



Alain **MERCIER**¹,
Ancien professeur à l'ENS de Lyon
Maria **POLO**²,
Professeur à l'Université de Cagliari
Sebastiana **LAI**³,
Ancienne chercheuse à l'INAF,
Osservatorio Cagliari

Analyse du savoir en jeu dans l'action didactique conjointe: le cas de l'observation des phases de la Lune

Analysis of the knowledge involved in joint didactic action: the case of observing

RESUMÉ

Observer le savoir en jeu dans une *action didactique conjointe* entre un professeur et des élèves ne peut se faire par l'observation directe. L'objectif de notre *analyse a priori* est premièrement, d'identifier les connaissances possibles qu'un ou une élève devant répondre à la question mobilisera, deuxièmement, de préparer un enseignement. Cette analyse est fondée sur l'observation des élèves, qui montre les savoirs et les objets utilisés et comment leurs usages changent quand les élèves apprennent. Nous recherchons alors les questions auxquelles un professeur devrait pouvoir répondre afin de permettre la réussite individuelle et collective des élèves, qui se manifeste par la production et la diffusion d'une manière d'agir efficace. Mais les divers parcours dans le site ne sont pas visibles du point de vue du professeur, attentif à ce qu'il veut enseigner. L'analyse conduit à construire le site local de la question à l'étude, qui montre les connaissances nécessaires à chacun des élèves, et les éléments que le professeur doit pouvoir introduire. Nous montrons ces phénomènes dans le cas d'une introduction à l'astronomie réalisée et suivie depuis dix ans en Sardaigne. Le site de la question initiale « comprendre les phases de la Lune » mobilise des connaissances et des techniques d'observation conduisant les élèves à des allers-retours entre le monde et les modèles qui, pour les professeurs de mathématiques actuels, sont inouïs.

Mots-clés: Analyse a priori, représentations, site anthropologique d'une question, phases de la Lune.

ABSTRACT

Observing the knowledge at play in a joint didactic action between a teacher and students cannot be done by direct observation. The aim of an a priori analysis is firstly, to identify the possible knowledge that student's action will mobilize, secondly, to prepare a lesson. This analysis is then based on the observation of the pupils, which shows the knowledge and the objects used and how their uses change when the pupils learn. We then look for the questions that a teacher should be able to answer in order to allow the individual and collective success of the students, which is manifested by the production and dissemination of successful actions. But the various paths of the students are not visible from the point of view of the teacher, attentive to what she/he wants to teach. The analysis leads to building the local site of the question under study, which shows the knowledge necessary for each student, and the elements that the teacher must be able to introduce. We show these phenomena in the case of an introduction to astronomy carried out and followed for ten years in Sardinia. The site of the initial question "understanding the phases of the Moon" mobilizes knowledge and observation techniques leading students to go back and forth between the world and the models that, for today's mathematics teachers, are unheard of.

Keywords: A priori analyze, Representations, anthropological site of a question, phases of the Moon.

Correspondance:

¹mercieralain227@gmail.com

²m.polo@unica.it

³sebastiana.lai@tiscali.it

Reçu dans 13/10/2023

Approuvé en 13/11/2023



INTRODUCTION

La question de l'analyse du savoir a été posée par les didactiques naissantes en Mathématiques (BROUSSEAU, 1973), comme en Français et Sciences. Il s'agissait de chercher comment *améliorer l'enseignement* à l'occasion d'une réforme portant en mathématiques à la fois sur : les objets d'enseignement (la réforme « des mathématiques modernes » supposée prendre les mathématiques « à leur début » : la logique et son modèle ensembliste (BOURBAKI, 1961)); et les manières d'enseigner (le mouvement « agir pour abstraire », supposé validé par la psychologie) (DIENES, 1963). Le curriculum nouveau était supposé suivre le développement de la pensée logique humaine (PIAGET, 1969). Il s'agissait d'observer les phénomènes d'accord attendus, pour les différents objets mathématiques introduits ou à introduire.

La volonté de décrire les effets d'une manière d'enseigner sur les mathématiques apprises a été la Théorie des Situations Didactiques (TSD). Le modèle visait :

- à calculer et à améliorer la probabilité d'apparition d'une réponse partagée et acceptable à une question, dans une classe résolvant un problème (ARTIGUE, 1984),

- à accompagner la représentation de l'action par les élèves eux-mêmes, engagés à améliorer leurs stratégies d'action

(BROUSSEAU, 2012).

Brousseau pense « l'instance élève » des situations didactiques comme un « sujet épistémique », car la TSD observe comme un phénomène anthropologique l'acquisition des savoirs « en situation ». Brousseau imagine et met en œuvre la genèse de savoirs définis par avance, par un collectif composé d'un professeur et un groupe d'élèves. L'observation des phénomènes de divergence se produisant dans le cadre d'une ingénierie permettait la régulation du dispositif (BROUSSEAU, 1987; CHEVALLARD, 1981), (BROUSSEAU, 2002) Dans l'enseignement ordinaire, ces phénomènes se sont avérés peser d'un tel poids que les enjeux officiels des interactions semblaient disparaître. Les chercheurs ont dû admettre que les phénomènes liés au *Contrat Didactique* ne dépendent pas de la volonté du professeur : ils ont la puissance des phénomènes sociologiques ou anthropologiques les plus généraux (DURKHEIM, 1911) parce qu'ils dépendent aussi de la manière dont les élèves interprètent les situations qu'ils vivent.

Les moyens d'analyser les rapports d'un groupe humain aux systèmes d'objets et de questions qu'il rencontre *en situation* sont venus peu à peu : une théorie de la Transposition Didactique (CHEVALLARD, 1985), des institutions didactiques (CHEVALLARD, 1988). La TAD, Théorie Anthropologique du Didactique, fonde des propositions d'enseignement en décrivant l'espace des



questions et des praxéologies (CHEVALLARD, 1991), (CHEVALLARD, 2007) qui seront développées dans un « parcours d'étude et de recherche » (PER). Un PER définit pour les professeurs, « ce qu'il faudrait enseigner » et « comment les professeurs pourraient l'enseigner » s'ils étaient des professionnels avertis.

