'une vérité scientifique qui ne doit pas être remise en cause.

L'intervention du maître est nécessaire pour imposer une analyse des deux modèles, et en particulier du modèle géocentrique, en relation avec les observations réalisées au planétarium. Il provoque donc une discussion en demandant si chaque type de modèle explique bien ce que l'on observe : les élèves admettent que c'est bien le cas. Mais il faut noter qu'il est encore nécessaire de faire réfléchir les élèves sur l'idée que deux modèles différents peuvent expliquer la même observation. L'accord se fait sur l'idée que le premier modèle représente "ce que l'on voit depuis la Terre",

tandis que le second représente "ce que l'on verrait depuis le Soleil".

Le modèle héliocentrique est bien sûr présenté comme le modèle scientifiquement admis, en accord avec la "réalité" des faits.

Document 7. Confrontation des modèles élaborés



2.4. Résultats

Les élèves des classes concernées ont été soumis à une évaluation terminale deux semaines environ après la fin du travail et à une évaluation différée réalisée deux mois plus tard. Nous avons voulu tester non seulement les acquis concernant la révolution de la Terre, mais également la capacité des enfants à analyser des situations mettant en jeu les deux mouvements de la Terre. Les exercices proposés sont beaucoup plus difficiles que les exercices proposés couramment à des élèves de cet âge : cet élément ne doit pas être oublié dans l'analyse qui suit.

... qui montre que le mouvement de révolution...

L'évaluation terminale (voir annexe 3) porte sur les 109 élèves présents. Les taux de réussite obtenus pour chaque exercice, si on exclut la question relative au mouvement diurne (mouvement apparent du Scorpion d'est en ouest dans le troisième exercice), sont compris entre 65 % et 75 % selon les items. Une analyse globale des résultats donne un taux de réussite de 70 %. Les mêmes exercices ont été soumis à deux des classes lors d'une évaluation différée et le taux de réussite global s'est accru : il semble donc que les acquis se soient consolidés. Une réussite de cet ordre montre l'intérêt du planétarium et de la procédure utilisée.

D'autre part les résultats obtenus montrent que l'étude de la révolution annuelle de la Terre autour du Soleil est plus facile pour les élèves que celle de la rotation de la Terre sur elle-même. Il s'agit là d'un résultat qui nous semble essentiel : il doit permettre aux enseignants d'accorder une attention particulière à l'étude du mouvement diurne, qui constitue une difficulté importante dans l'étude des phénomènes élémentaires d'astronomie de position.

... est plus accessible que le mouvement diurne...

Nous allons tenter de comprendre l'origine de cette différence. Certes c'est la deuxième fois que les élèves sont confrontés à un mouvement "apparent" et les activités de modélisation leur sont plus familières. Mais l'explication essentielle nous semble être ailleurs. Dans ce deuxième travail, lors de la modélisation, les élèves doivent simplement aligner la Terre, le Soleil et une constellation donnée du Zodiaque, celle qui coïncide avec le Soleil à la période considérée. Spontanément, comme nous l'avons dit plus haut, tous les élèves font tourner le Soleil autour de la Terre, modélisant ainsi la situation dans un repère géocentrique. L'intervention du maître est presque toujours nécessaire pour que les enfants construisent le modèle héliocentrique, mais souvent fusent des remarques telles que : *"ça revient au même"* ou *"c'est pareil"*. Ces réactions sont significatives : dans cette activité en effet, la Terre est assimilée à un point ou plus exactement un "bipoint" constitué de la partie jour et de la partie nuit de la Terre. Le changement est donc faible lorsqu'on fait tourner la Terre autour du Soleil, au lieu de faire tourner le Soleil autour de la Terre. Il s'agit simplement d'invertir les rôles entre le Soleil et la Terre, en conservant la nature du mouvement : une rotation d'un point autour d'un autre point. Seul est modifié l'élément central de la rotation, c'est-à-dire en fait le point supposé fixe par rapport aux étoiles. Dans l'étude du mouvement diurne, par contre, la Terre est prise en compte dans sa globalité : c'est bien un solide qu'il s'agit de faire tourner sur lui-même, avec tous les problèmes que cela pose. En effet, toutes les composantes du concept de Terre sont alors mises en jeu : notion d'horizon, d'espace accessible à l'observateur, de verticale et d'horizontale en particulier. Il ne s'agit pas seulement ici d'invertir les rôles entre le Soleil et la Terre, mais bien d'attribuer au

“solide-Terre” un mouvement de rotation sur lui-même. Or ce mouvement est fort différent de la révolution apparente du Soleil autour de la Terre en vingt-quatre heures et on comprend aisément que la difficulté soit nettement plus importante pour appréhender le mouvement diurne que la révolution annuelle.

Portons une attention particulière au deuxième exercice, qui combine des phénomènes liés à la rotation de la Terre et à sa révolution. Il est particulièrement difficile car il fait appel à des connaissances récemment acquises, et nécessite également une maîtrise globale des phénomènes étudiés depuis le début du travail au planétarium, donc un esprit de synthèse très développé pour des enfants de cet âge.

