

Report of innovation

Histoire des sciences et sphéricité de la Terre : compte rendu d'innovation

History of sciences and Earth's sphericity : report of innovation

Hélène MERLE

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

Résumé

Une séquence d'enseignement innovante inspirée de l'histoire des sciences a été testée dans une classe de cours moyen avec des élèves de 9 à 10 ans. Ceux-ci ont été confrontés, dans un planétarium, à la découverte de nouvelles étoiles lors de voyages simulés vers le sud, découverte rapportée par les grecs et qui leur a permis de montrer la rotondité de la Terre. La confrontation de cette découverte avec les modèles d'une Terre plate ou sphérique permet aux élèves une construction argumentée de la sphéricité de la Terre. Au cours de ce travail les élèves construisent les notions de champ visuel et d'horizon, mais également une image du fonctionnement de la science proche de l'épistémologie contemporaine.

Mots clés : *histoire des sciences, astronomie, sphéricité de la Terre, modélisation, enseignement élémentaire.*

Abstract

An innovative sequence of teaching patterns inspired from the history of sciences was tested in a third-year elementary school form composed of learners aged 9 to 10 years. These learners were confronted in a planetarium with the discovery of new stars made in the process of simulated southbound trips, a discovery originally reported on by ancient Greek seafarers, which enable them to prove the Earth's rotundity. The confrontation of this discovery with alternative models of a flat or of a spheric Earth enable the learners to formulate a substantiated conception of the spheric Earth as the only valid one. In the process of this work, the learners built up the notions of visual field and of horizon, and were initiated to an approach of science closely related to contemporary epistemology.

Key words : *history of sciences, astronomy, the Earth's sphericity, modelisation, elementary school teaching.*

Resumen

Una secuencia de enseñanza innovadora inspirada en la historia de las ciencias fue probada en una clase con niños con edades comprendidas entre los 9 y 10 años. Estos alumnos fueron confrontados en un planetarium en el descubrimiento de nuevas estrellas a partir de viajes simulados hacia el sur, descubrimiento reportado por los griegos el cual les permitió mostrar la redondez de la tierra. La confrontación de este descubrimiento con los modelos de la tierra plana y esférica permitió a los alumnos una construcción argumentada de la esfericidad de la tierra. Durante el desarrollo de este trabajo los alumnos construyeron las nociones de campo visual y de horizonte, así como también una imagen del funcionamiento de la ciencia próxima a la epistemología contemporánea.

Palabras claves : *historia de las ciencias, astronomía, esfericidad de la tierra, modelización, escuela elemental.*

Le programme d'astronomie de cycle 3 en France, pour les enfants de 9 à 11 ans, comprend l'étude du « *mouvement apparent du Soleil* » et de « *la rotation de la Terre sur elle-même* » (Bulletin Officiel n° 5, 1995, p. 35). Cet apprentissage présuppose la connaissance par les élèves de la forme de la Terre, qui est évoquée dans les programmes de géographie lorsqu'il s'agit de « *comparer des représentations globales de la Terre (globe, planisphère) et du monde (cartes...)* » (Bulletin Officiel n° 5, 1995, p. 35). Les difficultés liées à la conception d'une Terre sphérique ne sont jamais évoquées, et il semblerait que la multiplicité des images de la Terre proposées aux élèves (photos depuis l'espace, représentations diverses,

fixes ou animées) suffise pour construire le concept de Terre sphérique. Or, nous avons montré que ce n'est pas le cas en analysant divers résultats de recherche et en étudiant nous-mêmes les conceptions des élèves français de cet âge (Merle, 1999).

Toutefois il est certain que, dès le plus jeune âge, les enfants sont confrontés à la rotondité de la Terre et peu d'entre eux oseront affirmer devant leurs camarades que la Terre est plate. Face à cette fausse évidence, s'ils souhaitent un réel apprentissage de la part de leurs élèves, les maîtres doivent trouver une stratégie pédagogique qui implique ceux-ci dans un processus de recherche. Une approche historique nous semble alors prendre tout son sens. Le fait de placer l'élève dans un contexte historique proche de ses conceptions réelles peut, en effet, lui permettre de prendre du recul par rapport à ses propres représentations de la Terre (Fillon, 1995). Dans la situation que nous proposons l'enfant va être amené à « revivre » le cheminement qui, dans le passé, avec des moyens d'investigation modestes, a permis de concevoir la sphéricité de la Terre. Au cours de cette démarche il sera conduit à manipuler divers modèles de la Terre, à réfuter le modèle de Terre plate, et à construire ainsi l'image d'une science non figée mais en constante évolution.

Nous pensons que l'histoire des sciences permet des innovations pédagogiques susceptibles de favoriser l'apprentissage tout en développant chez les élèves, grâce à la pratique de la modélisation, de l'argumentation et des débats, une représentation du fonctionnement de la science et un goût pour la recherche.

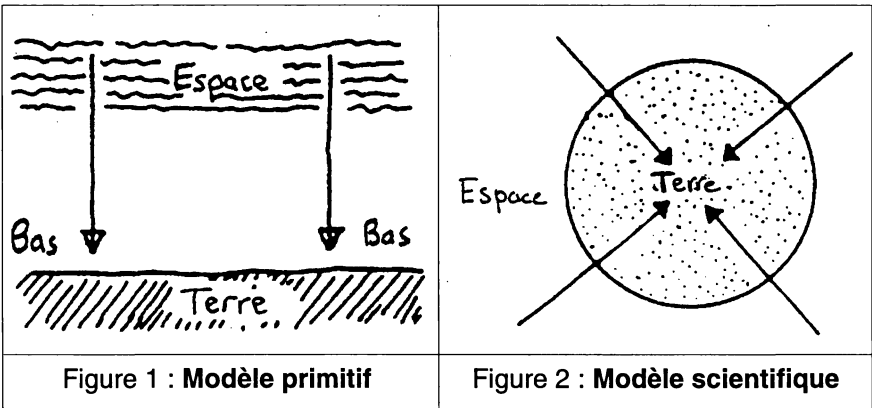
Dans une première partie nous rappellerons les conceptions des élèves de 9 ans concernant la Terre, puis nous présenterons une séquence d'innovation inspirée de l'histoire de l'astronomie et mise en œuvre dans une classe de CM1.

