

Difficultés dans la conceptualisation du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même

Analysis of the difficulties (experienced by primary school students) in the conceptual representation of the rotating motion of Earth on its own axis

Hélène MERLE

Laboratoire ERES de l'Université Montpellier II
Groupe IUFM
2, place M. Godechot, BP 4152
34092 Montpellier cedex, France.

Résumé

Lorsqu'ils font tourner la Terre sur elle-même pour rendre compte du mouvement apparent de la voûte céleste, la moitié des élèves de cours moyen se trompent dans le sens de rotation. Nous avons montré que cette difficulté n'est pas liée au contexte astronomique, mais à la nature du mouvement, à savoir une rotation. Il est nécessaire, pour en déterminer correctement le sens, d'analyser les positions successives de la Terre par rapport aux étoiles. Cela nécessite de concevoir le champ visuel d'un observateur terrestre. Nous montrons que les difficultés ne sont pas, là encore, spécifiques de la situation étudiée.

Mots clés : astronomie, mouvement diurne de la Terre, sens de rotation, champ visuel.

Abstract

When they revolve a terrestrial globe around its own axis to account for the apparent motion of the cosmic system, one half of fourth graders misconceive its direction. In the present article, we show that this difficulty is not linked to the astronomic context, but to the nature of the motion, that is a rotating one. To determine the direction of this rotating motion, it is necessary to analyse the successive locations of Earth in relations to the stars. This necessitates a clear perception by the terrestrial observer of his own visual field. We show that, here again, the difficulties are not specific to the astronomic situation.

Key words : astronomy, perception of rotating motion of Earth, visual field.

Resumen

Cuando se hace girar la tierra sobre sí misma, para referirse al movimiento aparente de la bóveda celeste, la mitad de los alumnos de los cursos medios se equivocan en el sentido de rotación. Nosotros mostramos que esta dificultad no está ligada al contexto astronómico, sino a la naturaleza del movimiento, es decir, una rotación. Es necesario, para determinar correctamente el sentido, analizar las posiciones sucesivas de la tierra en relación con las estrellas. Ello necesita concebir el campo visual de un observador terrestre. Nosotros mostramos que estas dificultades van mas allá de la situación específica estudiada.

Palabras claves : astronomía, movimiento diurno de la tierra, sentido de rotación, campo visual.

1. INTRODUCTION

Lors d'un travail antérieur (Merle & Dusseau, 1996) nous avons analysé des comportements d'élèves de cours moyen 1^{ère} année, âgés de 9 à 10 ans, lors de l'apprentissage du mouvement diurne de la Terre. Ce travail a permis de montrer qu'il est nécessaire de confronter les enfants au mouvement d'ensemble de la voûte céleste pour qu'ils puissent construire réellement le modèle d'une Terre en rotation autour de son axe en 24 heures.

Cette modélisation suppose, en particulier, **un changement de repère**, puisqu'il faut passer du repère terrestre à un repère lié aux étoiles fixes.

L'analyse des mouvements (mouvement des étoiles observé depuis la Terre ou mouvement de la Terre dans le système solaire) suppose pour

un physicien de préciser les repères choisis. Avec les enfants on est conduit à viser une acquisition moins rigoureuse qui comporte trois points essentiels :

– 1) on voit tourner les étoiles depuis la Terre (ce qui est observé lors d'une séance de planétarium), mais en fait les étoiles sont fixes et ce mouvement n'est qu'apparent, il est dû à la rotation de la Terre sur elle-même ;

– 2) le mouvement de la Terre s'effectue en sens inverse du mouvement des étoiles observé depuis la Terre ;

– 3) l'étoile polaire paraît immobile car elle est sur l'axe de rotation de la Terre, en prolongement de l'axe des pôles.

Pour analyser les difficultés rencontrées par les élèves lors de la phase de modélisation nous avons conduit des entretiens individuels dont certains ont été filmés. Pendant cette activité les élèves disposent d'un mini-globe terrestre monté sur un axe et d'une demi-sphère transparente représentant la voûte céleste observée depuis la France ; sur cette voûte apparaissent l'étoile polaire et quelques gommettes représentant d'autres étoiles supposées immobiles.

Nous n'analyserons pas ici les difficultés rencontrées par les élèves concernant les points 1 et 2 : les entretiens montrent que beaucoup d'élèves inclinent intuitivement la Terre en direction de la polaire ; reprenant l'idée émise par quelques-uns, ils la font ensuite tourner sur elle-même pour tenter d'expliquer le mouvement des étoiles observé depuis la Terre. Par contre il s'avère, lors de ce travail de modélisation, que **les élèves sont très nombreux à faire tourner la Terre d'est en ouest, c'est-à-dire dans le sens du mouvement apparent des étoiles et non en sens inverse**. Cette constatation est le point de départ de la recherche développée dans cet article : nous analyserons dans le paragraphe 2 l'origine de cette difficulté. Nous montrerons que cela conduit à analyser également les difficultés des élèves dans la conception de l'espace accessible à un observateur terrestre, ce que nous ferons dans le paragraphe 3.

2. PROBLÈMES LIÉS AU CHANGEMENT DE RÉFÉRENTIEL DANS LA DÉTERMINATION DU SENS DE ROTATION DE LA TERRE SUR ELLE-MÊME

2.1. Problématique

La non-inversion du sens de rotation lors du changement de repère

nous a tout d'abord beaucoup étonnés car de nombreuses situations dans la vie courante nous confrontent à ce type de phénomène. Des enfants dans un véhicule ont tous constaté en effet que le déplacement de ce véhicule (voiture, bus ou train) semble faire défiler le paysage dans l'autre sens. De même le démarrage d'une voiture dans une file voisine de la nôtre nous donne l'impression de reculer alors que nous sommes immobiles. L'inversion des vitesses nous semblait donc relever d'une intuition élémentaire, étant donné le vécu des enfants dans ce domaine.

Un travail antérieur (Maury et al., 1981) montre que les élèves de 10 ans résolvent correctement des problèmes de changement de référentiel proches de ceux qui nous préoccupent. Toutefois, dans l'article cité, les situations proposées diffèrent de la nôtre par deux points : l'espace concerné n'y est pas l'espace astronomique mais celui d'une salle, et les mouvements étudiés sont des mouvements de translation. Ces deux différences sont susceptibles d'expliquer l'écart entre nos premières constatations et les résultats de cette recherche.

La première partie du livre de Piaget (1972) intitulé « *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant* » peut nous aider à construire une analyse *a priori*. Piaget étudie le passage graduel de la pensée intuitive, encore attachée aux données de la perception, à la pensée opératoire dans l'analyse des mouvements. Mais nous nous intéresserons tout d'abord aux deux premiers chapitres, consacrés à l'étude de l'ordre de succession linéaire puis cyclique. Pour Piaget cette étude est une introduction indispensable à l'analyse des déplacements eux-mêmes car « *l'idée de mouvement suppose en effet, au préalable la notion d'ordre : un « déplacement » est nécessairement relatif à un système de « placements », c'est-à-dire précisément de positions selon un certain ordre.* » (Piaget, 1972, p. 1) Cette analyse s'appuie sur des situations de succession dans un contexte cinématique : les enfants sont invités à imaginer les successions d'objets entraînés par un même mouvement de translation (billes de couleur enfilées sur un fil de fer que l'on translate), ou de rotation (faces colorées d'un prisme en rotation autour de son axe). Piaget montre qu'il est possible de définir, dans les deux cas, trois stades correspondant à une progression chronologique ; de plus les stades concernant l'ordre dans les mouvements cycliques convergent avec ceux obtenus dans l'étude de la construction de l'ordre linéaire :

– au stade 1, les enfants ont l'intuition d'un ordre direct et de sa conservation au cours d'un mouvement de translation ; mais l'ordre linéaire inverse est manqué et les enfants ne parviennent pas à prévoir l'ordre de succession des éléments d'un cycle : la relation « entre » est absente et seules les situations relevant d'une « intuition perceptive simple » sont résolues ;

– au stade 2, les problèmes d'ordre linéaire inverse sont résolus (le déplacement des billes étant alors effectué dans le sens opposé), alors que seuls les problèmes d'ordre cyclique direct le sont ; pour Piaget les difficultés pour atteindre ce stade sont de même type puisqu'il faut se représenter l'ordre obtenu en faisant demi-tour ou en décrivant un cercle, soit en revenant au point de départ : ce stade est caractérisé par une « intuition articulée mais rigide » ;

– enfin toutes les réponses correctes sont obtenues au stade 3, soit à 6-7 ans dans le cas de translations et 7-8 ans dans celui des rotations, qu'elles soient directes ou inverses : ces prévisions correctes sont la preuve de l'élaboration de « systèmes opératoires ».

Cela fait donc apparaître pour chaque stade un décalage dans l'analyse des « placements » selon que l'objet support est en translation ou en rotation : les placements en rotation sont toujours plus difficiles pour les élèves.

À l'âge qui nous préoccupe (9-11 ans), les problèmes de placements sont résolus dans les deux cas, mais nous avons pensé qu'un décalage du même type entre translation et rotation pouvait se retrouver dans l'analyse des mouvements avec changement de référentiel.