Concernant les dessins à minuit, au lever du Soleil et à midi, précisons que la représentation du mouvement des constellations sur l'horizon sud n'a jamais été utilisée en classe. Une représentation de ce type n'a été utilisée que pour le mouvement apparent du Soleil, la trajectoire des étoiles ayant été représentée, quant à elle, sur un demi-globe transparent. Nous pensions que les enfants avaient acquis une maîtrise suffisante dans la représentation de l'espace pour être capables d'utiliser correctement cette représentation. Il s'avère que notre hypothèse est correcte : près de trois quarts des élèves sont en mesure de se représenter mentalement et de reproduire le mouvement de l'ensemble “Soleil-Scorpion” tel qu'ils l'ont observé au planétarium. Nous avons été étonnés, de plus, de constater que de très nombreux élèves dessinent le Soleil et la constellation du Scorpion même lorsqu'ils sont au-dessous de l'horizon. Pourtant cela n'était pas demandé dans la consigne et les élèves n'ont observé ces astres que pendant leur passage au-dessus de l'horizon : ils en déduisent facilement la partie non visible de leur trajectoire et leur position sur cette trajectoire aux moments clefs de la journée. On peut dire que ces élèves ont élaboré, grâce au planétarium, le modèle d'une sphère céleste complète autour de l'observateur, alors même que le planétarium ne les confronte qu'à l'observation d'une demi-sphère. La sphère céleste dans son ensemble est perçue comme une sphère en rotation autour de l'observateur. Le planétarium joue un rôle essentiel dans cette vision de l'espace. En effet une observation réelle, du fait de la lenteur des déplacements et de leur amplitude, ne permettrait vraisemblablement pas une telle construction mentale.

... et qui structure
l'espace

Le mouvement apparent du Scorpion d'est en ouest devait être expliqué, bien sûr par la rotation de la Terre autour de son axe. Notons qu'aucune manipulation précise n'a été réalisée au cours de la séance de modélisation pour expliquer ce mouvement. Le modèle de Terre utilisé est un modèle extrêmement simple limité à deux parties : la partie jour de la Terre (d'où l'on aperçoit le Soleil devant le Scorpion) et sa partie nuit (dirigée vers le Taureau). Mais l'analyse des

évolutions observables, entre midi et minuit par exemple, n'a fait l'objet d'aucun travail spécifique, étant donné la densité de la séance. Un élève sur trois ne répond pas à la question. Ce chiffre peut paraître élevé mais nous ne devons pas oublier que les enfants sont "plongés" depuis trois séances dans une autre problématique : manifestement ils ne disposent pas tous du recul nécessaire pour répondre correctement à cette question. Cependant, 53 % d'élèves invoquent la rotation de la Terre sur elle-même : nous retrouvons là un taux de réussite très proche de celui obtenu lors de notre travail sur le mouvement diurne.

Lors de l'évaluation différée (voir annexe 4), nous avons cherché à savoir si les élèves étaient capables d'établir de bonnes corrélations entre diverses observations et le mouvement de la Terre dont elles résultent. Sur 110 élèves interrogés, les pourcentages de bonnes réponses pour chaque item varient de 67 % à 82 %. L'analyse globale des résultats de chaque enfant montre qu'une grande majorité d'élèves a acquis la capacité de décentration visée par ce travail.

3. UTILISATION D'UN THÉODOLITE POUR INTRODUIRE L'INCLINAISON DE L'AXE DES PÔLES PAR RAPPORT À L'ÉCLIPTIQUE

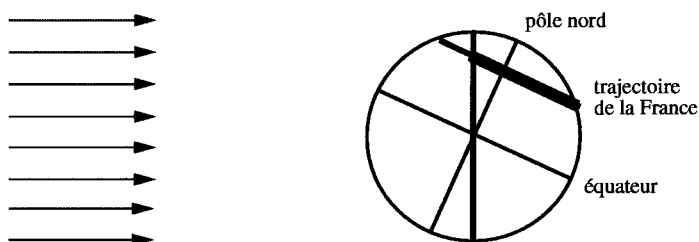
L'apprentissage visé au cycle 3 inclut la connaissance de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de l'orbite terrestre, appelé écliptique. Cette inclinaison de l'axe des pôles est responsable de l'existence des saisons. Mais, contrairement aux mouvements de la Terre connus par de nombreux élèves, cette inclinaison est peu connue des enfants avant enseignement. Un quart d'entre eux seulement relie l'existence des saisons à l'inclinaison de cet axe, sans être toujours capables de justifier cette affirmation.

introduire les saisons
par la variation de
la durée des jours...

L'étude des saisons s'appuie, en classe, sur les différences que l'on peut constater au cours d'une année ; le point de départ est le plus souvent l'étude de la variation de la durée du jour au fil des mois. Le problème que l'on se propose de résoudre est alors le suivant : *"pourquoi les jours sont-ils plus longs en été qu'en hiver ?"*. Mais l'interprétation de cette variation par l'inclinaison de l'axe des pôles est délicate. En effet, lorsqu'on incline l'axe des pôles par rapport à l'écliptique, les élèves ont tendance à faire pivoter également la séparation jour/nuite alors que celle-ci reste perpendiculaire aux rayons solaires. De plus, ils doivent imaginer le trajet de la France au cours d'une rotation de la Terre, pour pouvoir comparer la durée des jours et des nuits : ce trajet doit, quant à lui, s'incliner pour rester parallèle à l'équateur. La compréhension du phénomène met en jeu des simulations sur maquette, mais elle suppose également une capacité à

schématiser la situation (document 8), ce qui est souvent difficile pour les raisons évoquées ci-dessus.

Document 8



... ou par la variation de la hauteur du Soleil ?

Certaines "astuces" pédagogiques permettent de rendre ces obstacles franchissables par quelques élèves, mais il s'avère que cette approche pose de sérieux problèmes de compréhension pour la majorité d'entre eux. Nous avons donc choisi d'aborder les saisons en nous appuyant sur la variation de la hauteur du Soleil dans le ciel au fil des mois ce qui permet d'éliminer les difficultés évoquées plus haut. De plus, ce travail nécessite une activité de mesurage effectuée par les élèves tout au long de l'année : il permet une meilleure structuration de l'espace, tant lors des relevés que lors de leur interprétation. Cette interprétation conduit bien sûr à incliner l'axe de pôles par rapport à l'écliptique.