1. LES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES SUR LA TERRE

J. Nussbaum (1979) a montré que la conception la plus élémentaire de la Terre comprend trois composantes essentielles : une Terre plate et horizontale s'étendant à l'infini, surmontée d'un ciel horizontal et parallèle à la Terre, les corps pesants tombant en chute libre selon des trajectoires verticales et perpendiculaires à la surface de la Terre. Cette conception repose sur un référentiel égocentrique et résulte directement de nos perceptions (figure 1).

L'acquisition du modèle scientifique nécessite un saut cognitif considérable qui consiste à imaginer la réalité telle qu'on la verrait de

différentes perspectives et donc la modification simultanée de chacune des trois composantes évoquées plus haut : la Terre devient sphérique, de plus le ciel cesse d'être horizontal pour entourer toute la sphère terrestre, elle-même flottant dans un espace infini. Enfin les chutes s'opèrent selon des directions radiales et les verticales cessent d'être parallèles (figure 2).



Le passage du modèle primitif au modèle scientifique ne se fait pas de façon révolutionnaire, les conceptions se modifient au contraire de façon progressive. Cette évolution conceptuelle est traduite par la figure 3 : elle met en évidence les cinq conceptions les plus fréquentes décelées par Nussbaum et d'autres chercheurs (Vosniadou, 1994 : élèves de 8 et 10 ans, USA ; Baxter, 1989 : élèves de 9/10 ans, Grande Bretagne ; Merle, 1994 : élèves de CM1, 9/10 ans, France).

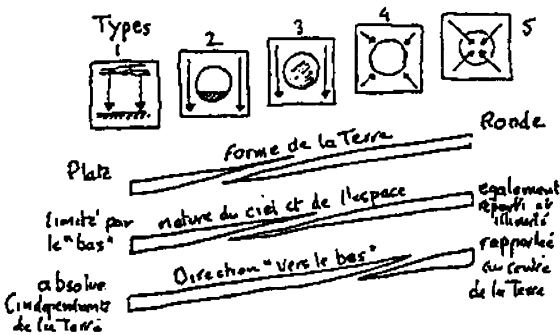


Figure 3 : **Représentation des cinq modèles de la Terre, d'après Nussbaum**

On remarque dans la conception 2 (figure 3) l'idée d'une Terre finie entourée d'espace, mais ce modèle conserve l'idée selon laquelle l'ensemble

des pays de la Terre est réparti sur un vaste espace plat sur lequel vivent les hommes. Dans la conception 3, la Terre devient sphérique, mais les notions de haut et de bas restent liées à une direction absolue de l'espace cosmique, sans aucune relation avec la Terre. La conception 4, enfin, se rapproche du modèle scientifique, mais les directions « haut-bas » ne sont pas rapportées au centre du globe et considèrent la Terre comme un tout.

En France nous avons constaté que la plupart des élèves de CM1 sont fortement imprégnés de l'idée d'une Terre sphérique. Mais les enfants qui affirment que « la Terre est ronde » ne remettent pas toujours en cause les notions de verticales telles qu'elles apparaissent dans un espace restreint à la surface de la Terre. Le modèle dominant est donc le résultat d'un compromis entre le modèle scientifique véhiculé par l'information et l'expérience quotidienne qui nous informe que les corps tombent de haut en bas : c'est donc la conception 3 de Nussbaum qui est la plus répandue en début de cours moyen (47 %), celle d'une Terre sphérique avec des verticales parallèles entre elles. Ainsi, la première difficulté des enfants consiste-t-elle à concevoir des verticales dirigées vers le centre de la Terre.

D'autre part, dans l'apprentissage des mouvements de la Terre, cette dernière n'est pas considérée de façon isolée mais en relation avec l'espace environnant. Lorsqu'on observe le ciel depuis la Terre, l'espace qui est accessible, c'est-à-dire le « ciel » dans lequel on observe les astres, est constitué par l'espace situé au-dessus du plan horizontal (zone dégradée sur la figure 4a, qui représente le champ visuel d'un observateur terrestre, limité par l'horizon). Les élèves doivent concevoir que l'espace vu par cet observateur terrestre est en fait l'espace limité par le plan tangent à la sphère terrestre au point d'observation (zone dégradée de la figure 4b).

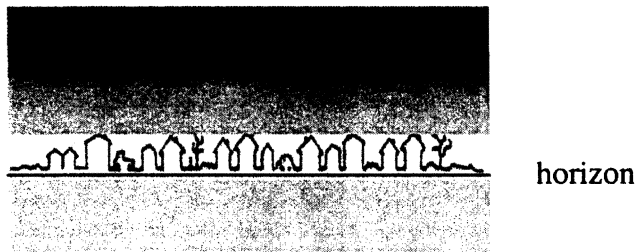


Figure 4a : **Espace local**

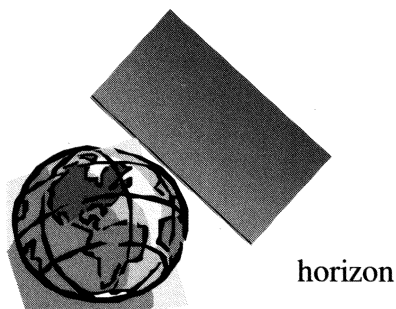


Figure 4b : **Espace réel**

Lorsqu'ils positionnent un globe terrestre à l'intérieur d'un dôme hémisphérique symbolisant la voûte céleste, les élèves devraient donc être capables de dire quelles étoiles sont visibles ou non par l'observateur placé sur la Terre, et pour cela construire le concept d'horizon. Or les élèves ont des difficultés à positionner avec précision ce globe terrestre, en particulier de telle façon qu'une étoile soit visible sur l'horizon pour un observateur terrestre donné.

Les difficultés rencontrées par les élèves dans la conceptualisation de la sphéricité de la Terre concernent donc essentiellement la notion de **verticale** et celle d'**horizon**. Ces deux attributs du concept de Terre sont difficiles à construire, alors même que la sphéricité de la Terre apparaît comme triviale aux élèves.