Nous avons déjà constaté, en effet, que la nature même du mouvement de la Terre (mouvement de rotation) constituait une difficulté essentielle pour les élèves car ils avaient des difficultés à justifier l'immobilité apparente de la polaire par sa position sur l'axe de rotation de la Terre (Merle & Dusseau, 1996). Nous avons donc émis l'hypothèse que la difficulté à déterminer le sens de rotation correct de la Terre était lié non pas à l'espace en cause, c'est-à-dire l'espace astronomique, mais à la nature du mouvement, la rotation.

Pour tester cette hypothèse, nous avons soumis successivement les élèves de cinq classes de cours moyen, n'ayant pas au préalable abordé ces questions, à des entretiens individuels. Nous leur avons proposé d'analyser diverses situations avec changement de référentiel, mais dans un espace beaucoup moins étendu que l'espace astronomique, de manière à éliminer cette variable. Les situations s'appuient sur l'analyse de mouvements soit de translation, soit de rotation afin de comparer les résultats.

La procédure a été affinée d'une classe à l'autre pour tenter de s'assurer au mieux de la validité des résultats, qui sont présentés dans le paragraphe suivant.

2.2. Méthodologie et résultats

Nous reportons ci-après notre approche expérimentale et les résultats obtenus, concernant cinq classes de cours moyen repérées chronologiquement par A, B, C, D et E. L'âge des enfants est compris entre 9 et 11 ans.

CLASSE A

Technique expérimentale

Le chercheur pose aux enfants trois questions. Pour chacune d'elles, la situation est « mise en scène ». Ainsi, les enfants ont devant eux des modèles réduits d'une voiture, d'une route bordée d'arbres, d'un manège ainsi que des petits personnages.

1ère question

« Une voiture est sur une route bordée d'arbres. Déplace la voiture pour que le conducteur ait l'impression que les arbres reculent. »

2ème question

« Un enfant fait un tour de manège. Le manège peut tourner dans les deux sens. Sa maman est assise sur un banc et le regarde. L'enfant a l'impression que sa maman se déplace dans ce sens (matérialisé par une flèche). Fais tourner le manège pour qu'il ait bien cette impression. »

3ème question

« Sur le bord de la route il y a une statue. Déplace la voiture pour que le conducteur ait l'impression que la statue avance. »

Résultats

1ère question :

- 26 réponses correctes sur 27,
- 1 réponse fausse.

2ème question :

- 14 bonnes réponses sur 27,
- 11 élèves font tourner le manège dans le même sens que la maman,
- 2 élèves font de même mais rectifient leur réponse après avoir répondu à la troisième question, et avec une sollicitation (« *la voiture se déplace en sens inverse et le manège dans le même sens ?* »).

3ème question :

- 21 bonnes réponses sur 27,
- 3 réponses fausses,
- 3 réponses fausses, puis corrigées.

Dans le cas des **translations** (questions 1 et 3), on constate un très fort pourcentage de bonnes réponses même si les réponses correctes sont un peu moins nombreuses pour la dernière question (marche arrière).

Dans le cas d'une **rotation** (question 2), le taux de réponses correctes dépasse à peine 50 %. Les enfants n'ayant le choix qu'entre deux réponses, on peut même se demander s'ils ne répondent pas au hasard et on pourrait conclure à leur incapacité à résoudre correctement ce problème.

Analyse

À ce stade de la recherche, il nous a semblé prématuré de conclure, les différences constatées pouvant s'expliquer par un aspect qui n'a pas été pris en compte : dans le premier cas en effet, les arbres constituent une rangée importante et ils défilent les uns à la suite des autres. Leur mouvement, observé depuis la voiture, apparaît comme continu, l'observateur restant toujours à proximité de l'un d'entre eux. Au contraire, la statue et la maman sont seules, elles passent devant l'enfant de manière fugitive, il s'agit pratiquement d'une vision instantanée, quasi ponctuelle.

S'ajoute à ce problème, dans le cas de la statue, l'ambiguïté du vocabulaire : lorsque la voiture recule, la statue semble passer devant la voiture. Ceci explique la formulation de la consigne : « *Déplace la voiture pour que le conducteur ait l'impression que la statue avance.* » Mais il est évident que la statue va ensuite « s'éloigner » de la voiture lorsqu'elle l'aura dépassée, ce qui peut se traduire pour les enfants par le fait qu'elle « recule » (dans le sens accroissement de la distance statue-voiture). La question n'est donc peut-être pas claire pour eux.

Pour une interprétation plus nette des résultats, il a été nécessaire d'organiser une seconde série d'entretiens.

CLASSE B

Technique expérimentale

La situation est toujours matérialisée, mais les situations proposées sont plus proches les unes des autres : dans tous les cas les objets ou les personnages dont on décrit le mouvement relativement à l'observateur sont rangés en file à côté de la voiture ou autour du manège, d'où une continuité dans l'observation (rangée d'arbres, file de personnages autour du manège, rangée de poteaux téléphoniques en bordure de route). Parallèlement, les deux dernières questions ont été reformulées et nous avons supprimé l'ambiguïté de la troisième question.

1ère question inchangée

2ème question

« Un enfant fait un tour de manège. Le manège peut tourner dans les deux sens. Toutes les personnes de sa famille sont autour du manège et le regardent. L'enfant a l'impression que les membres de sa famille se déplacent dans ce sens (matérialisé par une flèche), comme s'ils faisaient une ronde autour du manège. Fais tourner le manège pour que l'enfant ait bien cette impression. »

3ème question

« Sur le bord de la route il y a des poteaux téléphoniques. Déplace la voiture pour que le conducteur ait l'impression que les poteaux avancent, de l'arrière vers l'avant de la voiture. »

Résultats

Pour les translations, on retrouve une réussite totale dans le cas des arbres. Tous les élèves affirment avoir remarqué le phénomène, font avancer la voiture sans hésiter et expliquent correctement ce qui se passe.

Pour les poteaux téléphoniques « qui semblent avancer de l'arrière vers l'avant de la voiture », le temps de réflexion est toujours un peu plus

long. Sur 21 élèves interrogés 18 répondent d'emblée correctement. Les trois autres sont beaucoup plus hésitants, commencent par se tromper, mais rectifient leur réponse. Ainsi on ne rencontre pas, comme dans l'autre classe, d'élèves qui confirment une réponse erronée donnée au départ. La continuité introduite par rapport au premier questionnement (cas d'une statue en bord de route) rend peut-être l'analyse de la situation plus facile pour les enfants. On peut penser également que les élèves réussissent mieux du fait de la formulation plus claire de la question.

Quoi qu'il en soit, pour les deux classes, la troisième question reste un peu plus difficile à résoudre que la première, mais le taux de réussite reste très élevé dans les deux cas lorsqu'il s'agit de translations.

Pour la deuxième question, **lors d'un mouvement de rotation**, 10 élèves sur les 21 interrogés font tourner le manège dans le sens du mouvement apparent des personnes de la famille ; 10 affirment le contraire et sont sûrs d'eux, 1 doute beaucoup et finit par choisir la bonne réponse. Globalement, on peut donc dire que, là encore, le taux de réussite est de l'ordre de 50 %. Le fait de remplacer « la maman » par une rangée de personnages qui entourent le manège ne fait pas varier le taux de réussite.

Analyse

Ces deux séries de tests montrent que l'analyse de mouvements avec changement de référentiel est difficile pour des enfants lorsque les mouvements mis en cause sont des mouvements de rotation.

Dans ce cas, les enfants choisissent souvent, pour expliquer le mouvement apparent visible par l'observateur lié au repère mobile, de faire tourner ce repère dans le sens du mouvement apparent. Il semblerait qu'ils mettent en cause un effet « d'entraînement ». Cela avait été noté lors de l'interprétation du mouvement apparent des étoiles, mais reste vrai dans un espace plus réduit. Il s'agit donc d'un problème général qui n'est pas spécifique de l'astronomie mais qui est bien lié à la nature du mouvement en cause. Pour déterminer le sens de rotation, le recours à des « raisonnements physiques intuitifs » corrects (Maury et al, 1981) n'est donc pas possible, du moins pour la moitié des enfants.

CLASSE C

Les résultats obtenus précédemment montrent que les enfants réussissent plus facilement les tests lorsqu'il s'agit de translations. Nous avons souhaité analyser directement leurs difficultés face à des mouvements de rotation, sans risquer de les influencer par les situations de translation.

Après la deuxième série d'entretiens, il est apparu que le fait d'indiquer par une flèche le sens du mouvement apparent avait peut-être un effet inducteur. Une élève avait en effet expliqué qu'elle avait choisi le sens (mouvement réel de même sens que le mouvement apparent) « *à cause de la flèche* ». Même s'il s'agissait d'un cas isolé, l'hypothèse devait être vérifiée.

Enfin, l'expression utilisée jusqu'alors « *fais tourner le manège pour que l'enfant ait l'impression que les personnages tournent dans ce sens* » pouvait être ambiguë et donc mal comprise.

Pour ces trois raisons, nous avons réalisé une troisième série d'entretiens uniquement sur le thème du manège, en supprimant la flèche et en utilisant la même procédure et les mêmes termes que ceux employés par Maury et al. (1981).