Le travail a été réalisé dans trois classes de CM2. Les élèves de ces trois classes avaient tous étudié, de façon classique, le mouvement diurne au CM1. En début de CM2, deux séances de révision sont organisées et le maître engage ensuite une phase de questionnement concernant l'évolution du mouvement apparent du Soleil au cours de l'année. Les élèves doivent dessiner individuellement la trajectoire du Soleil au-dessus de l'horizon en automne, en hiver et en été. Certains savent que la hauteur du Soleil dans le ciel est plus grande en été qu'en hiver, mais tous n'en sont pas conscients et on trouve de nombreuses erreurs (en particulier, le Soleil se lève exactement à l'est pour se coucher à l'ouest). Le maître propose donc d'organiser des observations régulières, en particulier en ce qui concerne la hauteur maximum du Soleil, celle atteinte à midi solaire.

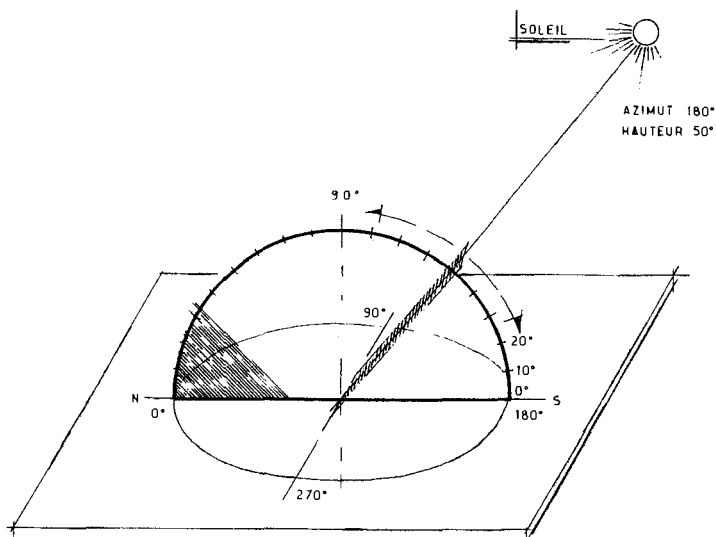
un théodolite pour mesurer...

Pour cela, il introduit un théodolite constitué d'une planchette horizontale sur laquelle sont indiqués les points cardinaux et d'un rapporteur vertical pivotant autour de son axe de symétrie ; ce rapporteur est muni d'un curseur en rotation autour du centre du rapporteur (document 9). Les enfants apprennent à manipuler le théodolite : à midi solaire, le rapporteur doit être orienté dans le plan du Soleil, donc vers le sud, l'ombre du rapporteur étant alors très étroite. Puis, le curseur doit être dirigé en direction du Soleil, faisant lui aussi

une ombre la plus étroite possible : par simple lecture sur le rapporteur, on obtient alors la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon.

Le maître s'assure que tous les élèves savent utiliser le théodolite correctement et un relevé est effectué chaque 20 jours ou le plus près possible du 20, du fait des contraintes de la météorologie. Les résultats sont notés dans un tableau et en fin d'année quatre séances d'exploitation sont organisées. L'objectif du travail de recherche dans la classe est alors d'expliquer les variations importantes constatées au fil des mois.

Document 9. Théodolite à midi solaire



3.1. Première séance : variation de la hauteur du Soleil à midi solaire au fil des mois

Le tableau sur lequel ont été notés les résultats des relevés est affiché et commenté. Puis il est complété par des valeurs fournies par le maître pour les mois manquants (tableau 10).

Document 10. Hauteur du Soleil à midi solaire

Au cours de l'année à Montpellier

Mois	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08
Hauteur du Soleil	45°	34°	26°	23°	26°	34°	45°	57°	66°	70°	66°	57°

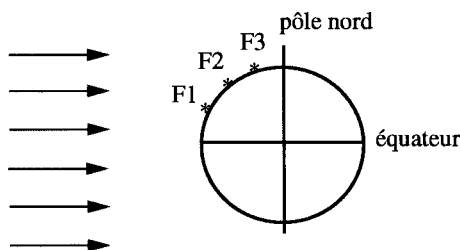
Pour mieux visualiser la variation, le maître fait tracer un graphique aux enfants, qui recherchent les valeurs maximum (70° le 20 juin) et minimum (23° le 20 décembre). Il définit ainsi les solstices d'été et d'hiver. Puis les élèves recherchent les valeurs moyennes (45° pour les équinoxes d'automne et de printemps, les 20 septembre et 20 mars). Sur le graphique ils font apparaître les solstices et les équinoxes, ainsi que les saisons.

Cette séance ne pose pas de problème, car il s'agit simplement d'établir un constat et les enfants avaient prévu au départ des différences. Toutefois, ils prennent conscience de la régularité de la variation et sont souvent très étonnés de constater l'importance de cette variation, la hauteur du Soleil variant pratiquement du simple au triple entre l'hiver et l'été.

3.2. Deuxième séance : positionnement de la France sur un globe terrestre, à midi solaire

Les élèves disposent d'un document photocopié sur lequel sont dessinés la Terre et les rayons du Soleil, l'équateur et l'axe des pôles étant matérialisés (document 11). Il s'agit d'une "vue de côté" sur laquelle l'axe des pôles est vertical, soit perpendiculaire au plan de l'écliptique, conformément au modèle utilisé jusqu'alors. Chaque élève doit positionner la France à midi solaire et les différentes productions sont ensuite affichées en vue d'une critique collective.