Cependant, l'action du professeur est plus fortement contrainte par les élèves qu'on ne le pense de prime abord. L'observation comparée dans diverses disciplines, à divers niveaux de la scolarité, dans plusieurs institutions de transmission de savoirs théoriques (Ecoles), techniques (Formations), ou pratiques (Apprentissage et Frayage), a confirmé le phénomène (MERCIER; SCHUBAUER-LEONI; SENSEVY, 2002), (SCHUBAUER-LEONI; LEUTENEGGER; FORGET, 2007) cela a conduit à une reprise théorique. La notion *d'action conjointe* des professeurs et des élèves (SENSEVY; MERCIER, 2007), permet de mieux comprendre comment le Contrat Didactique rend aléatoires les propositions de « bonnes pratiques » faites aux professeurs : car l'action d'un sujet est toujours adressée, à soi-même et aux autres sujets de la situation. Les élèves (avec leurs connaissances et leurs enjeux propres) doivent donc être compris dans

l'espace didactique et l'observateur n'a plus à définir a priori l'enjeu épistémique¹ d'une situation observée (SENSEVY; MERCIER, 2007). Il doit en revanche analyser cet enjeu à partir de l'observation des élèves, car chacun le définit pour soi-même. C'est le cas dans la transmission d'une culture familiale, rarement explicite ou spécifiée, mais aussi dans le « frayage », quand les néophytes se frottent aux plus expérimentés, qui mobilisent une technique reconnaissable à son résultat: (MANGEANT; MERCIER, 2010), mais souvent aussi c'est le cas en classe : (MERCIER, 2008).

L'étude est le nom de cette activité, elle caractérise le didactique et demande de suspendre l'action pour porter attention au rapport aux objets d'une situation qui fait problème. Nous centrons ainsi notre attention sur le fait que l'étude collective est l'objet de l'enseignement, et que l'action didactique appartient aussi à l'élève (MERCIER, 2001). Cependant, l'action personnelle de chaque élève est orientée par son insertion dans un dispositif régulateur, et les interventions didactiques de l'enseignant sont pensées comme incitatives et régulatrices des conditions de l'étude, elles en orientent le cours.

L'analyse porte donc sur l'enjeu des transactions observées pour tel élève ou tel

partagé.

¹ Nous utiliserons ici le terme « épistémique » pour nommer les objets relevant d'un savoir formel socialement



autre, pour tel groupe d'élèves, ou pour le professeur qui propose une activité et cherche après coup la possibilité de lui donner un enjeu officiel. Les divers enjeux peuvent s'avérer cohérents ou non, et conformes ou non au plan d'études. Caractériser le savoir dans une telle situation n'est plus l'objet de l'analyse *a priori* préparant les réalisations du COREM (MERCIER; SALIN, 1988) ; en conséquence, l'observateur n'identifie plus des déviations d'une ingénierie mais la recherche d'un enjeu pouvant être partagé entre professeur et élèves : le Contrat Didactique spécifie les savoirs enseignés et appris (SCHUBAUER-LEONI et al., 1989) Chaque élève (MERCIER, 1992), (MARIO; MERCIER, 2015) — et parfois le collectif de pensée qu'elles et ils constituent (FLECK, 1981), (MERCIER, 1999) — tente d'imaginer un enjeu à l'activité proposée, en la reliant si possible à d'autres (MATHERON; MERCIER, 2004) .

Notre problème d'observation se formule donc ainsi : décrire comment les transactions observées construisent des pratiques et des objets identifiables dans une discipline officiellement enseignée, *l'astronomie élémentaire*, pour que l'étude réalisée et les savoirs appris soient déclarés cognitivement, institutionnellement et socialement légitimes. Ce fut l'enjeu de travaux italiens connus (LAI; PROVERBIO, 1980a), (LAI; PROVERBIO, 1980b), (LANCIANO, 1983), puis du travail doctoral de (LAI, 2009) qui sert d'appui à cet

exposé. L'article s'appuie aussi sur des travaux poursuivis à l'université de Cagliari sur cet objet de légitimité épistémologique apparemment faible, mais de forte légitimité sociale et culturelle (POLO, 2017), (POLO, 2019) et (POLO; LAI, 2018). Le lecteur pourra aussi se reporter à (LOPEZ, 2020), (LOPEZ, 2021).

Eléments théoriques

L'apport que nous proposons provient donc de questions nouvelles, devenues incontournables en didactique comparée (MERCIER, 2017). Car il est - plus souvent qu'on ne le pense - difficile de voir l'enjeu et souvent même l'objet d'un enseignement observé dans une Ecole Élémentaire, parfois même au Collège ou au Lycée. L'analyse doit donc imaginer, après chaque observation, les suites épistémiques possibles de l'enseignement déjà observé, puis comparer les possibles aux observations effectives suivantes, sans attribuer ni au professeur ni aux élèves seuls la responsabilité des phénomènes identifiés. Pour cela, l'observateur se place en position de bon élève, pour qui : « Nous sommes à l'Ecole, il y a quelque chose à apprendre. » (MARIO; MERCIER, 2015)

Les représentations fondent une démarche expérimentale

Nous présentons ici en quelques mots les questions de la production de dessins du monde et de leur usage comme « représentations », figures, schémas et modèles pour :



- a) penser le rapport aux objets du monde,
- b) fonder un rapport partagé à ces objets, dans un collectif de pensée spécifique.

L'émergence d'une *culture*, portée par un système de représentations partagées s'appuie sur l'usage de ces représentations (GOODY, 1979), et sur les récits partagés qu'elles soutiennent (BROUSSEAU, 2012).

Nous distinguons quatre niveaux de figures du monde : *les traces*, qui pour l'observateur signent une action, *les dessins*, qui indiquent la forme des objets ou le résultat d'une action, *les schémas*, qui représentent des fonctions, fondent des techniques d'action et ont valeur de modèle, *les représentations*, qui servent d'appui aux récits stratégiques que sont les théories et organisent les rapports des membres d'une culture aux objets du monde.