Nous avons précédemment (Merle, 1995) expérimenté une situation-problème inspirée de l'expérience d'Ératosthène ayant permis la première mesure du périmètre terrestre. Cette mesure s'appuie sur une observation simple : le 21 juin à midi solaire un bâton vertical a une ombre à Alexandrie et n'a pas d'ombre à Syène. Ce phénomène est présenté aux élèves et ceux-ci doivent tenter de le reproduire dans la cour au soleil ; pour cela ils manipulent une carte d'Égypte sur laquelle sont plantées deux épingles symbolisant les bâtons, une à Alexandrie et l'autre à Syène. S'ils maintiennent la carte plane les enfants constatent que les ombres sont identiques, voire nulles dans les deux villes du fait du parallélisme des rayons solaires. Pour obtenir le but recherché ils doivent courber leur carte, ce qui les renvoie au modèle d'une Terre sphérique. Dans les conditions de l'expérience (avec des rayons solaires parallèles, ce qui était admis à l'époque d'Ératosthène et qui est reproduit lors de la manipulation au soleil), l'expérience prouve donc que la surface terrestre n'est pas plane mais courbe, et par extension on admet que la Terre est sphérique.

Après la manipulation, les élèves doivent schématiser l'expérience. On constate au départ des difficultés à représenter des verticales passant par le centre de la Terre : dans les classes où nous avons conduit cette expérimentation, 18 groupes seulement sur 42, soit 43 % des élèves, dessinent correctement les verticales à Syène et Alexandrie. Pour les autres, la référence reste encore celle de l'espace local, les verticales étant parallèles entre elles : cet attribut du concept de Terre s'avère donc particulièrement difficile à construire.

À la suite de cette première schématisation une confrontation des différents schémas et des discussions entre les enfants assorties d'un retour à l'expérience permettent une amélioration de ces résultats : à la fin de la séquence le tracé des verticales est correct pour une grande majorité des élèves. La séquence permet donc de construire la notion de verticale, ce qui est difficile avec une approche classique. La manipulation de la carte d'Égypte au soleil, qui permet de bien matérialiser l'écart angulaire entre les deux épingles lorsqu'on la courbe, contribue vraisemblablement à cette conceptualisation. D'autre part cette approche donne du sens aux activités de classe : la notion de verticale vue à l'échelle de la Terre devient alors opératoire et concourt à la conceptualisation d'une Terre sphérique.

Une autre situation possible pour introduire la sphéricité de la Terre s'appuie sur la découverte, par les grecs, de nouvelles étoiles, lors de leurs voyages vers le sud : elle permet, quant à elle, de construire le concept d'horizon. C'est cette séquence que nous allons présenter maintenant.

2. LA DÉCOUVERTE DE NOUVELLES ÉTOILES

Rappelons le fait historique dont nous nous sommes inspirés. Les pythagoriciens ont été les premiers à imaginer une Terre sphérique, en s'appuyant sur des arguments purement esthétiques et philosophiques, la forme sphérique symbolisant la perfection. Par contre, si Aristote adhère à cette idée, c'est en raison de différents arguments scientifiques qu'il énumère. Retenons celui qui nous a intéressé :

« Quant à sa configuration (de la Terre), elle est nécessairement sphérique... Autre chose. La manière dont les astres nous apparaissent ne prouve pas seulement que la Terre est ronde, mais aussi que son étendue n'est pas bien grande. En effectuant un déplacement minime vers le sud ou vers l'Ourse, nous voyons se modifier le cercle de l'horizon ; par suite les astres d'au-dessus de nous changent considérablement, et ce ne sont pas les mêmes qui brillent au ciel quand on va vers l'Ourse ou quand on va vers le midi. Certains astres visibles en Égypte ou vers le voisinage de Chypre sont invisibles dans les régions septentrionales. Par ailleurs les astres qui,

dans les régions septentrionales, apparaissent en tout temps, connaissent un coucher dans les pays nommés plus haut. Tout cela ne montre pas seulement que la Terre a la forme ronde, mais encore qu'elle a la forme d'une sphère de modeste dimension ; autrement on n'apercevrait pas si vite les effets d'un déplacement si court. » (Aristote cité par Kuhn, 1973, p. 116).

La séquence mise en œuvre débute par une séance de planétarium où on simule l'observation du ciel depuis la Grèce et les modifications constatées lors de voyages vers le sud. Suivent trois séances en classe qui doivent permettre aux élèves d'interpréter le phénomène par la sphéricité de la Terre. Ce travail a été expérimenté dans une classe de CM1 de 28 élèves de bon niveau scolaire, dirigée par un maître-formateur.

2.1. Première séance : observation au planétarium

Elle se déroule dans un mini-planétarium qui accueille une demi-classe. Les élèves sont invités à imaginer qu'ils sont des grecs vivant au quatrième siècle avant J.C. L'animateur leur explique qu'à cette époque les grecs pensaient que la Terre était un disque plat flottant sur l'eau, les étoiles étant piquées sur un dôme sphérique entourant la Terre (la voûte céleste, représentée par l'écran sphérique du planétarium). L'observation est menée en trois temps, ce qui apparaît bien dans le compte rendu rédigé collectivement, avec l'aide du maître, à partir des souvenirs des élèves :

« Au début, grâce à un laser rouge, nous avons observé plusieurs constellations, qui sont des groupes d'étoiles formant des figures dans une région du ciel : la Grande Ourse et la Petite Ourse (elles ont la forme de casseroles), Cassiopée (forme de W), le Cygne, l'Aigle et la Lyre (qui forment le triangle de l'été), la Couronne, le Lion et le Scorpion. L'étoile polaire est située sur la queue de la Petite Ourse : cette étoile indique la direction du Nord.

Puis nous avons observé le ciel comme si nous l'observions pendant plusieurs heures. On voit les étoiles tourner autour de l'étoile polaire qui reste immobile : elles montent au-dessus de l'horizon est, descendent vers l'ouest et disparaissent sous l'horizon. Puis elles réapparaissent à l'est : elles mettent 24 heures pour faire un tour complet.