Document 11



Dans la plupart des dessins, la France est bien représentée à midi. Par contre, on trouve de nombreuses erreurs concernant la position de la France sur le méridien : 8 % des élèves situent la France au pôle nord ou très près du pôle (F3), 50 % la situent sur l'équateur ou très près de l'équateur (F1), et seuls 40 % la positionnent à peu près à égale distance entre le pôle et l'équateur (F2). Or la position de la France sur le globe est un élément fondamental pour la suite du travail : en effet, les relevés de la hauteur du Soleil ne permettront de positionner correctement le globe terrestre que si on connaît la latitude du point d'observation.

Après la mise en évidence des désaccords, le maître demande donc aux élèves, par groupe, d'observer un globe terrestre, de trouver un moyen pour repérer exactement la position de la France sur le globe et de la positionner sur un schéma.

Les solutions imaginées par les enfants sont nombreuses : utilisation d'une bande de papier reliant le pôle à l'équateur (en pliant la bande on constate que la France est pratiquement au milieu), utilisation des parallèles dessinés sur le globe (la France est entre le 4^e et le 5^e et il y a 9 "intervalles"), utilisation des graduations portées sur l'arc de cercle qui soutient le globe (la France est sur la graduation 45 et il y a 90 "graduations").

Nous avons souhaité nous appuyer sur une approche empirique qui constitue par ailleurs une première sensibilisation à la notion de mesure des angles ; celle-ci sera abordée de façon rigoureuse en mathématiques en classe de 6^e. Précisons en effet que dans aucune de ces classes les élèves n'ont appris à mesurer des angles à l'aide d'un rapporteur, cette notion n'étant pas au programme du cours moyen (seule la comparaison des angles y figure). Certains élèves évoquent toutefois le rapporteur qu'ils ont dans leur trousse, en disant que les nombres représentent des degrés, et en parlant de 90° pour l'angle droit, mais nous n'avons pas systématisé les acquis à ce niveau car cela ne nous paraissait pas nécessaire.

Quelle que soit la méthode employée, tous les enfants sont donc unanimes à dire que la France est à mi-chemin du pôle et de l'équateur et ils la positionnent sur le schéma en utilisant des méthodes variées : repérage approximatif, tracé géométrique ou utilisation du rapporteur.

3.3. Troisième séance : représentation de l'expérience réalisée avec le théodolite

Les élèves disposent par groupe de globes terrestres et de mini-théodolites : il s'agit en fait de rapporteurs en carton munis d'un curseur et placés sur un socle autocollant pour faciliter la fixation sur le globe terrestre. Le maître leur demande de reproduire l'expérience réalisée lorsqu'ils ont relevé la hauteur du Soleil à midi solaire, en plaçant le théodolite correctement sur le globe et en positionnant le globe par rapport au Soleil. Nous avons donné aux enfants des globes terrestres sans support de manière à ne pas induire l'idée d'inclinaison de l'axe.

... pour aider
à la modélisation...

Les enfants manipulent tout d'abord par groupe puis viennent présenter leur maquette à la classe, en utilisant le projecteur de diapositives en guise de Soleil : les erreurs sont corrigées collectivement.

Parfois le théodolite est orienté en direction est-ouest et non nord-sud, mais la plupart des élèves rappellent que lors des relevés, à midi solaire, le Soleil était au sud et le théodolite orienté nord-sud. La position de la France, "face au Soleil",

est la plupart du temps bien reproduite. Dans l'expérience réelle, on utilise l'ombre du curseur sur le socle pour l'orienter : celle-ci doit être la plus fine possible, ce qui correspond à l'orientation du curseur vers le Soleil. Ici, la maquette utilisée n'est pas suffisamment élaborée pour permettre l'utilisation de l'ombre du curseur comme indice. Les enfants proposent spontanément de "viser" le Soleil avec le curseur, donc de le diriger vers le projecteur de diapositives, dans la direction des rayons solaires. La lecture directe sur le rapporteur permet d'obtenir une valeur comprise entre 40° et 50° . Pour plus de précision, le maître demande aux enfants de reproduire l'expérience sur un schéma.

Sur le schéma sont déjà représentés la Terre avec l'axe des pôles (vertical) et l'équateur (horizontal), ainsi qu'un flux de rayons solaires horizontaux, l'un d'eux atteignant la France. Les enfants doivent positionner la France, dessiner le théodolite et orienter correctement le curseur. Sur les 16 groupes concernés, les erreurs commises concernent :

- l'orientation du théodolite pour un groupe (il est orienté est-ouest malgré les critiques faites précédemment) ;
- sa position par rapport à l'horizontale pour deux groupes (horizontale parallèle à l'équateur donc repérée par rapport à un espace local et non par rapport à "l'espace-Terre") ;
- la position du curseur, qui semble aléatoire pour deux groupes : la difficulté essentielle pour ces élèves est de diriger le curseur dans une direction (matérialisée par les rayons solaires tracés sur la feuille) et non vers un point (le Soleil).

Par contre la majorité des propositions (11/16) sont correctes et permettent de constater une valeur proche de 45° pour la hauteur du Soleil (document 12).

... pour poser
les problèmes...