Technique expérimentale

L'enfant est placé face à la personne qui l'interroge, derrière le manège dans lequel nous avons placé un petit personnage. Nous lui expliquons qu'il est dans le manège, à la place de ce petit personnage et que le manège peut tourner dans les deux sens, ce que nous illustrons par une démonstration. Puis nous lui posons la question suivante :

« Tu es dans le manège, pour t'aider imagine que tu es à la place du petit bonhomme. Le manège est d'abord immobile, et un enfant s'amuse à tourner autour (on montre à l'enfant ce mouvement en faisant tourner une figurine dans un sens donné, mais sans visualiser ce sens de rotation par une flèche). Si tu le suis des yeux, tu le vois tourner autour de toi. Est-ce que tu peux voir la même chose si l'enfant s'arrête de tourner autour du manège ? »

Si l'enfant répond « *oui, lorsque le manège tourne* », nous lui demandons dans quel sens le manège doit tourner.

Si l'enfant répond que c'est impossible, nous lui suggérons que le manège peut tourner et poursuivons le questionnaire de la même façon.

Quelle que soit la réponse de l'élève, nous lui demandons s'il est sûr de sa réponse, et nous l'invitons à justifier son choix. Dans certains cas, lorsque les élèves donnent une réponse erronée, la situation d'une voiture qui se déplace à côté d'une rangée d'arbres est évoquée, mais dans un deuxième temps.

Résultats

Sur les 13 premiers élèves interrogés, un ne perçoit absolument pas le phénomène de mouvement relatif, les douze autres se répartissent à nouveau à égalité (6 font tourner le manège dans un sens et 6 le font tourner dans l'autre sens).

Une élève ayant évoqué le problème du décor, nous avons répété le test en plaçant derrière le manège un papier blanc et en précisant que le manège se trouvait dans une salle toute blanche : les résultats sont demeurés inchangés (4 ont fait tourner le manège dans un sens et 4 dans l'autre sens).

Analyse

Il est à noter que certaines bonnes réponses ne sont formulées qu'après que l'on ait évoqué avec les enfants le cas des arbres. Pour certains élèves au contraire, même s'ils sont convaincus que les arbres se déplacent en apparence en sens inverse de la voiture, cela ne les fait pas changer d'avis pour le manège : « *Ici, je n'ai pas la même impression* », dit l'un d'eux.

Ces résultats diffèrent beaucoup de ceux obtenus dans l'expérience A 1 de l'article précité (Maury et al, 1981). Dans cette expérience, on demande à l'enfant d'imaginer comment se déplacer sur un fauteuil à roulettes pour voir un objet, fixe dans un repère terrestre, se déplacer par rapport à lui dans un sens donné. Les auteurs montrent que les enfants répondent très facilement à cette question, en trouvant le sens correct de déplacement du fauteuil. Malgré une similitude certaine entre les deux expériences, la nôtre se différencie notamment de celle-ci par deux points :

- nos élèves n'avaient pas la possibilité d'expérimenter (ils devaient imaginer le phénomène),
- le mouvement en cause est un mouvement de rotation autour d'un axe et non un mouvement de translation rectiligne.

Nous pensons que c'est la nature du mouvement en jeu qui explique la différence entre les résultats constatés. En effet, même avant expérimentation, les auteurs indiquent un taux de réussite de 87 %, très voisin de celui que nous obtenons dans des situations de translation. Or ce n'est plus du tout le cas lorsqu'on évoque un mouvement de rotation avec les élèves, puisque le taux de réussite ne dépasse guère 50 % avant expérimentation.

Par souci de vérification, nous avons soumis le test de la classe C à une quatrième classe (classe D), et nous avons filmé les entretiens en vidéo pour analyser avec précision les types de raisonnements mis en jeu par les élèves. Nous chercherons à voir dans une cinquième classe (classe E) si, lorsqu'on donne aux élèves la possibilité d'expérimenter, on obtient un taux de bonnes réponses plus important.

CLASSE D

Technique expérimentale

L'entretien mis en oeuvre est le même qu'avec la classe précédente (classe C). Toutefois nous avons insisté particulièrement sur la tentative d'explicitation demandée aux enfants. De plus nous avons pris en compte (tableau 1) :

- leur réponse spontanée (1),
- celle fournie après une mise en doute de la première réponse, quelle qu'elle soit (2),
- enfin, de façon systématique, lorsque la réponse fournie est erronée, la réaction des élèves lorsqu'on évoque la situation des arbres en bordure de route (3).

Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

Résultats

	Réponse spontanée (1)	Après demande de confirmation (2)	Après évocation des arbres (3)
pas de réponse	1	1	1
réponse correcte (sens inverse)	8	10 + 1 (pas très sûr de lui)	15
réponse erronée (même sens)	14	11	7

Tableau 1 : Répartition des résultats obtenus pour la classe D

L'évolution des réponses au cours du questionnaire permet de bien évaluer le niveau de conviction des élèves : on remarque en effet que, parmi les élèves qui répondent correctement, aucun ne remet en doute sa réponse lorsqu'on lui demande s'il est sûr de lui. Cette simple question

permet d'obtenir le taux de 50 % de bonnes réponses que nous avons obtenu dans les autres classes. Ceci confirme donc, **sur le plan quantitatif**, ce qui est dit plus haut.

On remarque que l'évocation systématique de la situation des arbres en bordure de route permet d'augmenter nettement le taux de bonnes réponses puisque 4 élèves modifient leur réponse dans le bon sens. Nous verrons toutefois plus loin, dans l'analyse détaillée des réponses que, parmi eux, certains restent sceptiques et ces bonnes réponses obtenues après l'évocation des arbres doivent être analysées avec prudence. Entre le sujet et l'interviewer s'installe forcément un « contrat expérimental » ressemblant fort à un contrat didactique : il est possible que, lorsqu'on présente la situation des arbres aux enfants n'ayant pas répondu correctement dans le cas du manège, ils infèrent que leur réponse n'est pas bonne puisqu'on leur présente une autre situation. Le fait qu'ils corrigent cette réponse n'est pas pour autant le signe d'une réelle compréhension du phénomène.

Il est intéressant de noter combien les enfants, même lorsqu'ils sont absolument sûrs d'eux, éprouvent des difficultés à justifier leur choix, quel qu'il soit.

Lorsqu'on leur demande de se justifier, **les élèves qui choisissent spontanément la réponse correcte, en faisant tourner le manège en sens inverse du mouvement apparent**, disent souvent : « *je me suis imaginé* ». Parfois, ils esquissent un mouvement de la tête. Parfois, c'est ce mouvement de tête qui déclenche la bonne réponse.

Souvent, ils imaginent ce qui se passe **au moment du démarrage**. C'est par exemple le cas de Phil :

H.M. : « *Comment as-tu fait pour trouver cette réponse ?* »

Phil : « *Quand il part comme ça (fait tourner le manège), qu'on tourne comme ça, on voit la fille partir dans ce sens (indique le sens inverse d'un geste).* »

On remarque que l'enfant se ramène à une situation proche de la translation en imaginant ce qui se passe sur un laps de temps assez bref (passage à la limite en quelque sorte), et il s'appuie sur la phase transitoire de mise en mouvement.

On retrouve le même raisonnement pour Mar.

Mar : « *Si je suis sur le manège, on a l'impression que c'est lui (elle désigne le personnage proche du manège) qui tourne autour ; quand je vais sur un siège qui tourne et quand je tourne, j'ai l'impression que c'est la salle qui bouge et pas moi.* »

Mar choisit de faire tourner le manège en sens inverse du mouvement apparent.

H.M. : « *Pourquoi dans ce sens ?* »

Mar : « *Si je pars par là, j'ai l'impression qu'il part de ce côté-là (sens inverse).* »

Un autre cas est particulièrement intéressant, celui de Clai par exemple, qui semble avoir très bien compris le phénomène, est très sûre d'elle, et donne pourtant de mauvais arguments.

H.M. : « *Quand le petit garçon est immobile et que le manège tourne, qu'est-ce que tu vois ?* »

Clai : « *C'est comme si il courrait, à part que le paysage change* (indique le sens correct). »

H.M. : « *Pourquoi as-tu choisi ce sens ?* »

Clai : « *Si il courrait dans ce sens* (indique le même sens que celui du manège), *il serait toujours face à moi.* »

Clai combine deux mouvements de même sens et même vitesse. Spontanément, elle n'essaie pas d'envisager ce qui se passerait si le personnage restait immobile. Par contre elle se réfère à la situation citée (deux mouvements de même sens et même vitesse) qu'elle sait résoudre avec facilité (« *je le verrais pas bouger* »). Par opposition, elle en déduit que le mouvement du personnage doit être en sens inverse de celui du manège. En fait, cette élève procède à une combinaison de mouvements et non à un changement de référentiel : elle raisonne en termes de mouvements relatifs et non pas en analysant le même mouvement dans deux référentiels différents.

Dans cette classe ce comportement a pu être observé à plusieurs reprises. Dans les autres classes également, nombreux sont les élèves qui faisaient cette manipulation : ils tenaient sans doute le même raisonnement sans aller jusqu'à sa verbalisation.

Pour les élèves qui choisissent de faire tourner le manège dans le sens du mouvement apparent, les arguments sont les suivants :

H.M. : « *Comment as-tu trouvé le sens ?* »

Mag : « *Si je dois le regarder je suis obligée de me tourner comme ça, je suis obligée de suivre son sens, je dois regarder son sens...* »

On évoque alors la situation des arbres en bordure de route.