Enfin nous avons imaginé que nous faisons un voyage vers le sud, depuis la Grèce jusqu'en Afrique. En Grèce on ne voit pas les étoiles situées sous la constellation du Scorpion, elles sont cachées derrière l'horizon. En Afrique on voit la constellation plus haut dans le ciel et on découvre les étoiles situées sous la queue du Scorpion. Les grecs, en voyageant vers le

sud, ont donc découvert de nouvelles étoiles dans la direction du sud. Au contraire certaines étoiles visibles au Nord depuis la Grèce ne sont plus visibles en Afrique : c'est le cas de Cassiopée. »

La séance se termine par la question suivante : « *Pourquoi voit-on de nouvelles étoiles dans le ciel lorsqu'on voyage vers le sud ?* »

2.2. Deuxième séance : si la Terre était plate...

Après un rappel des observations de la séance précédente, le maître demande aux élèves comment les grecs pouvaient expliquer l'apparition de nouvelles étoiles lors de voyages vers le sud. Lors du travail individuel, quelques élèves mettent en cause la forme de la Terre, mais aucun ne parvient à expliquer ou à schématiser correctement le phénomène. Puis les élèves sont invités à effectuer cette recherche par groupe, en se basant sur l'image d'une Terre plate, et à rédiger une affiche :

- deux groupes se contentent de rappeler l'observation sans fournir d'explication ;
- un groupe ne fait pas de schéma mais évoque la forme de la Terre : « *comme la Terre est ronde (mais ils ne le savaient pas), alors la bosse de la Terre qui était entre l'Afrique et la Grèce leur cachait les étoiles sous la queue du Scorpion* » ;
- deux groupes respectent la consigne en dessinant la Terre plate et pensent expliquer le phénomène : les étoiles visibles d'un pays sont celles qui sont situées « au-dessus » de ce pays (figure 5) ;

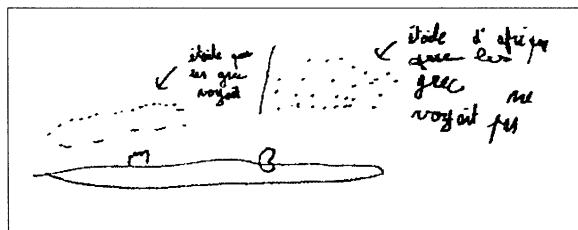


Figure 5 : **Champs visuels limités par une verticale entre Grèce et Afrique**

- un groupe tente de comparer ce que l'on verrait depuis une Terre plate et depuis une Terre courbe, mais ne parvient pas à produire un schéma convaincant puisqu'il ne permet pas d'infirmer le modèle d'une Terre plate (figure 6) ;

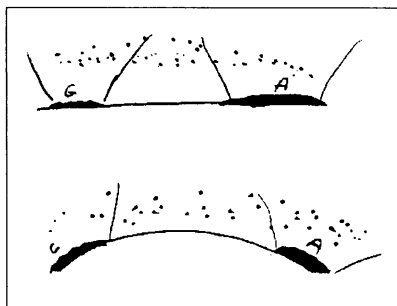


Figure 6 : Champs visuels coniques

– dans un groupe enfin, certains pensent que si la Terre était plate on verrait les mêmes étoiles de tous les pays mais ils ne parviennent pas à convaincre leurs camarades et l'idée n'aboutit pas.

Lors de la mise en commun le maître laisse les enfants s'exprimer sans intervenir. La forme de la Terre est souvent invoquée, parfois à bon escient, malgré une formulation maladroite (« *la bosse entre la Grèce et l'Afrique* »). Toutefois on constate que les élèves ont beaucoup de difficultés à imaginer ce qu'un observateur peut voir depuis un point donné sur la Terre : la notion de champ visuel n'est pas construite. Il est donc impossible pour les enfants de réfuter l'idée d'une Terre plate à partir de l'observation réalisée au planétarium.

Le problème de la distance des étoiles est évoqué (« *on ne voit pas certaines étoiles de Grèce parce qu'elles sont trop loin* »), mais les élèves ne sont pas convaincus par cet argument. La séance se termine sans qu'une conclusion claire ne soit tirée.

2.3. Troisième séance : si la Terre est ronde...

Le maître fait rappeler les propositions de la séance précédente, mais aucune d'entre elles ne remporte l'adhésion des élèves.

Lorsque le maître évoque l'hypothèse relative à la distance des étoiles, un élève affirme : « *j'ai dit ça parce que c'était la seule explication que j'ai trouvée mais c'est pas possible* ». Les enfants prennent conscience que, si cette hypothèse est la bonne, lors d'un voyage d'Afrique en Grèce les étoiles situées vers l'horizon sud disparaîtraient progressivement du fait de leur éloignement, en restant dans la même direction ; par contre elles ne disparaîtraient pas soudainement derrière l'horizon. De plus ils affirment que les étoiles sont tellement éloignées qu'un petit déplacement sur la Terre ne peut expliquer leur disparition.

Le problème n'étant pas résolu, le maître demande aux élèves d'essayer d'expliquer l'apparition de nouvelles étoiles avec le modèle d'une Terre ronde. La recherche se fait individuellement sur un transparent. Les dessins les plus significatifs sont sélectionnés par le maître et projetés en vue d'une analyse collective :

- sur son schéma (figure 7), S a entouré la Terre de flèches : elle explique oralement l'apparition de nouvelles étoiles « *de l'est à l'ouest et du nord au sud* » par la rotation de la Terre sur elle-même. La discussion permet de rappeler les observations faites au planétarium. Des étoiles apparaissent à l'est toute la nuit, mais ceci est dû à la rotation de la Terre sur elle-même d'ouest en est : S simule avec le globe terrestre le mouvement de la Terre. Les élèves comprennent que ce mouvement ne peut expliquer l'apparition d'étoiles vers le sud, apparition qui est d'ailleurs liée à des voyages vers le sud et non à l'écoulement du temps ;