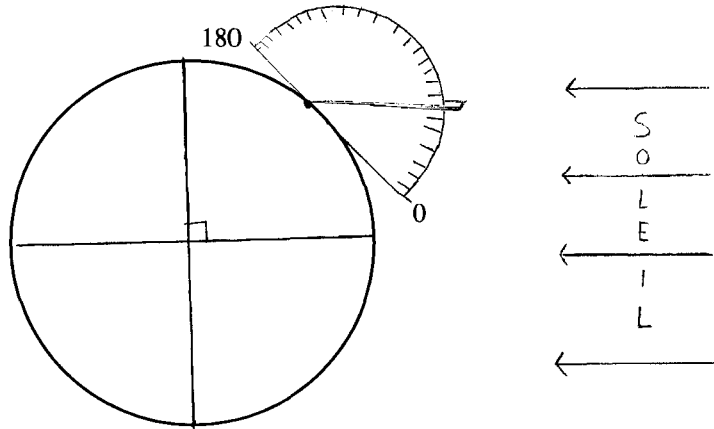
Spontanément les élèves ne pensent pas à comparer cette valeur aux résultats de leurs mesures. Par contre, à l'invitation du maître ils remarquent que cette valeur n'est obtenue que deux fois dans l'année, lors des équinoxes, c'est-à-dire en septembre et en mars. Le problème qui se pose est donc de savoir pourquoi on ne trouve pas la même valeur toute l'année.

3.4. Quatrième séance : découverte de l'inclinaison de l'axe des pôles par rapport à l'écliptique

Le problème à résoudre dans cette séance est de savoir pourquoi la hauteur du Soleil à midi solaire change au cours de l'année et ne vaut pas toujours 45° .

Certains élèves mettent en cause la distance Terre-Soleil et la révolution de la Terre autour du Soleil. Ces hypothèses sont testées collectivement, un groupe d'élèves venant manipuler le globe devant le projecteur de diapositives. Ainsi les enfants constatent que le fait de rapprocher ou d'éloigner la Terre du Soleil ne modifie aucunement la hauteur du Soleil à midi

Document 12



solaire en France, à condition bien sûr de maintenir l'axe des pôles verticalement. L'hypothèse relative à la distance est donc rejetée. De même le fait de faire tourner la Terre autour du Soleil ne modifie en rien cette hauteur.

Certains élèves ayant proposé d'incliner l'axe des pôles, cette hypothèse est testée dans chaque groupe. Le maître demande aux élèves si cette inclinaison permet de trouver les positions de la Terre aux solstices, en rappelant la hauteur du Soleil en hiver (23° , soit un Soleil bas) et en été (70° , soit un Soleil très haut). La modélisation est ensuite analysée collectivement, le maître faisant reproduire les diverses positions de la Terre au cours de l'année : il insiste particulièrement sur les positions extrêmes, pour faire constater que l'axe des pôles reste toujours parallèle à lui-même entre l'été et l'hiver.

... pour construire un modèle explicatif

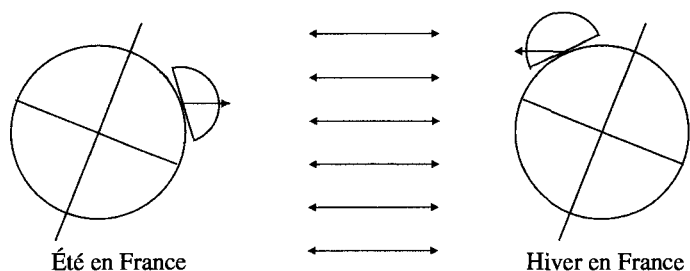
Quelques élèves proposent, non pas d'incliner l'axe par rapport à l'écliptique, mais de faire "monter" ou "descendre" la Terre selon la saison, en maintenant l'axe des pôles vertical : cela revient au même puisqu'il s'agit alors d'incliner l'écliptique.

Un schéma est réalisé collectivement au tableau et reproduit par les élèves : sur ce schéma apparaissent les deux positions extrêmes de la Terre, correspondant aux solstices d'été et d'hiver (document 13).

3.5. Résultats

Comme dans le reste de notre recherche, nous avons proposé aux 74 élèves des évaluations de différents niveaux de difficulté (annexe 5).

Document 13



L'exercice 1 nous permet de savoir si les enfants associent correctement les mesures de hauteur en degrés à la situation qu'ils vivent tout au long de l'année, c'est-à-dire aux variations de la course du Soleil dans le ciel au cours des saisons. On constate que 96 % des élèves associent correctement la hauteur du Soleil exprimée en degrés à la trajectoire correspondante. Ainsi, pour pratiquement tous les élèves on peut affirmer que les nombres manipulés correspondent bien à une réalité, même si un travail systématique sur la mesure des angles n'a pas été réalisé.

Le second exercice propose, outre un exercice de mémorisation de la situation traitée en classe, un exercice de transfert permettant de tester une réelle compréhension du phénomène. Cet exercice est correctement réussi par 69 % des élèves. Ce taux de réussite nous paraît tout à fait encourageant pour un exercice de cette difficulté.

L'analyse globale montre que 69 % des enfants réussissent tous les exercices. Ainsi, l'introduction de l'inclinaison de l'axe des pôles pour expliquer la variation de hauteur du Soleil à midi solaire nous permet d'atteindre un taux de réussite élevé. Cette approche permet d'éviter les difficultés signalées précédemment, lorsqu'on aborde le phénomène des saisons à partir de la variation de la durée des jours au cours de l'année. De plus, elle permet de mettre l'accent sur le facteur qui influe le plus sur les différences de température au cours de l'année : en effet si la variation de la durée du jour explique en partie ces différences, il est certain que le facteur prédominant réside dans la variation d'inclinaison des rayons solaires.

Notons le rôle essentiel joué par le théodolite dans cette démarche : il sert d'outil de mesure, mais il permet également, sous forme de modèle réduit, de résoudre les problèmes posés par l'observation lors de la modélisation. Le fait d'utiliser le théodolite dans les deux situations en fait un outil extrêmement riche : il permet aux élèves de mettre en relation l'espace local dans lequel ont été effectués les relevés et l'espace accessible à un observateur que l'on imagine posé sur le globe terrestre. Lors de la phase de modélisation, le

curseur visualise la direction des rayons solaires et, pour rendre compte des variations de hauteur constatées, les élèves sont conduits à incliner le globe : le théodolite constitue donc un outil de pensée essentiel dans la démarche mise en œuvre.