H.M. : « *Ils se déplacent dans quel sens ?* »

Mag : « *Dans l'autre sens.* »

H.M. : « *Et pour le manège ?* »

Mag : « *C'est dans le même sens.* »

H.M. : « *C'est normal ça ?* »

Mag : « *Non...* »

H.M. : « *Comment ça se fait ?* »

Mag : « *Je sais pas..; je comprends pas ... ; pourquoi faudrait-il tourner dans l'autre sens ?* »

H.M. : « *Pourquoi tu voudrais le faire tourner dans l'autre sens ?* »

Mag : « *Je compare avec les arbres...* »

L'enfant manifeste une grande perplexité et n'est manifestement pas convaincue par l'analogie entre les deux situations proposée par le chercheur.

Jon, lui aussi, fait tourner le manège dans le même sens que le mouvement apparent. Lorsqu'on lui demande s'il est sûr de lui, il confirme, puis il fait tourner le personnage devant lui à hauteur des yeux en l'observant et confirme à nouveau sa réponse. À l'évocation de la situation des arbres en bordure de route, il dit que les arbres « *vont vers l'arrière* ».

H.M. : « *Là, c'est en sens inverse ?* »

Jon : « *Oui.* »

H.M. : « *Et dans le cas du manège ?* »

Jon : « *Euh...* »

H.M. : « *Tu as choisi le même sens.* »

Jon : « *Ah, c'est de l'autre côté (geste à l'appui)...non, non, je dirais toujours de ce côté (confirme sa réponse erronée).* »

H.M. : « *Pourquoi tu choisis ce sens ?* »

Jon : « *Quand t'es là, la fille tu la vois là (place la petite fille face au bonhomme dans le manège) ; quand on tourne on la voit nous suivre.* »

Il semble que pour cet enfant la réponse est dictée par ses sens, et on peut s'interroger sur la raison d'une telle perception erronée.

Pour certains enfants, il est difficile de parler de raisonnement et la référence à une perception n'est pas évidente non plus lorsqu'ils n'évoquent aucune situation vécue et n'esquissent aucun geste. La réponse semble dictée par un caractère d'évidence difficile à interpréter. Citons les cas de Guil et de Yoh.

H.M. : « *Comment tu as fait pour trouver le sens ?* »

Guil : « *Je me suis dit que si elle tournait vers là (geste), le manège il tournait vers là, dans le même sens que la fille.* »

Yoh : « *Quand j'étais petit j'avais l'impression que c'était maman qui tournait autour du manège.* »

Il choisit le même sens que le mouvement apparent.

H.M. : « *Pourquoi ?* »

Yoh : « *Comme elle tourne dans ce sens je fais les mêmes gestes pour la regarder.* »

On repose le problème et la question relative au sens.

Yoh : « *Je tourne pareil qu'elle, pareil que quand je suis immobile et qu'elle tourne.* »

H.M. : « *Tu es sûr de ton raisonnement ?* »

Yoh : « *Oui.* »

Pour de rares élèves cette difficulté à imaginer un mouvement en sens inverse du mouvement apparent se retrouve même dans le cas de mouvements de translation. Ainsi, Stéph pense que l'on voit les arbres avancer à côté de la voiture.

Stéph : « *Ils peuvent pas... je peux pas penser qu'ils vont en arrière puisque je roule devant, dans ce sens* (elle déplace la voiture vers l'avant). »

Après une réflexion plus guidée, elle admet que les arbres semblent reculer par rapport à la voiture. Pour le manège, elle commence par corriger sa réponse initiale erronée :

H.M. : « *Pourquoi tu le fais tourner dans ce sens ?* »

Stéph : « *Comme la voiture tout à l'heure.* »

H.M. : « *Tu es sûre ?* »

Stéph : « *Non, c'est pas ça... si je tourne comme ça, je vais pas le voir tourner comme ça* (sens inverse). »

Elle montre alors le sens inverse et s'exclame :

Stéph : « *Ah oui, quand on tourne... il passe...* »

Mais malgré cette approche fugitive d'une perception correcte, elle revient à sa première réponse.

Plus étonnant encore est le cas de Jul. Après s'être trompé pour le manège, il résout sans difficulté le problème des arbres.

Jul : « *On dirait que c'est les arbres qui vont en arrière, ça fait comme le sens inverse.* »

H.M. : « *Et le manège, c'est le même sens ?* »

Jul : « *Oui...non, je sais pas trop.* »

On lui propose alors de raisonner de façon statique en positionnant le manège pour que le personnage soit successivement à droite, en face puis à gauche de l'observateur. L'enfant admet alors volontiers que les mouvements sont inversés et qu'il s'était trompé, mais il fait une moue dubitative en se grattant la tête, puis :

Jul : « *Y a pas un petit problème là ?* »

H.M. : « *Quel problème ?* »

Jul : « *C'est en sens inverse comme ça ? Tous les trucs sont en sens inverse ? ça tourne vers la droite et ça vers la gauche ? ... Ca m'étonne un peu que c'est en sens inverse...* »

Analyse

Dans certains cas, on constate que les enfants refusent la possibilité de deux mouvements de sens opposé : le sens du mouvement apparent doit être le même que le sens du mouvement réel. **Le sens du mouvement est une propriété intrinsèque de ce mouvement et l'enfant ne reconnaît pas qu'il peut être différent selon le repère.**

Dans d'autres cas, les enfants se réfèrent à une situation où le personnage et le manège tournent dans le même sens et à la même vitesse :

– si le souci de ne pas perdre des yeux le personnage l'emporte (« *si je dois la regarder* », « *pour la regarder* » etc.), ils donnent une réponse erronée. Le fait de suivre du regard le personnage semble alors **l'entraîner dans le sens du manège** ;

– si les élèves considèrent, à juste titre, que cette situation ne leur permet pas de voir le personnage se déplacer, ils choisissent le bon sens de rotation par réaction, mais **l'argumentation n'est pas correcte**, car elle se base sur une combinaison de mouvements et non sur un changement de référentiel.

Enfin, les élèves qui répondent correctement sont ceux qui ont le plus de facilité à imaginer la situation. On constate qu'ils privilégient dans leur raisonnement les phases de démarrage (**régime transitoire**) et, par un passage à la limite, **se ramènent à une situation de translation.**

Il est intéressant de noter que tous les enfants s'appuient sur le moment où ils sont face au personnage car il leur apparaît comme le moment le plus fiable. Mais pour ceux qui se trompent, le souci essentiel est de suivre le personnage des yeux, ce qui les oblige à se tourner eux-mêmes dans le même sens que le personnage vu depuis le manège. Pour ces élèves, il n'y a aucune construction cognitive : ils ne peuvent pas raisonner si le personnage est hors de leur champ de vision, ils suivent donc son déplacement, d'où leur réponse erronée. Pour les élèves qui répondent correctement l'approche reste très empirique au départ, les enfants se ramenant à un problème proche, celui de la translation. Mais ils sont capables d'imaginer ensuite le déplacement apparent du personnage, même lorsqu'ils ne le voient plus, sans éprouver le besoin de tourner la tête : ceci semble indiquer chez eux un élément de modélisation.

CLASSE E

Dans tous les cas évoqués précédemment, les élèves étaient nombreux à esquisser des mouvements de la tête avant de répondre. Toutefois, ils étaient assis sur une chaise et ne pouvaient pas expérimenter. Nous avons voulu leur donner cette possibilité de manière à voir si l'expérimentation permettait d'augmenter le taux de réussite.

Technique expérimentale

Les élèves sont installés sur un fauteuil de bureau à roulettes, pouvant tourner sur lui-même. Dans un premier temps, le fauteuil est fixe et le chercheur tourne autour de l'enfant dans un certain sens, l'enfant étant invité à le suivre des yeux pour bien observer et mémoriser ce déplacement ; on lui demande de décrire ce qu'il voit (« *tu tournes autour de moi, tu changes de place, d'abord tu es devant, puis sur le côté, derrière et sur l'autre côté...* »).

Ensuite le chercheur s'immobilise face au fauteuil et demande à l'enfant ce qu'il doit faire pour voir la même chose. Si l'enfant propose de faire tourner le fauteuil, on lui demande dans quel sens (au départ il ne peut pas expérimenter), puis on lui propose d'essayer, et on lui demande s'il confirme ou non sa réponse quelle qu'elle soit. Si l'enfant ne répond pas, on lui suggère qu'il peut faire tourner le fauteuil et on continue l'entretien de la même façon.

Résultats

Avant expérimentation, seuls 6 élèves dans cette classe font spontanément une prévision correcte, en inversant le sens de rotation du fauteuil par rapport au déplacement de l'expérimentateur ; 18 élèves, au contraire, se trompent.

Après expérimentation les élèves ayant fait de bonnes prévisions les confirment. Parmi ceux qui avaient fait une mauvaise prévision, 6 se corrigent, en manifestant toujours un certain étonnement. Au total on trouve donc 12 enfants qui déterminent un sens de rotation correct après essai. Lorsqu'ils explicitent leur raisonnement, ces enfants ne font pas référence à une impression générale, mais à un repère particulier qu'ils ont su choisir. Ainsi Lau dit « *il faut que je tourne par là* (indique le sens correct, soit vers sa gauche) *pour que tu disparaisses par là comme tout à l'heure* (montre son côté droit) ».