L'approche biographique des élèves

En analysant les graphismes produits en situation par des élèves (qui agissent sous l'impulsion d'un professeur), nous observons comment le rapport de ces sujets à certains objets change, et nous identifions *des épisodes de leur biographie*. Ces épisodes nous désignent à la fois des objets présents pour ces sujets et leur rapport ancien ou émergent à ces objets. La situation de cette émergence est observée dans sa complexité par le fait qu'un même épisode ne se produit pas pour tous les sujets d'une situation qui nous paraît pourtant semblable. C'est que « le milieu de la situation » n'est pas

complètement déterminée par l'enseignant(e) : pour chaque élève, il est formé de l'organisation des objets existant pour elle/lui (ORANGE, 2007). C'est vrai même lorsque le professeur dit la réponse, comme le montre la restitution de la leçon par cet élève, après une première tentative d'enseignement :

Figure 1 - Damien, premier compte-rendu de l'expérience faite en classe : « La lune met un mois pour tourner autour de soleil. Pour les formes, c'est les rayons du soleil ».

La complexité de la dialectique entre

Prénom : DAMIEN
Groupe : 9

Comment expliquer les phases de la Lune ?

1) Hypothèse

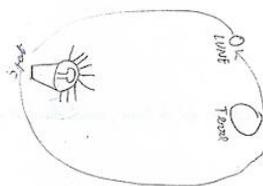
J'ai une idée ! La lune met un mois pour tourner autour de soleil. Pour les formes, c'est les rayons du soleil.

expérience et modèle est notée par (LAI, 2009) qui observe le compte-rendu final de Damien :

Figure 2 - Schéma du modèle présenté en classe : « On voit la Lune autour du

2) Dispositif expérimental tel que je l'imagine
Comment s'organiser pour vérifier l'idée ?

Schéma :



On va tourner la lune autour du soleil.

Matériel nécessaire : Spot, boule de polystyrène

polystyrène ».

L'expérience en classe n'a pas permis à cet élève de produire un schéma qui rende compte des phases de la Lune. La lumière n'éclaire pas, les ombres et l'observateur terrestre manquent. (LAI; POLO, 2018) pensent alors la construction d'un curriculum d'astronomie en mathématiques « le modèle étant autant l'enjeu que l'outil de la démarche expérimentale ». Les autrices analysent dès lors au jour le jour les connaissances des élèves, dans le but de réguler et d'orienter l'enseignement.

L'action conjointe au fondement du contrat didactique

Le choix d'observer *du point de vue de l'élève* conduit à ne plus penser que l'action des sujets en situation pourrait être comprise par rapport à des enjeux définis par avance. Les *situations* sont les conditions écologiques de l'action et de son évolution, mais elles sont construites pour comprendre les *biographèmes* observés : *les épisodes où le rapport d'un sujet à certains objets change, quand elle/il apprend*. Nous ne cherchons pas d'emblée « la suite des situations génératrices d'un savoir » (BROUSSEAU; BROUSSEAU; OTHERS, 1987) mais la constitution d'un corps de savoirs et d'expérience qui seront si possible réorganisés *après coup*.

Chevallard propose l'analyse d'une suite de situations selon trois composantes : *topogenèse* (partage de l'action didactique entre élèves et professeurs), *mésogenèse* (introduction des

objets permettant l'action) et *chronogenèse* (progression dans la matière étudiée) (CHEVALLARD, 1985). Ces composantes caractérisent les attributions d'attentes et les intentions réciproques qui constituent *le contrat didactique*.

Le site de la question permet d'observer le milieu de l'action des élèves

Mais l'analyse faite du point de vue d'un élève demande d'identifier le corps d'expériences personnelles associé au corps de savoirs visés. Ensemble ils forment (pour cet élève) le *site de la question étudiée*, qui permet de *comprendre les chemins suivis par cet élève et ceux de ses camarades*, afin d'orienter l'enseignement (DUCHET; ERDOGAN, 2005), (SILVY; DELCROIX; MERCIER, 2013). Car le site montre les connaissances qui manquent à l'élève pour former des réponses consistantes, et permet d'imaginer la cohérence des connaissances qui pourraient émerger dans l'instruction d'une question. Car il est possible que de nombreux objets mobilisés dans l'action des élèves ne soient pas visibles, mais ils peuvent faire obstacle et le professeur doit pouvoir les repérer pour enseigner efficacement (MA, 1999).

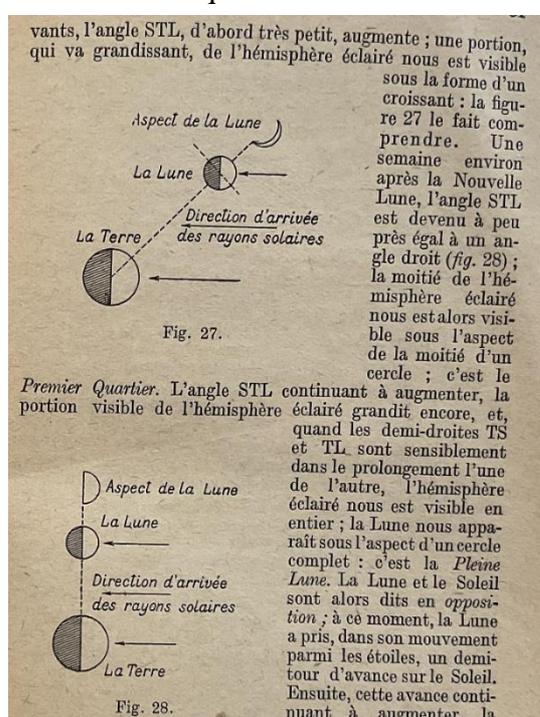
Éléments de méthode

Peut-on établir un premier rapport à l'astronomie fondé sur l'observation ? La recherche dont quelques éléments seront exposés dans cet article a été engagée dans le



cadre d'un Doctorat Européen (LAI, 2009). La question appartient à l'astronomie élémentaire (traitée aujourd'hui en SVT et/ou Géographie) mais figurait en 1930 en France dans le cours de la classe de Philosophie (Terminale) : Algèbre et Cosmographie¹, dont un des thèmes était les phases de la Lune, satellite de la Terre (figure 3).

Figure 3 - Schéma expliquant l'aspect variable de la Lune supposé connu : les « quartiers »



Source: BENOIT (1931)

Le schéma explicatif donne à observer le modèle explicatif, selon un procédé proche de ce que propose souvent « La main à la pâte² » :

ici, l'expérience qu'apporterait l'observation permettrait de falsifier le schéma explicatif, mais ne le valide pas comme modèle.