Pour toutes ces raisons, il nous semble que cette approche devrait être utilisée dans les classes. Elle doit être complétée pour expliquer les différences de températures constatées entre les saisons : il reste, en effet, à établir une relation entre l'orientation des rayons solaires et leur effet sur le réchauffement terrestre. Ceci est facile à réaliser expérimentalement, à l'aide d'un projecteur puissant avec lequel on éclaire une feuille noire sur laquelle est posé un thermomètre : toutes choses égales par ailleurs, l'augmentation de température est plus importante lorsque le spot éclaire verticalement que lorsqu'il éclaire en lumière rasante.

CONCLUSION

Les démarches mises en œuvre et analysées dans cet article conduisent les élèves de cours moyen à construire et manipuler des modèles pour rendre compte d'un certain nombre d'observations. La variété des situations proposées et les résultats obtenus aux différents tests confirment des résultats qui montrent la capacité des élèves de 9 à 11 ans à modéliser, en particulier dans le domaine de l'astronomie.

des modélisations
pour se
représenter...

Ces activités présentent des caractéristiques communes. Ainsi les modèles auxquels on a recours utilisent des maquettes : ces modèles sont donc caractérisés par leur aspect figuratif, leur fonction essentielle étant une fonction de représentation (Martinand, 1992). Dans cette représentation apparaît un aspect simplificateur, puisque seuls les aspects les plus pertinents de la réalité sont pris en compte dans l'élaboration du modèle. Ainsi, les modèles sont tout d'abord une "aide à la construction, à l'appropriation d'une représentation nouvelle" du système Soleil-Terre-étoiles.

... pour expliquer

De plus les modèles utilisés peuvent être considérés comme "modèles pour penser avec" : en effet, ils facilitent le processus intellectuel de l'enfant. On peut considérer que la fonction heuristique de ces modèles est importante car la simulation avec des maquettes permet à l'élève d'analyser les relations spatiales existant entre l'observateur terrestre et les astres (étoiles ou Soleil) et apparaît comme outil de résolution de problème (Astolfi, Drouin, 1992). On dépasse alors la seule fonction de représentation pour atteindre la fonction d'explication.

Les modèles élaborés sont vécus par les élèves dans une perspective dynamique, car ils s'enrichissent pour expliquer de nouvelles observations : ainsi, lorsqu'il s'agit d'expliquer la

des modèles qui
s'enrichissent

variation de la hauteur du Soleil au cours de l'année, le modèle préalablement élaboré n'est pas suffisant. Il faut alors le modifier en inclinant l'axe des pôles par rapport à l'écliptique. À partir de modèles partiels, une construction par emboîtement permet donc d'élaborer un modèle plus général pouvant expliquer un plus grand nombre de phénomènes.

Un autre aspect intéressant dans les activités de modélisation mises en place réside dans l'utilisation de plusieurs modèles pour un même référent : ainsi les élèves sont amenés à confronter à deux reprises le modèle héliocentrique et le modèle géocentrique, chacun d'entre eux pouvant rendre compte des observations.

Pour ces deux raisons, les modèles sont vécus par les enfants comme des moyens permettant de se représenter et d'expliquer la réalité et non comme la réalité elle-même : les situations d'apprentissage mises en place permettent donc de sensibiliser les élèves aux rapports entre l'approche scientifique de la réalité et la réalité elle-même.

Mais si l'intérêt des activités de modélisation mises en place est certain, que dire des enjeux essentiels de ces activités ? Comme le soulignent Genzling et Pierrard (1994), "il apparaît aujourd'hui que toute démarche de modélisation présente des moments de conceptualisation, c'est-à-dire des moments de construction de concepts". C'est bien le cas dans notre recherche où les enjeux de la modélisation se situent au-delà du modèle lui-même, puisqu'ils tendent nettement vers une élaboration conceptuelle (Larcher, 1994).

des modèles pour
changer de point
de vue

Les modèles utilisés par les enfants mettent en jeu l'ensemble Terre-Soleil-étoiles et les manipulations de maquettes ont pour objectif essentiel d'aider les élèves à changer de point de vue à l'intérieur de ce système. Einstein aurait proposé, lors d'une conversation privée, de remplacer le terme "théorie de la relativité" par "théorie du point de vue". Pour l'élève, il s'agit bien de passer du point de vue de l'observateur terrestre à celui d'un observateur situé sur le Soleil et donc d'aborder, même modestement, le concept de relativité des mouvements.

Hélène MERLE
Laboratoire ERES Université Montpellier II
Groupe IUFM

BIBLIOGRAPHIE

ASTOLFI, J.-P. & DROUIN, A.-M. (1992). La modélisation à l'école élémentaire, *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP.

BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1995), Programmes pour l'école primaire. *Bulletin officiel*, n° 5, p. 35. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.

GENZLING, J.-C. & PIERRARD M.-A. (1994). La modélisation, la description, la conceptualisation, l'explication et la prédiction, *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP.

LARCHER, C. (1994). Étude comparative de démarches de modélisation, *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP.

MARTINAND, J.-L. (1992). Présentation, *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP.

MERLE, H. & DUSSEAU, J.-M. (1996). Apprentissage du mouvement diurne de la Terre par des enfants âgés de 9 à 10 ans. *Didaskalia*, 9, 147-156.

MERLE, H. (1999). Difficultés dans la conceptualisation du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même. *Didaskalia*, 14, 61-94.