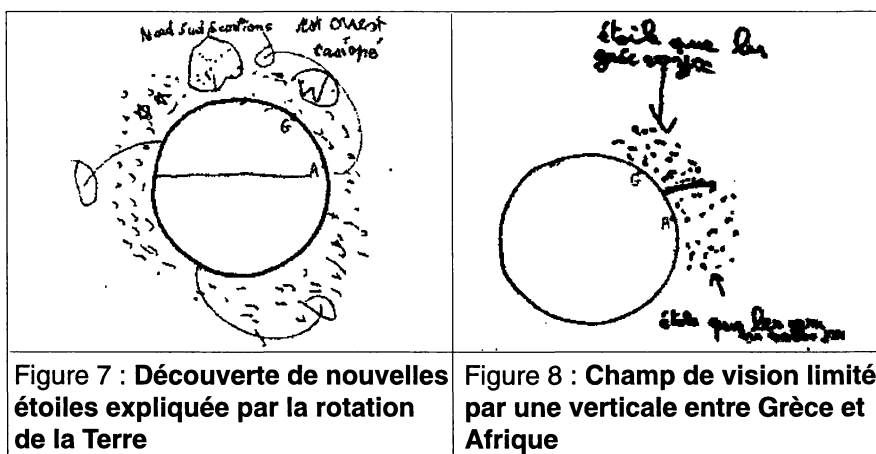
- C sépare l'espace par une verticale située entre la Grèce et l'Afrique (figure 8) ;

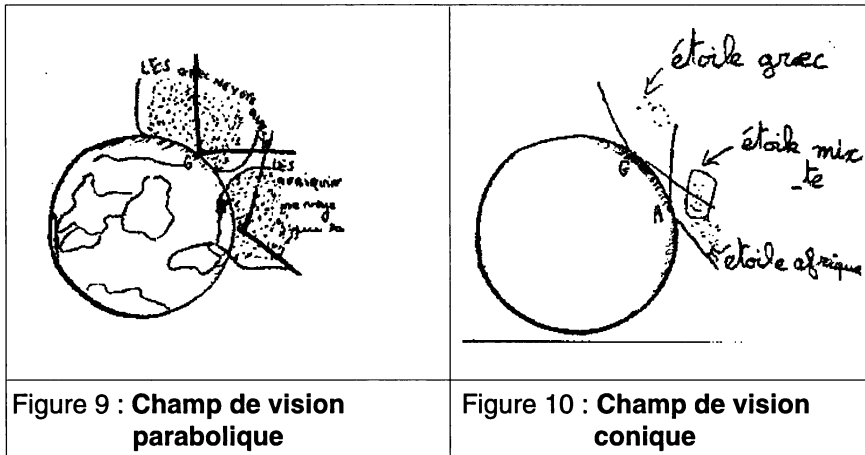
- A dessine deux « paraboles » représentant les champs de vision des grecs et des africains (figure 9) ;

- pour X et beaucoup d'autres élèves les champs de vision sont coniques (figure 10) mais il précise : « *en fait il descend un peu plus* » ;

- K intervient en disant que « *ce serait plutôt comme ça, en trait* » et il vient dessiner une tangente à la sphère ; au maître il explique que « *ce qui gêne pour voir les étoiles c'est l'horizon* » ;

- H a réalisé un dessin confus mais qu'il explique correctement : « *les grecs ils peuvent pas voir en bas, ils voient en haut, à droite et à gauche, pas en bas* », il montre en particulier des étoiles situées en dessous de l'horizon grec, correctement représenté, mais visibles depuis l'Afrique.





Le maître conclut sur la nécessité de savoir ce que peut réellement voir un observateur placé sur la Terre ; il indique que la prochaine séance sera consacrée à une expérience qui permettra de répondre à cette question.

2.4. Quatrième séance : détermination expérimentale du champ visuel d'un observateur terrestre

Dans la cour sont installées deux « maquettes » en carton de la Terre : les cartons représentant la surface terrestre sont disposés verticalement à hauteur des enfants. Pour le modèle de Terre plate ces cartons sont plans, alors que pour modéliser une Terre sphérique, ils sont disposés en arc de cercle. Deux fenêtres sont ménagées dans les cartons, symbolisant l'une la Grèce et l'autre l'Afrique. Certains élèves jouent le rôle des voyageurs et observent l'espace à travers ces deux fenêtres. D'autres représentent les étoiles et déposent à leurs pieds des plots de couleurs différentes selon qu'ils sont visibles ou non par les observateurs.

Si la Terre est plate les élèves constatent aisément que les mêmes étoiles sont visibles depuis la Grèce et l'Afrique. Si elle est courbe, la limite du champ visuel matérialisée par les plots apparaît nettement comme une ligne droite tangente à la Terre ; les enfants constatent visuellement que certaines étoiles sont visibles en Grèce et invisibles en Afrique, et réciproquement (figure 11).

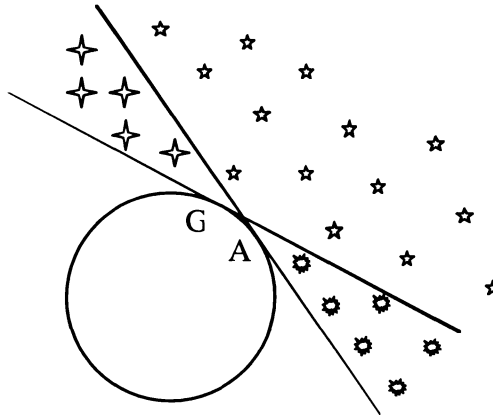


Figure 11 : Champs visuels grecs et africains

De retour en classe le maître présente à nouveau aux élèves les quatre hypothèses faites préalablement concernant le champ visuel des observateurs grecs et africains. Pour chacun d'entre eux, il demande aux élèves ce qu'ils avaient dessiné lors de la séance précédente et ce qu'ils considéraient comme le bon modèle maintenant. Dans le tableau suivant (tableau 1) nous avons reporté les propositions réelles des élèves lors de la troisième séance (colonne 1), et leurs réponses, pour ceux qui se sont exprimés, lors du sondage oral de cette quatrième séance (colonnes 2 et 3).