La réponse était alors donnée d'autorité aux futurs bacheliers, mais nous envisageons ici sa production par les élèves bien plus jeunes. L'analyse que nous conduirons à partir de l'interprétation des dessins et schémas produits par les élèves introduit certains objets du *site anthropologique et cosmographique de la question* « Observer la Lune pour expliquer les phases ». Mais la question que nous poserons propose un parcours inverse : les élèves observent pour produire un schéma, qu'ils valideront ou invalideront en revenant à l'observation jusqu'à obtenir un modèle acceptable.

En interprétant quelques temps significatifs dans la biographie intellectuelle des élèves Damien (figure 1 et 2) nous a conduits aux premiers éléments du site, car les hésitations des élèves nous désignent leurs ignorances dans les trois dimensions anthropologique, mathématique, et cosmographique. Le site permet ainsi d'interroger la transposition actuelle au Collège (élèves de 11 à 15 ans, niveaux 6 à 10), en France et en Italie ; il rend manifeste ce que (CHEVALLARD; BOSCH, 2012) ont nommé l'implosion du curriculum de mathématiques, en France, depuis les réformes

² <https://fondation-lamap.org/>

et contre réformes des années 1980-1990 jusqu'à l'enseignement par compétences (SCHNEIDER; MERCIER, 2014). Nous tenterons ensuite de montrer comment le site pourrait permettre à un professeur d'accompagner les élèves dans la formation d'une réponse personnelle à la question initiale, fondée sur la production collective d'un *modèle* (POLO; LAI, 2018).

Résultats d'observation

Voici d'abord la présentation, il y a vingt ans, du projet d'enseignement aux élèves d'une classe de Cagliari, en Sardaigne, à des élèves de 15 ans (LAI, 2003), (LAI; POLO, 2012). Les observations proviennent des réalisations de ce projet.

1.- Première étape : Constituer l'expérience. Observation directe à l'œil nu pendant un mois du comportement de la Lune par rapport à l'horizon local, chaque jour, et à la même heure. On peut établir les faits suivants :

- La lune se lève vers l'est, monte à une hauteur maximale au sud et se couche vers l'ouest.

- La Lune ne se lève, ni ne se couche jamais à la même place, ni à la même heure ; chaque jour elle arrive plus tôt.

- La "bosse" (partie éclairée) est toujours tournée vers le Soleil.

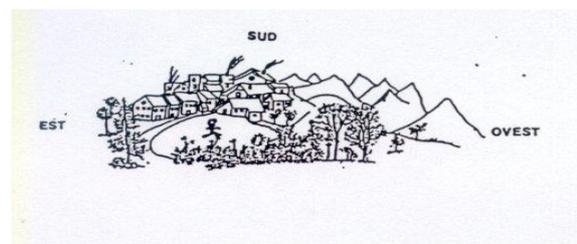
- L'avance du lever de Lune s'accompagne d'une variation de son aspect qu'on appelle *phases de la Lune* : ce qu'il faut expliquer.

Ces observations sont le fruit de la mise en

place des catégories de continuité et régularité, qui donnent un rythme au changement de la lune et de la position relative Terre-Lune-Soleil.

- Deuxième Étape : Il faut interpréter l'expérience. Dans un système représenté par le dessin de l'horizon visible où est situé l'observateur (figure 4), puis en utilisant non seulement les observations des élèves mais aussi les éphémérides locales, (les tables sont données) on demande de poser, sur le dessin immuable représentant l'horizon est-sud-ouest, les deux astres, visibles ou non. Il s'agit de placer le soleil observé à une heure donnée, puis de placer la Lune dans la phase du jour et à cette même heure. Un jour que la Lune est sous l'horizon, les productions des élèves sont soumises au débat collectif ; les questions formulées seront confrontées à l'observation.

Figure 4 - Le dessin de l'horizon visible et des directions cardinales, donné à chaque élève



En mettant en relation ce qui est dessiné et ce qui est observé, on peut dire quand la Lune et

le Soleil sont « en conjonction³, en opposition⁴ ou en quadrature⁵ ». Ces connaissances élémentaires permettent déjà (à la demande du professeur) d'invalider le dessin de Damien : la Lune ne tourne pas autour du Soleil. Mais le passage de ce que le langage quotidien nomme en italien « la bosse » au fait que ce soit la partie éclairée va faire problème, la « nouvelle Lune » est quasi absente, la position de l'observateur terrestre est oubliée et la notion d'horizon n'est pas abordée. L'étude des matériaux graphiques produits par les élèves montre ces manques, elle permet de faire évoluer l'enseignement.

Construction du site de la question : les phases de la Lune

« Comment observer les phases de la Lune, les décrire, et comment interpréter ces observations ? » Chacun pense que tous les enfants ont regardé le ciel et « savent » que la lune change chaque jour d'aspect, selon un rythme mensuel. On leur donne donc une représentation de l'angle entre le Soleil et la Lune, sur le papier, par un schéma plan.

Mais il s'avère que la notion même de « phases de la Lune » est problématique : observer la Lune demande une attention longue et les enfants des villes n'ont en général pas

remarqué ce qui se montrait à nos ancêtres et appelait l'interprétation. Seule, la « pleine Lune » qui se lève juste après le coucher du Soleil est bien connue. Une des premières questions d'observation est donc la suivante : « Où se trouve la Lune, lorsque l'on voit le Soleil ? Et réciproquement. » Car le rapport de ces deux positions va conduire au dessin des trois corps célestes, disposés en triangle.

Encore faut-il penser la Terre comme un « corps céleste » parmi d'autres : par exemple, le Soleil et la Lune. Ce sera la conclusion explicite de l'étude engagée, mais l'hypothèse est un prérequis nécessaire à cette étude. Historiquement, les deux idées sont simultanées et de fait, fort anciennes ((GIACOMOTTO-CHARRA; NONY, 2021). Le fait que la Terre est aussi un corps céleste, parmi les autres, est dirions nous, un effet des tentatives de produire une représentation plane de l'observation systématique des positions relatives du Soleil, de la Lune, et d'un observateur terrestre. La production de ce triangle demande la maturation de nombreuses réponses partielles. Le statut des connaissances nécessaires change : phénomène supposé « tout naturellement connu » de tout adulte lettré⁶ les phases de la Lune deviennent

3 Visibles dans des directions proches : on voit ensemble les deux astres : leur passage au zénith est proche.

4 Visibles dans des positions opposées : on ne voit que l'un des astres. Leur passage au zénith est décalé d'une demi-journée (12 h).