MERLE, H. (1999). Apprentissage des mouvements de la Terre à l'école élémentaire. D'une vision géocentrique au modèle héliocentrique. Mémoire de thèse. Université Montpellier II.

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

WALLISER, B. (1977). *Systèmes et modèles*. Paris : Le Seuil.

ANNEXE 1
Questionnaire avant premier passage au planétarium

Si tu regardes le ciel depuis la Terre pendant plusieurs heures, penses-tu que tu verras les étoiles se déplacer dans le ciel ? oui non

– Si oui, comment se déplacent-elles et pourquoi ?

.....

.....

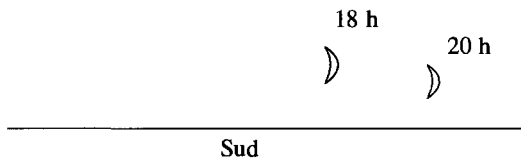
– Si non, pourquoi ne se déplacent-elles pas ?

.....

.....

ANNEXE 2
Évaluation après étude du mouvement diurne

Un enfant a observé la Lune à 18 heures puis à 20 heures. Il a remarqué qu'elle n'avait pas la même position par rapport à l'horizon :



Peux-tu expliquer pourquoi la Lune n'a pas la même position dans le ciel ?

.....

.....

Une fusée se pose sur Mars. Mars est une planète du Système Solaire. Elle a un sol comme la Terre. Elle a un diamètre de 6 800 km. Elle tourne sur elle-même en 25 heures et autour du Soleil en 687 jours.

a) Il y a des jours et des nuits sur Mars. Explique pourquoi en t'aidant d'un dessin ; dessine un cosmonaute A situé en plein jour et un cosmonaute B situé la nuit.

Dis combien de temps s'écoule entre deux levers de Soleil successifs :

b) La nuit un cosmonaute regarde les étoiles depuis Mars.

Les voit-il tourner ? oui non

Pourquoi ?

.....

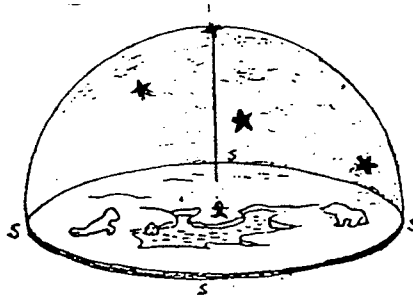
Si oui, combien de temps mettent-elles pour faire un tour ?

.....

.../...

Au pôle nord, l'étoile polaire est au zénith, c'est-à-dire à la verticale au-dessus de l'observateur.

a) Sur ce schéma, dessine le mouvement des trois étoiles dessinées, comme si tu les observais depuis le pôle nord.



b) Pierre dit qu'en fait les étoiles sont fixes, mais qu'on les voit tourner à cause de la rotation de la Terre sur elle-même. Es-tu d'accord avec lui ?

- oui
- non

Si oui, place l'ours (O) et le phoque (P), six heures plus tard, sur le dessin.

Sinon, explique pourquoi Pierre se trompe à ton avis :

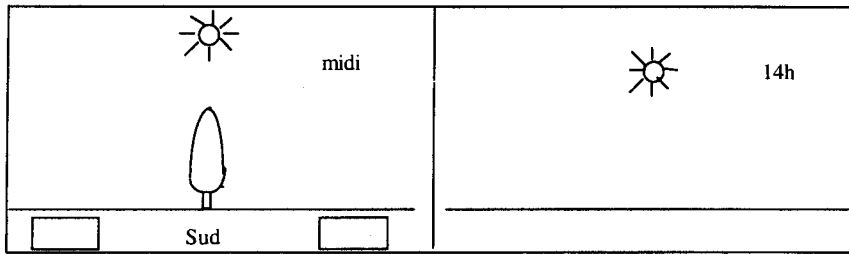
.....

.....

La personne qui regarde le paysage représenté est tournée vers le Sud.

J'indique sur le dessin n° 1 l'est et l'ouest.

Je dessine l'arbre à la place qui convient sur le dessin n° 2.



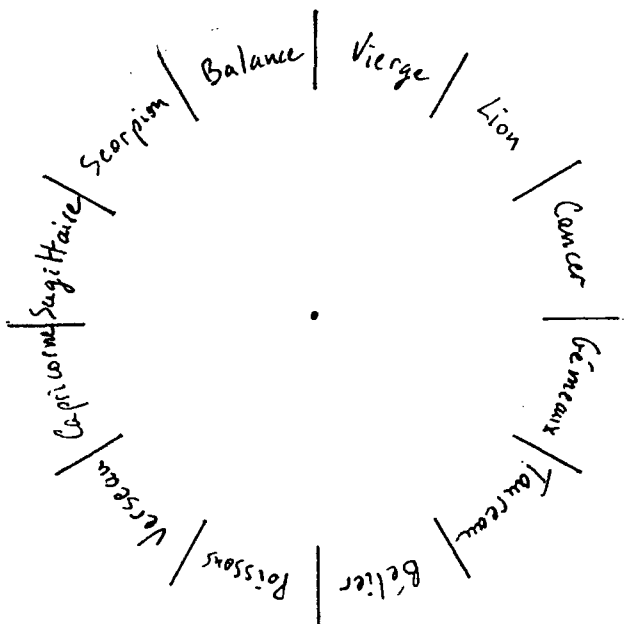
dessin n° 1

dessin n° 2

ANNEXE 3

Évaluation après étude du mouvement de révolution

1. Dans le ciel, à minuit, un jour donné, on voit bien haut dans le ciel la constellation du Taureau. Dessine à leur place sur le schéma ci-dessous la Terre et le Soleil ce jour là :



– Avec quelle constellation le Soleil coïncide-t-il alors dans le ciel ?