	Dessin de la 3 ^{ème} séance (1)	Ce que j'avais dessiné (2)	Ce que je pense maintenant (3)
Type 1 (limite verticale)	6	4	0
Type 2 (champ visuel parabolique)	1	1	2
Type 3 (champ visuel conique)	9	12	0
Type 4 (champ visuel correct)	1	0	18
Autre solution	9 (1 rotation 2 distance, 6 descriptifs)	5	0
Total	26	22	20

Tableau 1 : Évolution des conceptions des élèves

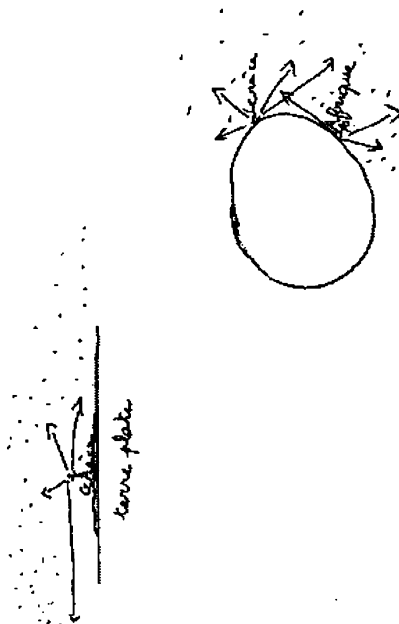
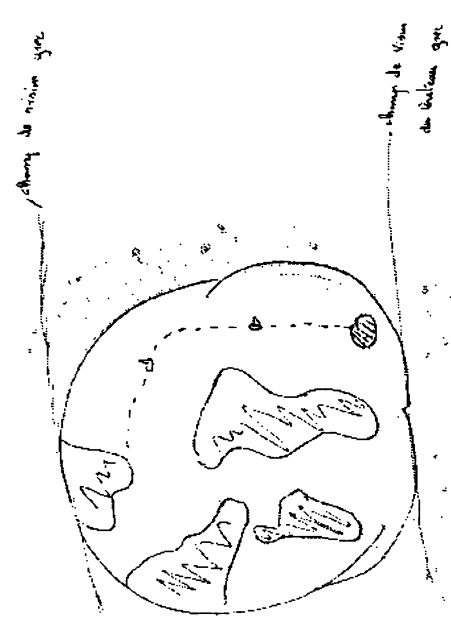
On remarque (colonnes 1 et 2) que les élèves ont une assez bonne conscience de l'hypothèse qu'ils avaient émise et sont donc capables de prendre du recul par rapport à leur mode de pensée. La grande majorité d'entre eux (colonne 3) a été convaincue par la manipulation réalisée dans la cour : la notion d'horizon semble acquise.

Un dernier tracé réalisé par deux élèves devant la classe permet de dégager la conclusion : « *Si la Terre était plate on verrait les mêmes étoiles de Grèce et d'Afrique ; comme ce n'est pas le cas, la Terre est forcément courbe* ».

2.5. Évaluation

Ce travail ayant été réalisé en toute fin d'année scolaire, une évaluation est proposée au début de l'année suivante. Pratiquement tous les élèves disent avoir été très intéressés par ce travail : l'approche historique, loin de les rebuter, a constitué un élément de motivation (Fillon, 1991). Quatre-vingt pour cent d'entre eux expliquent correctement que la découverte de nouvelles étoiles a permis aux grecs de passer du modèle d'une Terre plate à celui d'une Terre sphérique. Avec une question ouverte (« explique cela avec un ou deux schémas »), on obtient environ un tiers de bonnes réponses :

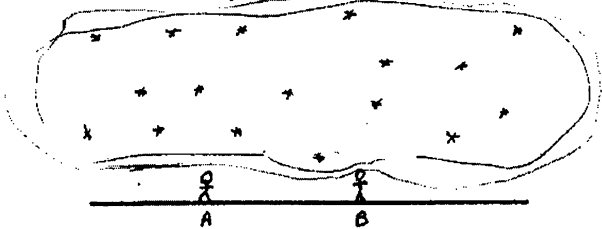
- 15,5 % des élèves produisent une réponse correcte et complète : ils réalisent deux schémas, celui d'une Terre plate montrant que grecs et africains observeraient les mêmes étoiles, celui d'une Terre sphérique justifiant l'apparition de nouvelles étoiles depuis l'Afrique (figure 12) ;
- 15,5 % expliquent correctement le phénomène avec une Terre sphérique, mais sans réfuter le modèle de Terre plate (figure 13).

Nom : <u>Ruger</u> Comment les grecs imaginaient-ils la forme de la Terre ? <u>Ils imaginaient la terre plate.</u> Qu'ont-ils découvert en voyageant vers le sud en observant le ciel ? <u>Qu'on ne voyait plus les mêmes étoiles.</u> Qu'est-ce que cela prouve ? <u>Que la terre est ronde.</u> Explique cela avec un ou deux schémas : 	Nom : <u>Valérie</u> Comment les grecs imaginaient-ils la forme de la Terre ? <u>Ils l'imaginaient plate.</u> Qu'ont-ils découvert en voyageant vers le sud en observant le ciel ? <u>Ils ont découvert la nouvelle étoile.</u> Qu'est-ce que cela prouve ? <u>Que la terre est ronde.</u> Explique cela avec un ou deux schémas : 
Figure 12 : Réponse complète	Figure 13 : Réponse incomplète

Un questionnement plus guidé est ensuite proposé aux élèves. Ils disposent de deux schémas où sont représentées sur l'un une Terre plate et sur l'autre une Terre sphérique, toutes deux entourées d'étoiles. Les élèves doivent répondre à la consigne suivante : « colorie en rouge les étoiles visibles depuis la Grèce et en bleu les étoiles visibles depuis l'Afrique si la Terre est plate, si elle est ronde et donne ta conclusion ». Un peu plus de la moitié des élèves fait deux schémas corrects en expliquant que, dans le premier cas, on verrait les mêmes étoiles de Grèce et d'Afrique, alors que dans le second cas les africains voient des étoiles différentes des grecs, et ils concluent correctement (figure 14).