Par contre 10 élèves confirment leur prévision incorrecte après essai, même lorsque l'expérimentateur insiste pour qu'ils testent les deux sens de rotation avant de se prononcer. Les remarques montrent qu'ils sont incapables de prendre un point de repère qui leur permettrait d'analyser correctement la situation. Ainsi Mar dit : « *quand je tourne, toute la pièce tourne avec moi* », en accompagnant sa phrase d'un geste indiquant le même sens de rotation que celui du fauteuil. Ou Fan, à qui on demande dans quel sens elle voit tourner la pièce lorsqu'elle fait tourner son fauteuil et qui répond : « *dans le sens du fauteuil* ».

Enfin, 2 élèves ne peuvent se déterminer, ce qui porte à 12 le nombre d'élèves incapables de fournir la réponse correcte, soit un taux de réussite de 50 %, identique à celui obtenu sans expérimentation.

Analyse

Dans la classe D, la mise en doute des réponses avait exigé des enfants une réflexion qui s'apparente à une expérience de pensée. Ceci avait permis d'obtenir un taux de réussite de 50 %.

On constate ici (classe E) que l'expérimentation n'apporte pas plus de progrès dans les résultats qu'une simple demande de confirmation. Un élève qui n'a pas construit les outils d'analyse de la situation au préalable ne parvient pas à le faire lors de la manipulation proposée.

2.3. Synthèse

Piaget a analysé des situations dans lesquelles les enfants doivent composer des mouvements successifs de directions opposées (mouvements d'aller-retour) ou des mouvements relatifs simultanés (exemple de l'escargot qui se déplace sur une planchette elle-même en translation). Il montre que la reconstruction formelle est effective à partir de 10-11 ans. Mais il faut préciser que ces mouvements, successifs ou relatifs, ont toujours été étudiés par Piaget dans le cas de translations.

Dans notre cas, il s'agit, non pas de composer des mouvements relatifs mais d'analyser un mouvement en changeant de référentiel. Quelle que soit la procédure expérimentale utilisée, seulement 50 % des élèves de cette classe d'âge répondent correctement **dans le cas d'un mouvement de rotation**. Nous avons montré qu'une analyse formelle, si elle est possible dès 9 ans pour certains élèves, reste inaccessible à la moitié d'entre eux, entre 9 et 11 ans : les structures opératoires nécessaires à l'analyse de la situation ne sont pas encore toujours élaborées, alors qu'un raisonnement intuitif correct est déjà en place **dans le cas des translations**.

C'est donc bien la nature du mouvement de la Terre (c'est-à-dire un mouvement de rotation autour de l'axe des pôles d'ouest en est) qui est responsable des difficultés rencontrées par les élèves pour déterminer le sens de sa rotation par un changement de référentiel. Notre hypothèse de départ semble donc validée.

Pour déterminer le sens de rotation de la Terre sur elle-même, l'élève qui réussit :

- procède par analogie avec des situations de translation ;
- ou s'appuie sur des régimes transitoires.

Ces modes de raisonnement pourraient constituer une aide pour les élèves chez lesquels l'analyse formelle des situations de rotation n'est pas encore en place. Toutefois nous avons montré que, pour certains élèves, l'analogie avec les situations de translation n'est pas convaincante et il est impossible de s'appuyer sur l'intuition des enfants puisqu'elle s'avère souvent trompeuse.

Il est donc nécessaire de raisonner en analysant successivement les positions relatives instantanées de l'observateur et de l'objet observé (ici un observateur situé en France et une étoile donnée). C'est après avoir déterminé la position de la Terre au lever, à la culmination puis au coucher de l'étoile pour l'observateur français, que l'élève trouvera le sens de rotation correct de la Terre. **Le mouvement est alors analysé en termes de dé-placement au sens de Piaget, c'est-à-dire en termes de changement de placement.** Seule cette analyse du phénomène, que nous appellerons « statique », est accessible au plus grand nombre d'enfants de cette classe d'âge.

Mais une telle analyse est loin d'être dénuée d'obstacles. Si cette analyse, que nous avons appelée « statique », résout en partie les problèmes de changement de référentiel, elle suppose toujours **un changement d'espace** : l'enfant doit passer de l'espace local dans lequel il vit, assimilable à une surface plane surmontée d'un ciel hémisphérique, à l'espace astronomique dans lequel la Terre est un astre sphérique flottant dans un espace infini (Nussbaum, 1986).

Nous analyserons dans le paragraphe suivant les difficultés liées au problème de « placement » de la Terre par rapport aux astres. Les « dé-placements » n'impliquent-ils pas en effet des « placements » ?

3. PROBLÈMES LIÉS AU CHANGEMENT D'ESPACE DANS LA DÉTERMINATION DES POSITIONS RELATIVES INSTANTANÉES DE LA TERRE ET DES ASTRES

3.1. Problématique

Pour déterminer les positions relatives instantanées de la Terre et d'un astre, se posent des problèmes liés au changement d'espace. En effet, pour l'observateur terrestre, l'astre apparaît dans une certaine position par rapport à son horizon personnel ; cette position est définie essentiellement pour les élèves par la direction de l'astre (vers l'est au « lever », vers le sud lorsqu'il culmine, vers l'ouest au « coucher »). Pour placer correctement le globe terrestre par rapport à l'étoile, l'enfant doit donc :

- imaginer que l'espace visible par l'observateur terrestre situé en France est l'espace limité par le plan tangent à la sphère terrestre en France ;
- établir des relations entre les directions dans lesquelles les astres ont été repérés depuis la France et la position de ces astres par rapport au globe.

Ainsi par exemple, lorsque les élèves sont invités à placer la Terre pour reproduire un lever de Soleil ou d'étoile, ils doivent orienter le globe terrestre de manière à ce que cet astre soit pratiquement dans le plan tangent au globe passant par la France, vers l'est (l'astre se situant alors pratiquement à l'aplomb de la Chine).

Lors d'une série d'entretiens individuels (pré-test), nous avons constaté, malgré l'excellent niveau de la classe, la difficulté de certains enfants à se décentrer, et leur tendance à ne considérer comme accessible à l'observateur français que l'espace situé « en face » de la France, c'est-à-dire proche de la verticale de l'observateur. Ainsi le positionnement du globe lorsque l'étoile est nettement visible ou carrément invisible ne pose que peu de problèmes en général. Par contre beaucoup d'élèves rencontrent des difficultés lorsqu'il s'agit de reproduire un lever ou un coucher d'astre, c'est-à-dire pour les positions « limites ».

Nous nous sommes demandé si les difficultés rencontrées étaient inhérentes à la situation ou si elles existaient également lorsqu'il s'agit de concevoir un champ visuel dans une situation de la vie courante.

Ici, en effet, l'enfant doit raisonner sur un espace de dimension considérable ; de plus la forme sphérique de la Terre nécessite le recours à un outil géométrique spécifique, le plan tangent à la sphère terrestre. Or cet outil n'a pas encore été construit dans un contexte scolaire, la sphère elle-même étant à peine abordée en géométrie à l'école élémentaire.

Mais, dans les deux cas (contexte astronomique ou situation de la vie courante), pour concevoir l'espace accessible à un observateur, l'enfant doit utiliser la notion de droite de visée, qui s'appuie sur le concept de propagation rectiligne de la lumière. Il est bien connu que, pour l'enfant de cet âge, le modèle de référence est celui d'un rayon issu de l'oeil, mais le sens de la propagation n'intervenant pas dans le problème qui nous préoccupe, nous en ferons abstraction. Ainsi nous considérerons comme déterminante la seule capacité des élèves à utiliser, dans la résolution de la tâche, une droite reliant l'observateur à l'objet observé.

Ceci étant posé, il est intéressant de préciser la question qui nous préoccupe : est-ce la spécificité de la situation étudiée au départ (espace étendu, forme sphérique de la Terre) qui pose problème aux enfants ou la difficulté réside-t-elle essentiellement dans le recours à une droite de visée ?

Pour généraliser les résultats du pré-test et répondre à la question soulevée, nous avons élaboré des tests écrits en proposant aux élèves de déterminer des champs visuels dans un contexte usuel (observateur placé à proximité d'un écran opaque) et dans un espace astronomique (cas de l'observateur terrestre). Le premier test a été soumis à 6 classes de cycle 3, à raison de deux classes par niveau. Pour chaque niveau, une classe est située dans une école au recrutement varié, mais de bon niveau, l'autre est une classe de ZEP. Un deuxième test écrit a été proposé à trois autres classes de cycle 3, après une légère modification des schémas proposés. L'ensemble des résultats (pré-test et tests) est présenté dans le paragraphe suivant.

3.2. Méthodologie et résultats

Pré-test

Technique expérimentale

1ère question

Les élèves sont interrogés individuellement. Ils ont devant eux un mini-globe terrestre entouré de 8 gommettes fixées sur des petites tiges de bois. Les gommettes représentent des étoiles et sont toutes à égale distance du globe, réparties comme indiqué ci-dessous (schéma 1), les gommettes A et H étant placées sur le plan tangent à la sphère terrestre passant par la France.