5 Visibles ensemble mais leur passage au zénith est décalé d'un quart de journée (6 h).

6 L'objet est absent du curriculum mathématique, en France, mais la question des phases de la lune est « une connaissance ou compétence » « fondamentale ».



un savoir appartenant à une théorie géométrique de l'espace des corps célestes.

Une difficulté intervient ici : les habitants des villes ont au mieux la vision d'une portion du ciel, limitée dans l'espace mais aussi limitée dans le temps. Or, 29 jours successifs sont nécessaires et surtout, l'observation ne peut être faite à heure fixe. La Lune est parfois visible avant (à l'Est donc, le matin), parfois après le Soleil (à l'Ouest, le soir) ; parfois la nuit (pleine ou gibbeuse) et parfois le jour. Comprendre la régularité du mouvement et de l'évolution de l'aspect de cet astre demande de repérer chaque fois la position du Soleil au moment de l'observation. Pour voir qu'il faut noter la position du Soleil quand on observe la Lune, il faut penser :

- que la Lune est visible parce que le Soleil l'éclaire,

- que ces astres ne sont visibles que lorsque l'observateur terrestre est orienté dans leur direction (par la rotation de la Terre),

- que la Terre tourne rapidement sur elle-même, tandis que Lune et Soleil bougent peu.

La construction du *modèle géométrique* de la position relative des trois corps célestes, dont il s'agit de construire la variation pour rendre compte des régularités observées, demande

encore une théorie de la lumière (production et réflexion) et l'hypothèse de la rotation de la Terre. Nous n'étudierons finalement dans ce texte qu'un moment rarement identifié mais essentiel, *la construction de la position d'observateur terrestre des corps célestes*⁷, qui demande de penser la Terre comme un corps céleste sphérique et l'horizontale comme trace du plan tangent local.

Car l'observateur (chacun de nous) ne peut voir qu'au-dessus de lui-même, dans la mesure où la Terre cache la moitié de l'espace. La moitié observable du ciel est donc variable : en Europe, l'étoile Polaire est toujours visible... la nuit. En outre, l'horizon est masqué (immeubles, buissons et arbres, collines et montagnes), et n'appartient pas à l'expérience commune. La construction du plan d'horizon et de la direction du pôle permet de comprendre que les corps célestes qui ne sont pas en direction de l'axe de la Terre sont parfois « sous l'horizon » et parfois « au dessus », tandis que les corps qui s'observent dans la direction de l'axe seront toujours « au dessus de l'horizon ». En outre, un schéma plan des trois corps célestes comprenant l'observateur doit marquer par une droite le plan tangent à la sphère terrestre, au lieu de l'observateur⁸, ce qui suppose déjà que

7 La partie correspondante du site est en italiques.

8 Penser la Terre comme sphère ne permet pas de comprendre « Pourquoi on ne tombe pas quand on se trouve « sous la sphère, en bas » ? La construction du modèle

astronomique classique n'est complète qu'avec la théorie de la gravitation universelle, que nous admettons parce que l'expérience le confirme : on ne tombe pas, au Sud !



la Terre soit ronde.

Nous pouvons maintenant envisager d'interpréter les premiers dessins proposés, afin de soulever les contradictions que leur analyse montre. Nous suivons en cela les techniques d'enquête des anthropologues qui observent les pratiques d'un groupe pour en déduire la classe des objets que ce groupe connaît, ce qu'est pour ce groupe le monde matériel et comment ses sujets y définissent les objets qu'ils connaissent. Nous situons un élève dans ce champ *Anthropologique* par sa position épistémologique initiale et son parcours ; les contradictions internes de ses connaissances appartiennent au « milieu » de la situation scolaire « pour elle ou lui ». Les connaissances que nous qualifierons de *Scientifiques* mobilisent des modèles pour réduire les contradictions internes et les incohérences avec l'observation dont elles rendent compte. Ratsimba-Rajohn (1992) montre comment les connaissances sont organisées en « macles », et comment l'enseignement les réorganise en savoirs, fondés sur des *représentations socialement partagées*, validés par des travaux soumis à la critique collective. C'est dans cette voie que nous voulons avancer avec les élèves : l'étendue du site de la question des phases de la lune est ainsi délimité à grands traits.

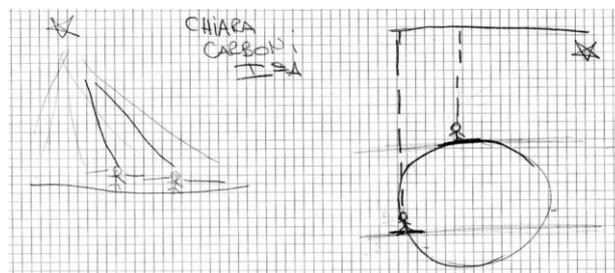
L'horizon comme plan tangent à la
Terre sphérique

Les schémas (figures 5 et 6) produits par deux élèves mettent à l'épreuve l'idée que la

Terre soit ronde ou plate (question posée par le professeur). Les graphismes étudiés ici viennent d'un enseignement au niveau 8 décrit dans (LAI, 2009), pages 204-210.

Ci-dessous, le dessin de Chiara met à l'épreuve l'hypothèse d'une Terre plate contre celle d'une Terre ronde, en comparant la visée d'un même astre par deux observateurs distants : c'est donc « une expérience de pensée ». Ce dessin fonctionne comme un récit, mais l'élève ne peut aboutir, car le plan horizontal de l'observateur doit être tangent à la sphère pour que l'idée d'un angle de visée, qui se mesurerait à partir de l'horizontale et varie avec la latitude comme avec la rotation de la Terre, puisse apparaître.