Cette constellation est-elle visible ? oui non

Pourquoi ?

.....

– Dessine en rouge ce qui a changé un mois plus tard. Explique ce que l'on observera, le jour, la nuit

.....

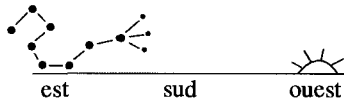
.....

.....

.....

.../...

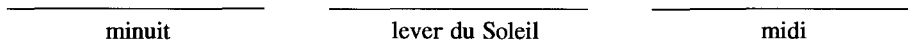
2. À une période de l'année le personnage dessiné sur le schéma observe le ciel, en regardant vers l'horizon Sud. Il voit ceci :



- À quel moment fait-il cette observation ?
- au lever du Soleil
 - à midi
 - au coucher du Soleil

Entoure la bonne réponse.

Dessine à leur place le Soleil et la constellation du Scorpion, s'ils sont présents dans le ciel, aux moments indiqués ci-dessous :



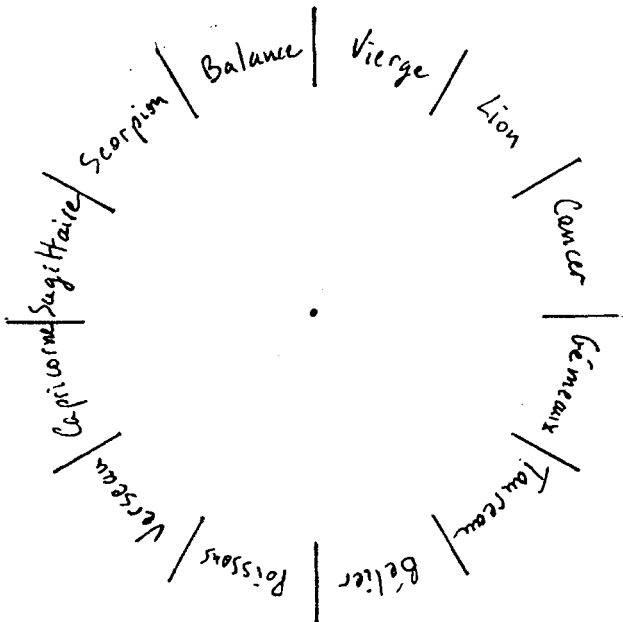
Pourquoi la constellation du Scorpion se déplace-t-elle dans le ciel au fil des heures ?

.....

.....

.....

Dessine en vert la Terre à sa place ce jour-là, sur le schéma ci-dessous :



ANNEXE 4**Évaluation différée après étude du mouvement de révolution**

Choisis la bonne réponse et relie par une flèche :

Le Soleil se déplace dans le ciel pendant la journée

La nuit, je ne vois pas les mêmes constellations en janvier et en juin

Les étoiles tournent autour de l'étoile polaire

Le Soleil ne coïncide pas toujours avec la même constellation du Zodiaque

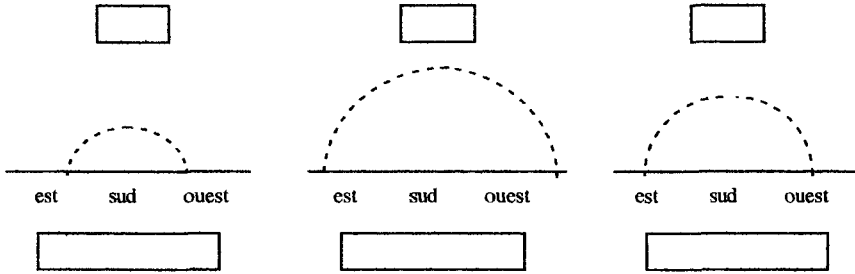
La constellation du Scorpion se déplace dans le ciel pendant la nuit

parce que la Terre tourne sur elle-même en 24 h

parce que la Terre tourne autour du Soleil en un an

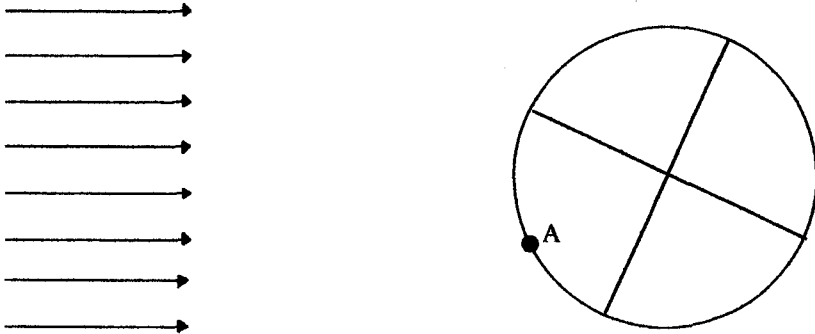
ANNEXE 5
Évaluation après travail avec un théodolite

1. On a dessiné trois courses du Soleil dans le ciel pendant la journée.
Complète en écrivant les hauteurs du Soleil (27° , 45° , 70°) dans les cases correspondantes :



Indique dans les cases ci-dessus de quel mois il s'agit (janvier, mars, juin)

2. Dans le dessin ci-dessous on a dessiné la Terre dans une certaine position par rapport au Soleil et on a placé une ville A.



- place la France (F) à midi
- dessine le théodolite et oriente correctement le curseur
- indique la hauteur du Soleil :
- dis si c'est l'été ou l'hiver en France :
- dessine le théodolite en A et règle correctement le curseur
- indique dans quel hémisphère se trouve la ville A :
- indique l'heure pour le point A :
- indique la hauteur du Soleil :
- dis si c'est l'été ou l'hiver dans cette ville :

Que remarques-tu ?