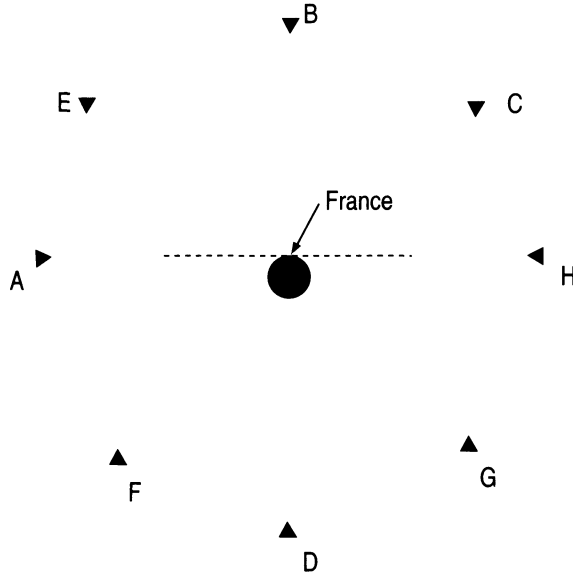


Schéma 1 : Étoiles visibles depuis la France (pré-test)

« Tu es en France (montrée sur le globe) et les gommettes représentent des étoiles. Pour chaque étoile dis-moi si tu peux la voir depuis la France. »

Les étoiles sont passées en revue l'une après l'autre en suivant l'ordre alphabétique.

2ème question

Les élèves disposent du mini-globe terrestre et d'une étoile toujours matérialisée par une gommette. L'étoile est placée assez loin du globe terrestre pour que la taille de la Terre apparaisse comme négligeable par rapport à cette distance.

« Place le globe pour que, depuis la France :

- on voit l'étoile vers l'est ;
- on voit l'étoile vers le sud ;
- on voit l'étoile vers l'ouest ;
- pour qu'on ne la voit pas. »

On propose à l'enfant de déplacer le globe en le faisant tourner sur lui-même si nécessaire.

Résultats

1ère question

- 11 élèves sur 27 répondent correctement à toutes les questions ;
- 9 élèves ont des difficultés uniquement pour les étoiles A et H : 2 hésitent, 3 disent qu'elles ne sont pas visibles et 4 pensent qu'on les voit « *un peu, en diagonale, à la limite...* » ;
- 7 élèves affirment qu'on voit toutes les étoiles, mais 4 seulement confirment leur réponse erronée lorsqu'on la met en doute (les 3 autres corrigent très vite leur première affirmation pour répondre correctement).

2ème question

Parmi les quatre élèves qui sont convaincus que toutes les étoiles sont visibles depuis la France, trois ont beaucoup de difficulté pour répondre à la dernière question : « *Place le globe pour que, depuis la France, on ne la voit pas* ». Le quatrième élève corrige très facilement son erreur.

À part ces cas extrêmes, la plupart des élèves réussissent à peu près cet exercice, si on néglige le problème de l'inversion est-ouest. Mais le positionnement de la Terre pour les situations limites (étoile visible à l'est ou à l'ouest) manque parfois de précision :

- 19 élèves placent la Terre correctement (l'étoile étant dans le plan tangent à la Terre passant par la France, elle est bien visible sur l'horizon) ;
- 5 élèves, au contraire, orientent le globe de telle façon que l'étoile est largement au-dessus de l'horizon.

Analyse

Il est étonnant de constater, à partir des résultats obtenus au premier exercice, qu'un quart des élèves (dans une classe d'excellent niveau) ne parvient pas spontanément à passer de l'espace local à l'espace-Terre. Pour eux, en effet, toutes les étoiles sont visibles « *puisque'elles sont en haut, il suffit de lever la tête, quand on lève la tête on voit toutes les étoiles...* » Parmi ces élèves, 3 rectifient facilement leur affirmation devant un doute exprimé (« *tu en es sûr ?* ») ; les 4 autres ne réagissent pas.

Les arguments avancés font essentiellement référence à une Terre plate surmontée du « ciel » où se situent bien sûr les étoiles. Le simple fait de lever la tête suffit donc à observer l'ensemble du ciel. Même après le second exercice un élève sur dix reste sur sa position.

Les propositions pour les étoiles A et H sont particulièrement intéressantes à analyser :

– lorsque les élèves répondent correctement ils esquissent presque tous un geste de visée, en plaçant un oeil sur l'étoile en question et en observant le globe. Lorsqu'on leur demande ce qu'ils font ils disent : « *je regarde si je vois la France* ». Cela suppose donc que pour eux, s'ils voient la France, l'espace où ils se trouvent sera visible depuis la France (notion de visée réciproque). De plus ils utilisent une technique de visée basée sur un apprentissage pragmatique, aucun travail n'ayant été réalisé en classe dans ce domaine ;

– quant aux autres élèves (ils sont 9 à hésiter), ils semblent n'avoir de certitude que pour un espace situé « face à la France ».

Ainsi, lorsqu'il s'agit, dans le deuxième exercice, de placer la Terre par rapport à une étoile qui doit être visible sur l'horizon, certains enfants limitent considérablement l'espace supposé accessible à l'observateur français : ils le réduisent en fait à un cône dont le sommet est sur l'observateur et l'angle au sommet de l'ordre de 90° en moyenne (schéma 2).

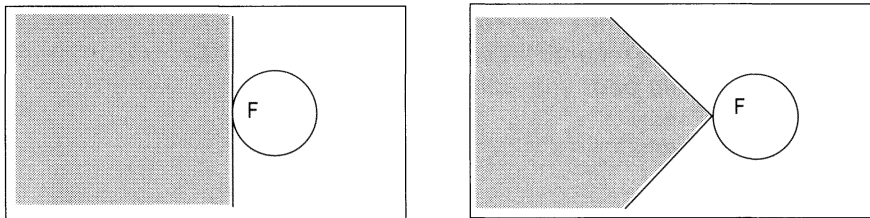
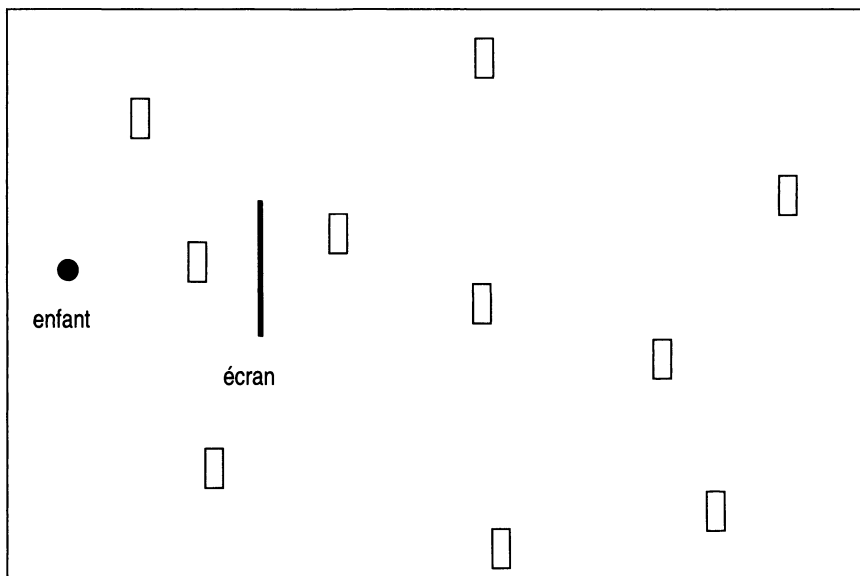


Schéma 2 : Espace accessible à l'observateur français (pré-test)

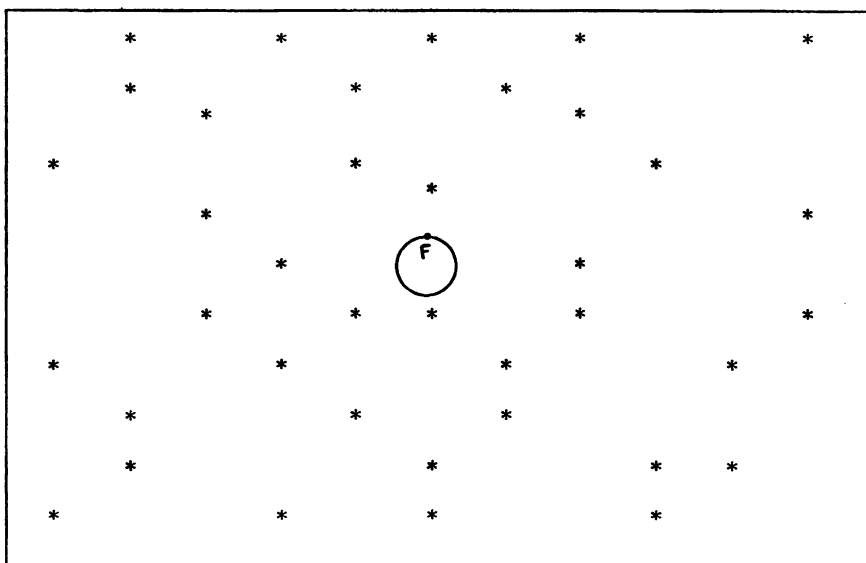
Premier test écrit

Questions

« Un enfant est dans une pièce éclairée dans laquelle on a placé un écran opaque ; on a éparpillé des quilles dans la pièce. **Colorie en rouge les quilles que l'enfant peut voir.** »



« Le cercle dessiné ci-dessous représente la Terre. Une personne est en France (F) et elle regarde le ciel une nuit sans nuage. **Colorie en rouge les étoiles qu'elle peut voir dans le ciel.** »



Résultats

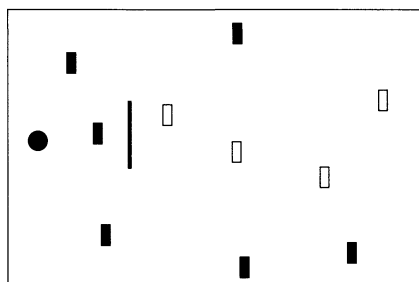
1) Quilles cachées par un écran opaque

Il n'apparaît pas de corrélation évidente entre l'âge des enfants et le niveau de réussite, ni entre l'école à laquelle ils appartiennent et la réussite à cet exercice. On obtient 49 % de bonnes réponses sur l'ensemble du cycle.