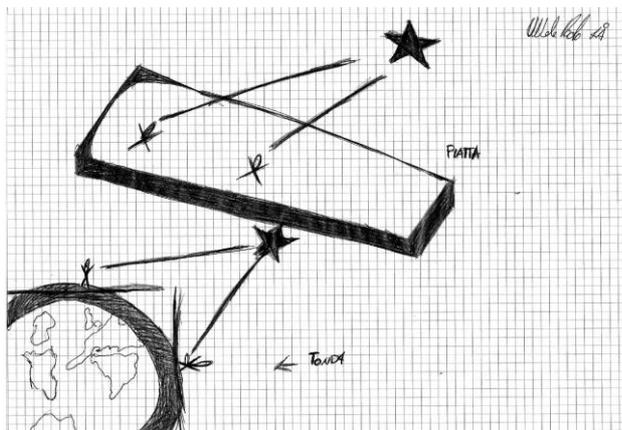
Figure 5 - Un premier schéma de l'observation céleste depuis la Terre : « la Terre est plate, ou ronde ? »



Chiara introduit bien l'idée de l'horizon au lieu de l'observateur, mais l'idée d'un plan « horizontal » demande d'accepter que sur une Terre ronde l'observateur a pour verticale locale le rayon passant par ce point. Cependant, le schéma montre déjà que sur la Terre ronde, l'un des deux observateurs ne voit pas l'étoile.

Figure 6 - L'observateur, debout sur la

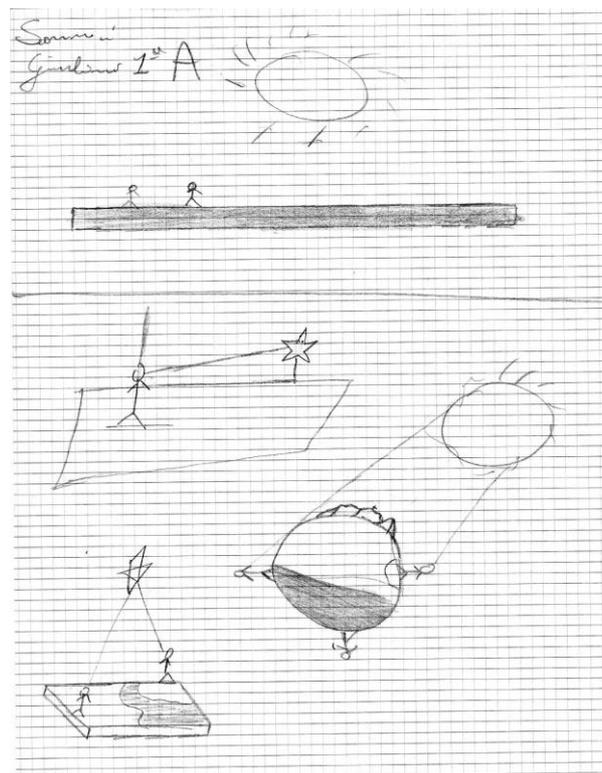
Terre, est perpendiculaire au plan tangent.



L'idée du plan de l'horizon ne vient pas aisément et le professeur devra sans doute poser explicitement la question du plan tangent à la sphère terrestre.

Ci-dessus (figure 6), la perpendiculaire au plan de la Terre ronde montre l'identification de l'horizon comme plan relatif à l'observateur, tandis que ce plan est partagé par tous les observateurs dans le cas d'une Terre plate.

Figure 7 - L'observateur dans l'ombre de la Terre ne voit pas le Soleil, mais la diversité des plans tangents à la sphère n'est pas représentée.



C'est un point essentiel pour interpréter les observations conjointes lune/soleil, et comprendre comment le soleil éclaire la pleine Lune (figure 7). Pour et avec les élèves, le professeur doit recevoir et construire des questions qui ne viennent qu'au cours de la progression. Elèves et professeur doivent accepter l'incertitude de la recherche, contre le contrat usuel qui leur a montré ce qu'ils pensent être en droit d'attendre : « Le professeur sait la réponse, qu'il la dise ! ». Ici, il ne suffit plus de la dire pour que ce soit une réponse.

Le site de l'astronomie élémentaire

Voici le site anthropologique et mathématique de cette aventure que tout citoyen devrait exiger d'avoir vécue en personne, et

exiger que ses enfants bénéficient du droit de la vivre, à l'Ecole (tableau 1). La classification dépend bien sûr de la culture et des connaissances de chaque groupe concerné (ici une classe, niveaux 5 à 10). Nous avons marqué en italiques les éléments traités dans ce texte et introduits explicitement par l'observation des élèves. Les deux parties devraient être placées en regard l'une de l'autre, car une position épistémologique (un réseau de connaissances) est définie par un ensemble donné d'objets et les idées, choses, notions, techniques et concepts organisées dans des pratiques et discours relatifs à ces objets, en un réseau qui peut prendre toute la largeur des tableaux. Un enseignement doit pour être efficace prendre en compte des éléments du réseau, bien au-delà et en deçà des savoirs disciplinaires, bien plus profondément que ce qu'en décrivent les compétences.

Tableau 1 - Les deux parties du site : savoirs pré-construits et construits intervenant dans l'étude d'une question (du point de vue des élèves) relative à certains objets et aux notions décrivant leurs relations.

<i>Eléments anthropologiques (savoirs pré-construits)</i>		
Idées	Choses	Objets
Espace (lieu des corps célestes) Corps céleste Mouvement des corps célestes	<i>Partie éclairée par le soleil</i> <i>Phases observables</i>	<i>Lune, face éclairée par le Soleil</i>
<i>La Terre le Soleil et la Lune sont trois corps de l'espace céleste.</i>	Eclairée par le soleil	<i>Terre, éclairée par le Soleil</i>
L'oeil reçoit la lumière émise <i>Les objets n'émettant pas de</i>	Jour/Nuit Horizon	

<i>lumière ne sont visibles que s'ils sont éclairés : ils retransmettent alors la lumière reçue. Les objets éclairés portent une ombre, qui est leur projection sur une surface éclairée</i>	Visée	
	Les objets visibles sont lumineux ou éclairés	<i>Soleil, lumineux, éclaire les planètes</i>
<i>La lumière se propage en ligne droite</i>		