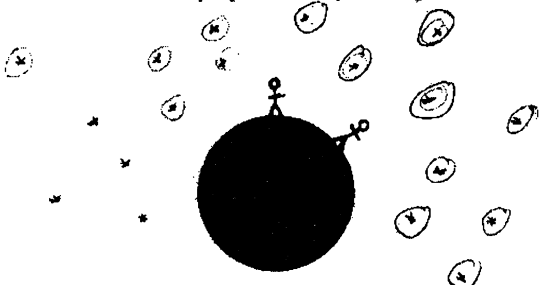
Nom : Yannick

Entoure en rouge les étoiles que peut voir le personnage A
Entoure en bleu les étoiles que peut voir le personnage B



Que remarques-tu ?
Ils voyent pas les mêmes étoiles

Entoure en rouge les étoiles que peut voir le personnage A
Entoure en bleu les étoiles que peut voir le personnage B



Que remarques-tu ?
que les étoiles sont différentes

Conclusion : les grecs ont découvert de nouvelles étoiles en voyageant vers le sud. Je peux donc dire :
que la terre est belle bien ronde

Figure 14 : Un exemple de réponse correcte

On constate par contre que la notion de champ visuel reste encore difficile pour presque la moitié des élèves, deux modèles restant très prégnants : celui d'un champ visuel conique (figure 15) et celui où une limite verticale sépare les deux champs visuels (figure 16).

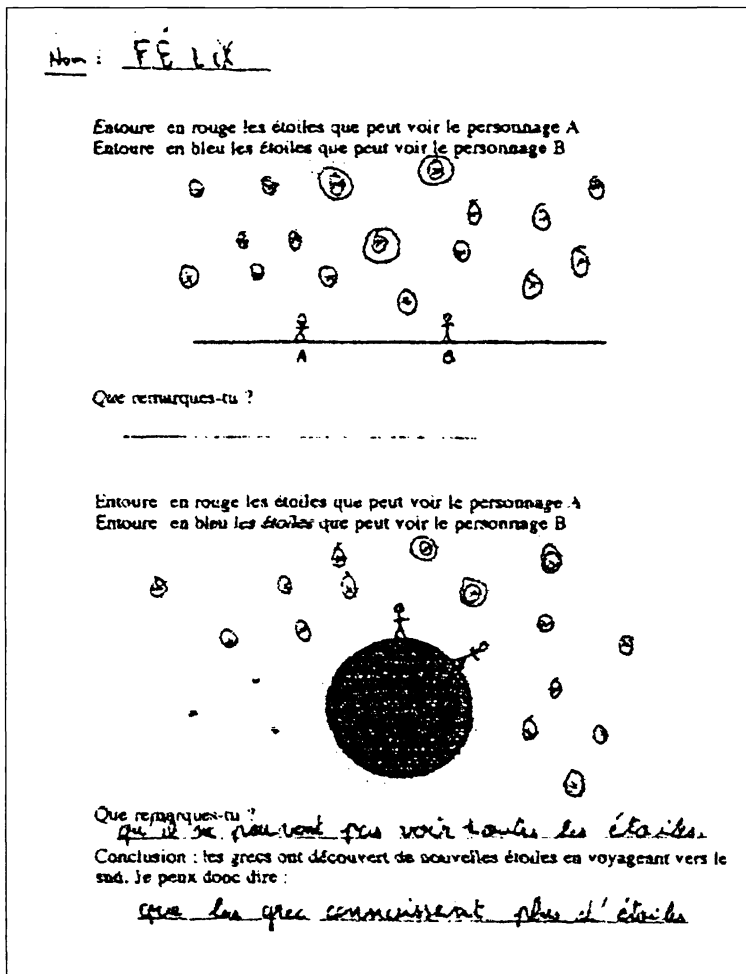


Figure 15 : Champ de vision conique

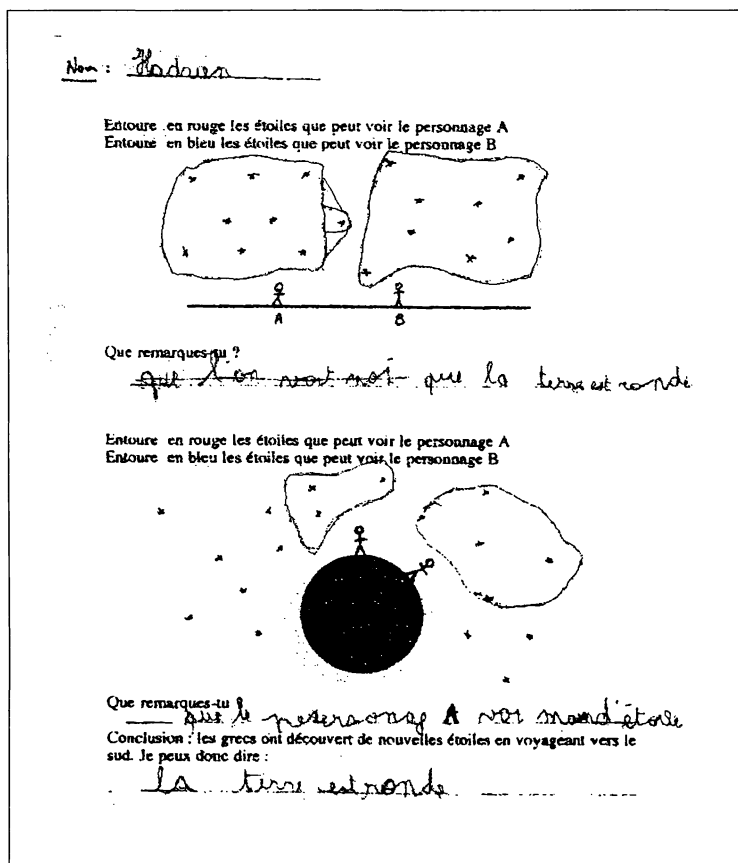


Figure 16 : Champ de vision limité par une verticale entre Grèce et Afrique

Ces résultats (un peu plus de 50 % de réussite) peuvent paraître modestes, mais rappelons que la séquence s'est déroulée très tard en fin d'année scolaire et l'évaluation après deux mois de vacances. D'autre part ce même test avait été réalisé précédemment (Merle, 1999) dans des classes de CM1 témoin, avant tout apprentissage en astronomie. Il s'avère que 13 % seulement des élèves étaient capables de répondre correctement avant enseignement. La situation que nous avons proposée a donc été bénéfique sur le plan des apprentissages. Toutefois ces résultats soulignent la difficulté de l'appropriation du concept d'horizon par de jeunes élèves.