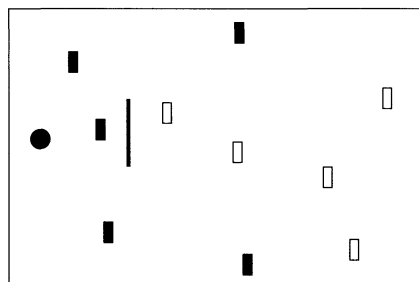
Certains élèves oublient seulement de colorier une ou deux des quilles visibles (ou inversement en colorient une ou deux alors qu'elles sont invisibles) : le pourcentage de réponses imprécises est de 27 et les erreurs sont toujours à la limite du champ visuel.

Pour les enfants qui ne répondent pas correctement, on note un pourcentage important d'élèves qui considèrent que les quilles sont visibles si elles sont « devant » l'écran, alors qu'elles sont invisibles si elles sont « derrière ». Ce type de réponse est particulièrement élevé en CE2, surtout en ZEP. Sur l'ensemble du cycle, ce type de réponse reste assez fréquent (16,5 %).

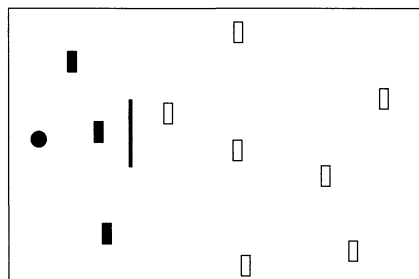
Enfin 7,5 % des réponses sont totalement incohérentes.



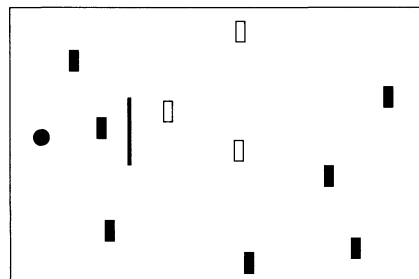
Réponses correctes : 49 %



Réponses approximatives : 27 %



Réponses « devant-derrrière » : 16,5 %



Réponses incohérentes : 7,5 %

Schéma 3 : Quilles derrière un écran (premier test)

On constate que, sur la population concernée, la moitié des élèves semblent maîtriser la technique de la visée et utiliser, pour résoudre la tâche proposée, le tracé d'une ligne droite reliant l'observateur à chaque quille.

2) Étoiles visibles depuis la Terre

Dans cet exercice, le nombre de bonnes réponses augmente régulièrement du CE2 au CM2, avec un taux de réussite moins important en ZEP, à niveau égal. On obtient 26 % de bonnes réponses sur l'ensemble du cycle.

Les réponses totalement incorrectes (sont considérées comme visibles les étoiles proches de la Terre) ou incohérentes sont relativement peu nombreuses (11 %).

Par contre, le nombre de réponses approximatives est élevé (62 %). Dans de nombreux cas, les enfants ne colorient que les étoiles situées dans un cône centré sur la France, parfois au contraire certaines étoiles situées juste au-dessous de l'horizon sont coloriées.

Analyse comparative

Pour une présentation synthétique des résultats, on définira trois catégories d'élèves (tableau 2) :

– ceux qui fournissent une réponse rigoureusement exacte (a) ; ce sont des élèves qui semblent avoir construit l'outil géométrique correct permettant de résoudre le problème proposé (alignement, plan tangent) ; même si cet outil n'est pas toujours matérialisé dans leur réponse, celle-ci, par sa précision, permet de supposer l'utilisation de cet outil ;

– ceux qui ont l'intuition de la réponse (b), mais qui font des erreurs chaque fois que l'on se rapproche de la « zone sensible », c'est-à-dire de la limite entre espace visible et espace inaccessible ; pour eux l'acquisition s'appuie sur une approche d'ordre pragmatique, mais l'outil conceptuel n'est pas construit ;

– enfin, la dernière catégorie (c) comprend les enfants qui n'ont pas compris le phénomène.

	a	b	c
<u>exercice 1</u> (écran opaque)	49 %	25 %	26 %
<u>exercice 2</u> (espace visible de la Terre)	26 %	62 %	11 %

Tableau 2 : **Premier test écrit**

On remarque que 49 % des élèves réalisent correctement le premier exercice, alors qu'ils ne sont que 26 % pour le deuxième exercice. Par contre les réponses incorrectes ou incohérentes sont plus nombreuses dans le cas des quilles que dans celui des étoiles. Enfin les réponses imprécises sont nettement plus nombreuses dans le cas des étoiles.

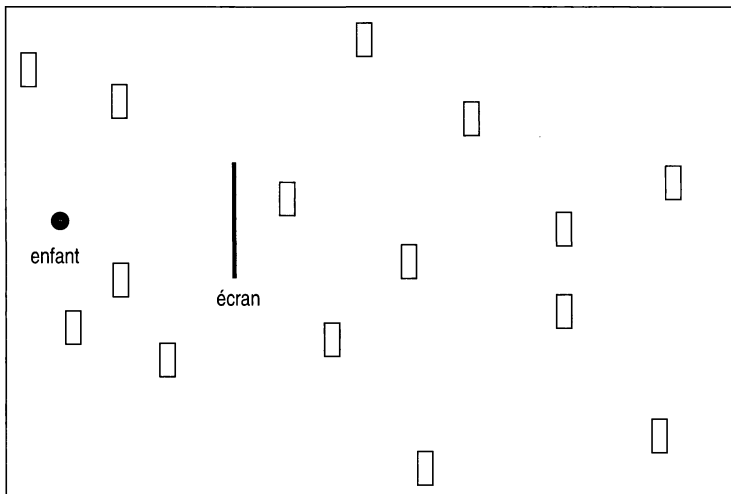
Il nous est apparu prématuré de comparer les résultats à ce stade de la recherche car les étoiles sont beaucoup plus nombreuses que les quilles, et nous avons craint que cela ait eu une influence sur les réponses des élèves. Le grand nombre d'étoiles proposé était destiné, au départ, à favoriser la vision d'un espace continu, puisque parsemé d'étoiles proches les unes des autres. Mais la lassitude due au nombre très élevé d'étoiles à colorier explique peut-être le grand nombre de réponses approximatives dans ce cas. De même le nombre trop faible de quilles ne permet pas d'affirmer avec certitude que les élèves qui ont réussi l'exercice ont eu recours à une droite de visée.

Il a donc été nécessaire, pour pouvoir conclure, de reprendre ce test en l'améliorant, c'est-à-dire en diminuant le nombre d'étoiles et en augmentant le nombre de quilles, de manière à permettre une comparaison valable des résultats.

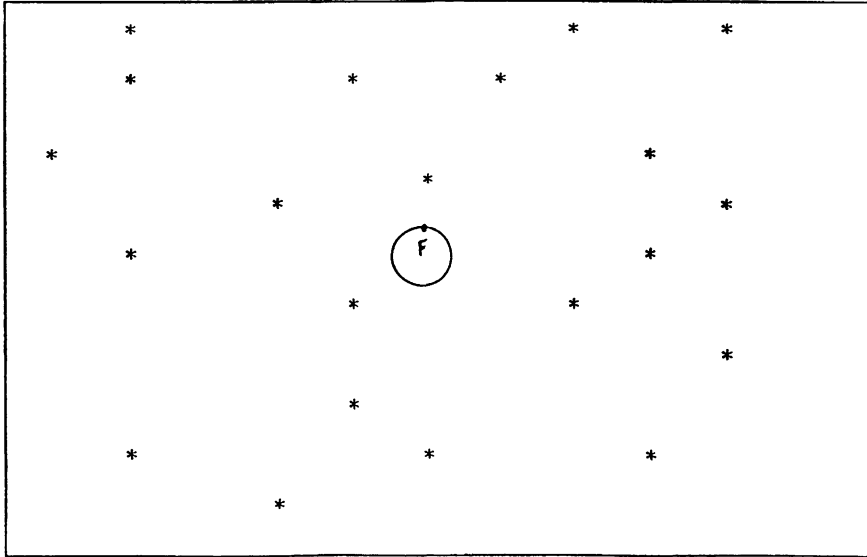
Deuxième test écrit

Questions

« Un enfant est dans une pièce éclairée dans laquelle on a placé un écran opaque ; on a éparpillé des quilles dans la pièce. **Colorie en rouge les quilles que l'enfant peut voir.** »



« Le cercle dessiné ci-dessous représente la Terre. Une personne est en France (F) et elle regarde le ciel une nuit sans nuage. On a dessiné des étoiles tout autour de la Terre. **Colorie en rouge celles que la personne peut voir dans le ciel.** »



Résultats

1) Quilles cachées par un écran opaque

On obtient 32 % de réponses rigoureusement exactes. Ce résultat, nettement inférieur à celui obtenu lors du premier test (49 % de réussite), s'explique bien sûr par le plus grand nombre de quilles proposé. Les erreurs essentielles se produisant à la limite de la zone visible, nous avons, dans cette version du test, placé un nombre élevé de quilles dans cette zone pour voir si les élèves avaient vraiment recours à l'utilisation de la droite de visée pour résoudre l'exercice. Il s'avère donc que seulement un tiers environ des élèves a réellement construit cet outil conceptuel. On ne note pas de corrélation évidente entre l'âge des enfants et le niveau de réussite.