<i>Eléments épistémologiques (savoirs construits)</i>			
Notions premières	Techniques : Cosmographie	Concepts 1 : Astronomie mécanique	Concepts 2 : Physique des corps célestes
<i>Observatoire terrestre, horizon astronomique</i> <i>Points cardinaux</i> <i>- Azimut</i> <i>- Hauteur</i> <i>Trajet</i> <i>Mouvement</i>	Baton de Jacob Gnomon Astrolabe Sextant Boussole Axe de rotation d'un corps <i>Révolution d'un satellite (Période)</i>	Mesure des angles et hauteurs Plan d'une trajectoire, Orbite Sens de la rotation, mouvement apparent Lois de Kepler Repère dans l'espace	 Energie potentielle Energie cinétique Géométrie du triangle Géométrie des coniques
<i>Rotation</i> <i>Partie visible</i>	<i>Schéma plan des positions relatives de trois astres</i>	Repère dans l'espace	
<i>Rotation</i> <i>Jour et Nuit</i> Pôles Equateur Méridiens	Axe de rotation Equateur <i>Zénith en un point</i> Sphère céleste	Repère sur une sphère <i>Trajectoire d'un corps, relative à un autre corps</i>	La sphère comme espace à deux dimensions La sphère comme volume Etoiles
<i>Plan de l'horizon</i> <i>Midi local</i>	<i>Plan tangent en un point à une sphère</i>		



<i>Demi-Espace observable</i>	<i>Partage de l'espace par un plan</i>	Gravitation Loi de Newton Orbite	Galaxies Espace interstellaire
Position relative - angles - distances du Soleil à la Terre, de la Terre à la Lune	Gnomon Méridiens Heure solaire diamètre de la Terre, de la Lune, du Soleil	Plan Ellipse Triangle : angles et distances Mesures	Géométrie analytique Changement de repère

On remarque que les éléments culturels les plus profonds sont les effets lointains des modèles explicatifs développés par diverses sciences. Pour creuser profond, il faut attaquer large ! C'est une caractéristique remarquable de notre culture, qui fait des Sciences mathématisées le fondement de nos rapports aux objets du monde. Ainsi, le fait premier : « L'espace est le lieu des corps célestes » est une construction intellectuelle dont l'origine dans notre culture est Thalès, arpenteur Grec formé en Egypte. Il montre que l'on peut mesurer la distance d'un objet inaccessible (le sommet d'une pyramide, ou un bateau en mer) par le report de la visée à l'échelle, avec un instrument de repérage des angles. Cette propriété fonde la possibilité des modèles de l'espace : l'espace inaccessible est mesurable, ce n'est donc pas un monde « autre », un

« Ciel ». Tel est le point mathématique fondateur, sous-basement anthropologique du site de la question des phases de la Lune éclairée par le Soleil. C'est cela qu'il est question de montrer aux élèves.

En Italie l'observation expérimentale d'un enseignement correspondant à une partie structurée de ce site a pu être proposée et réalisée dans quelques classes, car l'astronomie figure explicitement dans les programmes (de Géographie) de l'Ecole élémentaire mais surtout dans la formation des professeurs. La question abordée relève d'une culture clairement désignée, et les professeurs des écoles sont donc mobilisables sur ce projet. Ce n'est plus le cas en France, où les phases de la Lune peuvent être présentées par une animation, en 2 minutes pas plus⁹.

Le site de la question permet d'organiser un vaste ensemble de phénomènes, connaissances et savoirs, dans des *récits*. Au sens propre du mot, une théorie est organisée comme un défilé : des objets nommés chacun leur tour dans le récit, et la vie de leurs inter-relations. Les récits rendent compte de l'observation qui constitue les phénomènes (astronomiques), ils peuvent revenir à l'observation (qui devient alors expérimentale). Un professeur est supposé capable d'en « donner lecture » pour « faire

⁹ La question est réglée quasi officiellement sur le site <helloplanet.tv/video/reseau.canope>, par un dessin animé : l'observateur savant est dans une fusée, le héros admire le ciel

nocturne sous un arbre, la voix de la commentatrice lit le texte d'un manuel de cosmographie (figure 4, page 6).



cours », mais il peut aussi les connaître pour savoir comment répondre aux interrogations des élèves par des questions et des expériences abordables, à la mesure de ce que leurs interrogations disent de leurs savoirs.

... experiments in physical science chief role is not to test theories, nor to generate data, nor to make observations possible. An experimenter will want to do all of those things, but even more important is the need to produce stable phenomena. (HACKING, 1991).

Ainsi, les phases des satellites de Jupiter, observées depuis la Terre, permettent de penser que ces observations ont les propriétés des phases lunaires : c'est un phénomène astronomique dont l'observation demande l'accès à une lunette, et un temps long.

L'analyse que nous avons conduite porte sur la transposition d'un objet d'enseignement, mais ne conduit pas du savoir savant au savoir enseigné. Elle est « ascendante », de la question étudiée aux savoirs qui pourraient être appris, jusqu'au plus près des réponses validées dans le savoir savant et accessibles dans les conditions prévalentes.

On peut reproduire avec de jeunes élèves de l'Ecole Élémentaire puis Moyenne et Secondaire l'aventure intellectuelle qui a conduit à l'astronomie géométrique (l'ancienne Cosmographie), encore faut-il que les mathématiques n'aient pas été dénaturées par l'abandon des grands types de problèmes qu'elles ont permis de résoudre. L'abandon des « nombres concrets », de la mesure des

grandeurs de tout type et des « mathématiques mixtes » qui traitaient de l'irrigation, des partages d'héritage, des mélanges liquides, des forces, des déplacements, de la musique, ou de l'électricité a eu lieu il y a plus d'une génération. Les professeurs de mathématiques ne considèrent plus qu'il s'agit là de questions relevant de leur compétence professionnelle, ils en ignorent officiellement tout ou presque.

L'observation des élèves pour fonder leur action épistémique et produire un enseignement plus efficace

Notre pétition de principe nous a conduits à chercher les conditions de la reproduction des éléments culturels qui rendent possible l'étude de l'espace et des corps de l'espace, et montrent ce que chacun peut en connaître par soi-même « à la manière des savants ». Qu'en est-il, quand des élèves s'engagent sur ce chemin accompagnés par leur professeur, qui dispose des réponses mais souvent n'en a pas recherché les preuves qui seraient accessibles aux élèves ?

Le lien entre l'observation d'un corps céleste et l'observateur terrestre : quelle forme a donc la Terre ?