3. CONCLUSION

Analysons l'approche mise en œuvre, tout d'abord **du point de vue historique**. L'intérêt de cette séquence est qu'elle replace les enfants dans la situation des grecs : si les grecs de l'époque d'Aristote avaient pressenti la forme sphérique de la Terre, les enfants du XXI^e siècle ne peuvent l'ignorer. Mais les uns ont dû abandonner une vision purement philosophique alors que les autres doivent préciser une vision plutôt approximative pour parvenir à une construction argumentée et étayée de la sphéricité de la Terre. Ce cheminement se fait dans les deux cas à partir de l'observation du même phénomène : la découverte de nouvelles étoiles lors de voyages, voyages réels ou simulés grâce au planétarium. Cette proximité des contextes nous paraît particulièrement intéressante : un des dangers souvent soulignés de l'utilisation de l'histoire des sciences dans l'enseignement est le piège du jugement rétrospectif. Certes les enfants ont tendance à sourire lorsqu'on leur présente l'image d'une Terre plate telle que la concevaient les anciens grecs, mais il leur est difficile de dépasser la simple affirmation (« *la Terre est ronde* ») et d'argumenter en faveur de la sphéricité de la Terre. Cela les rend plus modestes et plus tolérants dans leurs appréciations.

Nous pouvons également analyser cette procédure **sur le plan épistémologique**. Lors de la séance de planétarium, l'attention des élèves est attirée sur un phénomène précis, la découverte de nouvelles étoiles en Afrique, et la démarche mise en œuvre focalise leur recherche sur ce phénomène. Le contexte grec, dans lequel la « science » n'avait pas encore acquis son statut face aux mythes, était sans doute beaucoup moins propice à un raisonnement logique tel que celui suscité chez les enfants. Le recours à l'observation sur un modèle, qui a été utilisé dans la cour grâce aux maquettes en carton de la Terre, n'était guère envisageable à l'époque. Toutefois le cheminement intellectuel des grecs fut vraisemblablement très proche de celui des élèves, et sa difficulté explique qu'il ne fut pas le fait d'un seul homme mais l'aboutissement de la réflexion de toute une époque, confrontée par ailleurs à d'autres indices permettant de penser la sphéricité de la Terre.

La situation didactique choisie, en isolant un « fait », facilite la réflexion des élèves, ce qui est indispensable vu leur jeune âge. Mais elle les place dans une situation où deux modèles sont mis en relation avec ce fait. Lorsqu'ils confrontent chacun de ces deux modèles à l'observation, il s'avère que les élèves ne possèdent pas une connaissance indispensable pour trancher : la notion de champ visuel. Ils sont donc conduits à émettre des hypothèses sur les champs visuels, à les discuter, à les tester enfin lors de la modélisation réalisée dans la cour. Cette démarche de résolution

de problèmes est bien sûr adaptée à l'âge et aux compétences des élèves, mais elle conserve un esprit conforme à l'épistémologie contemporaine.

Enfin **sur le plan didactique** rappelons les acquis qui résultent de cette situation : outre l'idée même de sphéricité, elle aide aussi à construire la notion d'horizon.

Cette séquence, qui utilise une démarche identique à celle que nous avons présentée précédemment (Merle, 1995) vise des objectifs essentiels : il s'agit tout d'abord, pour nous, de proposer aux élèves des situations-problèmes riches et motivantes. Dans chacune d'elles l'investissement des élèves est important et les résultats très satisfaisants sur le plan des acquisitions, tant notionnelles que méthodologiques.

De plus ces séquences confrontent les élèves à une démarche de modélisation essentielle en sciences et, malgré cela, peu pratiquée à l'école.

Au-delà de cet aspect, ces situations permettent de sensibiliser de très jeunes élèves au fait que la science est le fruit de recherches qui se sont déroulées depuis des siècles. Friands de connaissances encyclopédiques, les élèves se posent peu de questions sur l'élaboration de ces connaissances. Or « *découvrir l'astronomie c'est se familiariser avec les efforts, les succès, les erreurs des démarches par lesquelles l'homme a cherché et cherche encore à percer les apparences* » (Roy, 1982). Notre objectif est de donner aux élèves le goût du questionnement, l'envie de chercher des réponses. Une approche inspirée de l'histoire des sciences va dans ce sens : elle permet de montrer comment le savoir se construit peu à peu, souvent par réfutation de croyances antérieures. L'idée de Terre plate ne sera plus considérée avec moquerie quand les élèves auront éprouvé des difficultés à élaborer des arguments en faveur d'une Terre sphérique. Au-delà d'une admiration naïve envers quelques illustres savants, c'est une admiration justifiée pour les efforts et les recherches des scientifiques que nous souhaitons développer par ce biais. Un des objectifs visés par cette activité est ainsi de promouvoir l'image de la science comme une aventure humaine.

BIBLIOGRAPHIE

- BAXTER J. (1989). Children's understanding of familiar astronomical events. *International Journal of Science Education*, vol. 11, special issue, pp. 502-513.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1995). *Programmes pour l'école primaire. Bulletin officiel*, n° 5. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.
- FILLON P. (1991). Histoire des sciences et réflexion épistémologique des élèves. *Aster*, n° 12, pp. 91-120.

- FILLON P. (1995). Histoire des sciences et réflexion épistémologique des élèves. In A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Éds), *Actes des XVIIes Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris 7, pp. 113-120.
- KHUN T. S. (1973). *La révolution copernicienne*. Paris, Fayard.
- MERLE H. (1995). Sensibilisation d'enfants de 9 à 11 ans à l'histoire des sciences : l'expérience d'Eratosthène. In A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Éds), *Actes des XVIIes Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris 7, pp. 475-480.
- MERLE H. (1999). *Apprentissage des mouvements de la Terre à l'école élémentaire. D'une vision géocentrique au modèle héliocentrique*. Thèse de doctorat, Université Montpellier II.
- 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.
- ROY J.R. (1982). *L'astronomie par son histoire*. Québec, Presse de l'Université de Québec Masson.
- VOSNIADOU S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, vol. 4, pp. 45-69.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans la classe de Dominique Broussal, maître-formateur à l'école Condorcet à Montpellier, que je remercie pour sa participation et son implication.

Cet article a été reçu le 25/09/01 et accepté le 30/10/01.