Le nombre de réponses approximatives (une ou deux quilles au maximum ayant été oubliées ou coloriées à tort) représente 29 %.

Contrairement aux résultats obtenus avec le premier test (schéma 4), les réponses de type « devant-derrrière » sont ici très rares (4 % en moyenne). Le fait de n'avoir pas réalisé ce test en ZEP explique ce résultat : c'est dans ces classes que ce type de réponse était très fréquent, en particulier au CE2 (45 %).

Par contre, un type de réponses extrêmement rare lors du premier test apparaît ici : 29 % des élèves colorient toutes les quilles sauf celles situées dans une bande horizontale limitée par les bords de l'écran. On peut expliquer le nombre important de ces réponses. Dans le premier test en effet, une quille était située sur la ligne horizontale passant par le bord de l'écran. Les enfants relevant de cette conception devaient donc partager cette quille en deux parties, l'une visible et l'autre non. Or la formulation de la question laissait penser que les quilles étaient visibles ou non, sans cas litigieux. Dans le doute, il semble que les enfants ont choisi, au hasard, de colorier la quille ou de la laisser telle quelle. Seuls les élèves les plus « convaincus » ont pris le risque d'affirmer leur façon de penser en coloriant la moitié de la quille ; ils étaient très peu nombreux. Dans la deuxième version du test, nous avons choisi de ne placer aucune quille sur cette ligne, cette conception a donc pu s'exprimer librement. Il est étonnant de constater que les élèves utilisent spontanément l'outil géométrique adapté (la ligne droite) sans relation avec le concept physique correspondant (la propagation rectiligne de la lumière).

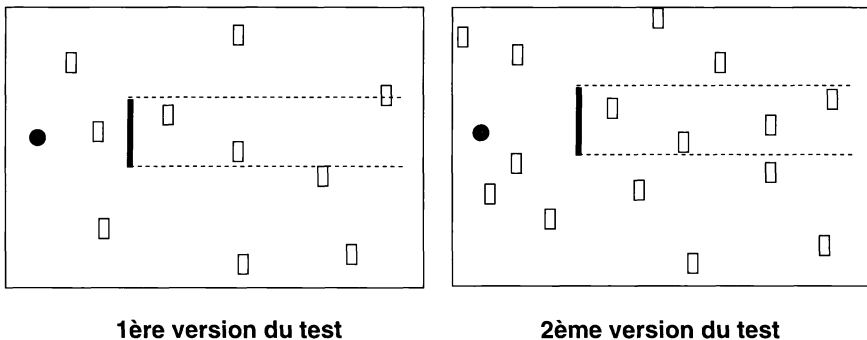


Schéma 4 : **Espace inaccessible limité par deux droites horizontales**

En conclusion on peut donc dire qu'un tiers seulement des enfants a construit les outils conceptuels permettant de résoudre la situation proposée, c'est-à-dire maîtrisent la technique de la visée.

2) *Étoiles visibles depuis la Terre*

Le pourcentage de bonnes réponses est de 35 %. Les élèves qui éprouvent des difficultés à délimiter avec précision l'horizon d'un observateur terrestre représentent 44 % de l'effectif global. Il reste 21 % de réponses totalement incorrectes.

Les différences observées entre les deux tests s'expliquent par le nombre d'étoiles qui a été sensiblement diminué, rendant la tâche plus

aisée. Toutefois on retrouve les mêmes tendances : un grand nombre d'élèves ne savent pas se déterminer lorsque les étoiles sont proches de la limite du champ de visibilité.

Analyse comparative

Une analyse comparative des résultats, prenant en compte les mêmes catégories que précédemment (a : réponse exacte, b : réponse approximative, c : réponse erronée) permet d'élaborer le tableau 3 suivant :

	a	b	c
<u>exercice 1</u> (écran opaque)	32 % 49 %	29 % 25 %	39 % 26 %
<u>exercice 2</u> (espace visible de la Terre)	35 % 26 %	44 % 62 %	21 % 11 %

Tableau 3 : **Deuxième test écrit**

En petits caractères sont rappelés les résultats du premier test.

On note un nombre plus élevé de réponses erronées dans le premier exercice que dans le second ; cela s'explique par le nombre important d'élèves qui délimitent une bande derrière l'écran. Les réponses approximatives à l'exercice 2 sont plus nombreuses qu'à l'exercice 1, la difficulté liée au concept de plan tangent en est sans doute responsable.

Mais, contrairement à ce qui avait été obtenu lors du premier test, les exercices 1 et 2 ont ici des taux de réussite très voisins. Lorsque le concept de droite de visée est construit et utilisé par les élèves pour résoudre la tâche, ceux-ci visualisent une droite reliant l'observateur aux objets à observer ; parfois ce tracé est virtuel (on voit les enfants utiliser leur règle pour matérialiser cette droite), parfois on trouve les tracés sur les tests. Lorsque cette droite rencontre un obstacle, l'objet n'est pas considéré comme visible, dans le cas contraire il l'est. Un raisonnement correct est alors en place, et les deux situations proposées sont correctement traitées dans les mêmes proportions.

3.3. Synthèse

La difficulté à délimiter l'espace accessible à un observateur terrestre ne semble donc pas liée essentiellement au caractère particulier de cette situation : elle réside surtout dans l'utilisation d'une droite de visée, nécessaire

pour déterminer un champ visuel quel qu'il soit.

Si cet outil est construit, les enfants résolvent aussi bien les situations de la vie courante que la situation relative à l'astronomie. La seule différence réside dans le fait que, dans la situation astronomique, la droite reliant l'observateur à l'objet observé est une tangente à une sphère. Cela suppose donc un passage à la limite qui semble possible sans difficulté, du moins au CM. En effet les tests ont montré que pour les étoiles les progrès étaient notables entre le CE2 et le CM2, alors que ce n'est pas le cas pour les quilles. Cette progression est certainement le signe d'une plus grande capacité, au CM, à concevoir cette tangente.

Le fait que la difficulté essentielle réside pour les élèves dans le recours à une droite de visée constitue une conclusion importante : elle peut conduire à mettre en place des situations d'apprentissage faciles à élaborer, dans un espace réduit. L'observateur pourra facilement y tester ses hypothèses et élaborer un modèle explicatif correct. Il restera ensuite à transférer les acquis à l'espace astronomique.

4. CONCLUSION

Comme nous l'avons souligné, la conceptualisation du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même nécessite à la fois un changement de référentiel et un changement d'espace.

Le changement de référentiel s'accompagne d'une inversion de sens : le sens de rotation de la Terre sur elle-même est inverse de celui du mouvement apparent de la voûte céleste. Nous avons montré que la détermination du sens de rotation de la Terre est difficile pour certains élèves et nous avons identifié la cause de cette difficulté : c'est bien la nature du mouvement de la Terre, c'est-à-dire un mouvement de rotation autour d'un axe, qui pose problème aux élèves, puisqu'ils sont tout à fait capables de raisonner correctement dans des situations de translation.

Pour contourner cet obstacle, on peut mettre en place une analyse en termes de dé-placement, c'est-à-dire en termes de changement de placement. On est ainsi conduit à une analyse « statique » de la situation, qui suppose une capacité importante de décentration. Il faut pouvoir en effet déterminer l'espace accessible à un observateur terrestre et cela s'avère difficile pour certains élèves ; mais nous avons montré que ces difficultés existent également dans des situations de la vie courante.

On constate donc que les obstacles décelés dans cette recherche ne sont pas spécifiques de la situation étudiée, mais sont inhérents aux mouvements de rotation d'une part, et à la détermination de champs visuels

d'autre part. Ces deux conclusions permettent d'envisager des situations d'apprentissage déconnectées d'un contexte astronomique. Ces apprentissages devraient permettre ultérieurement une conceptualisation plus facile du mouvement diurne de la Terre.

BIBLIOGRAPHIE

- MAURY L., SALTIEL E. & VIENNOT L. (1981). Étude de la notion de mouvement chez l'enfant à partir des changements de référentiels. *Revue française de pédagogie*, n° 40, pp. 15-29.
- MERLE H. & DUSSEAU J.-M. (1996). Apprentissage du mouvement diurne de la Terre par des enfants âgés de 9 à 10 ans. *Didaskalia*, n° 9, pp. 147-156.
- NUSSBAUM J. (1979). Children's conceptions of the Earth as a cosmic body : A cross age study. *Science Education*, vol. 63, n° 1, pp. 83-93.
- PIAGET J. (1972). *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*. Paris, PUF.