Nous allons en rendre compte en suivant quelques dessins et schémas qui nous montrent la progression de quelques élèves d'un même groupe : « Quel est le lien entre ce que voit un observateur et sa situation d'observation ? » (figure 8)

Figure 8 - Le carnet d'observation d'un



groupe d'élèves.

17/04/2008 Observation de la Lune, premier jour, 19 h 46

Lieu d'observation : rue S. Bernadette (Pirri)

Lune couverte de nuages, position du Soleil : Ouest.

18/04/2008 Observation de la Lune, deuxième jour, 20 h 54.

Lieu d'observation : rue Campania (Cagliari)

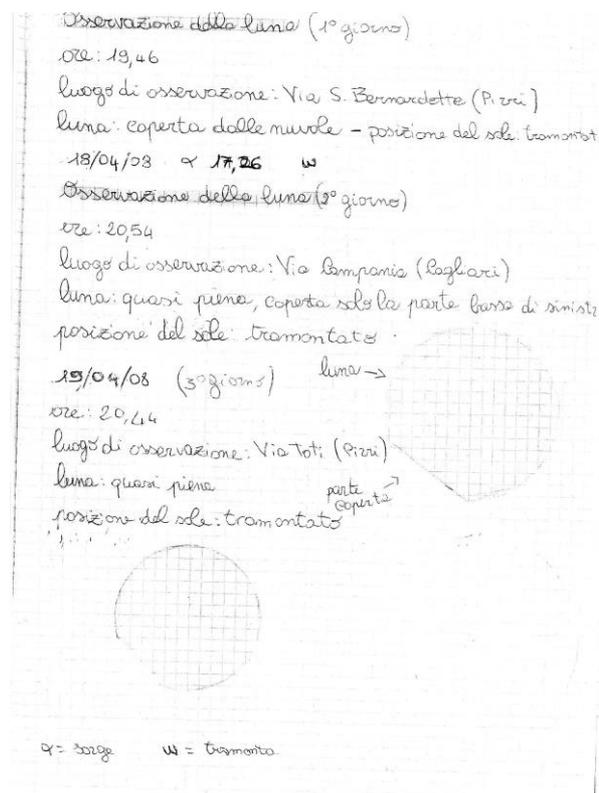
Lune : S'est levée à 17 h 26. Quasi pleine, couverte seulement sur la partie gauche en bas, position du Soleil : ouest.

19/04/2008 Observation de la Lune, troisième jour, 20 h 44

Lieu d'observation : rue Toti (Pirri)

Lune quasi pleine. Position du Soleil : ouest

Deux dessins de la Lune partiellement visible sont joints au texte.



Les questions en travail sont : « Où est le Soleil quand la Lune est pleine ? » et « Le point d'observation ne change pas l'aspect des astres observés. » On peut en revanche remarquer que le même terme est utilisé pour la Lune cachée par les nuages et pour la partie qui n'est pas éclairée par le Soleil et n'est pas visible.

Les questions à venir seront : 1) « Où vont les corps célestes quand ils passent l'horizon ? » La réponse demande l'idée de leur permanence et l'observation de leur retour « de l'autre côté », qui porte l'idée d'un espace « en dessous » et conforte l'idée d'une Terre ronde 2) « Pourquoi la Lune est-elle souvent cachée en partie ? ». La réponse demandera l'idée que l'on ne voit bien que la partie éclairée par le Soleil,

et que l'on devine presque toujours la partie obscure.

La visée comme repérage des hauteurs et des directions

L'observation écrite est aussi intéressante que les schémas, car elle met en place un vocabulaire technique. L'observation situera plus tard la Lune et le Soleil dans leur rapport à l'observateur terrestre¹⁰. Car la question de la position du Soleil lorsque la Lune est pleine ne vient pas avant l'idée que le Soleil éclaire une sphère en laissant une moitié dans l'ombre ! Quand la Lune est « presque pleine » et que le Soleil se couche à l'Ouest, la Lune se lève à l'Est. Le professeur peut donc demander une représentation plane des positions respectives des trois corps, qui déterminent un plan, et de l'observateur terrestre. Mais cette question peut elle aussi conduire à en traiter bien d'autres !

Comment définir les positions d'un corps céleste variable ? Répondre sans disposer d'un point d'observation partagé (c'est le cas initial des élèves d'une classe qui observeraient chacun, soir et matin, depuis sa fenêtre), suppose que tous constatent qu'une petite variation du lieu de l'observation ne change pas l'objet : un jour et une heure donnée, la Lune a le même aspect vue de toutes les maisons des élèves : les observations faites mêmes jour et heure, chacun.e depuis chez soi, sont donc

comparables. L'observation montre que sans changer d'aspect, les objets *Soleil et Lune se déplacent d'est en ouest* en passant par le sud (dans l'hémisphère nord) ou par le nord (dans l'hémisphère sud), suivant apparemment dans le ciel *un arc de cercle*. On pourrait en mesurer la *hauteur maximale* à l'aide d'un système de visée. Un astre qui atteint cette hauteur est « au zénith », dans *la direction du sud* (du nord) et chacun doit identifier depuis son observatoire personnel, cette direction : c'est le premier élément d'un repère, pour un *observatoire* (LAI; POLO, 2012), (LAI; POLO, 2018).

Aller plus loin soulève de tout autres problèmes, qui ne relèvent pas de notre entreprise. La *hauteur* d'un astre est mesurée avec un sextant ou un astrolabe nautique, ou repérée avec un bâton de Jacob (figure 9). Mais on ne peut viser le soleil ; il y faut le gnomon, bâton planté verticalement dont on observe l'ombre sur le plan horizontal, permet déjà un repérage de hauteur et de direction. Dans le plan horizontal un système de visée demande une boussole et une alidade : un compas de relèvement. Le bâton de Jacob associé à un compas et une horloge permettent d'observer des régularités et des variations faibles, mais le professeur ne s'interdira pas de donner aux élèves des tables astronomiques locales lorsque la question de la visée aura été ouverte. Les

¹⁰ Le professeur, est ici un « directeur d'étude » plus qu'un « enseignant » qui raconterait le savoir à connaître. Sinon,

l'autorité de sa parole n'est au mieux que celle des membres d'un Clergé.



premiers objets et techniques d'une science naissante peuvent maintenant apparaître, fondés sur le substrat des connaissances de la culture « commune ».

Figure 9 - Un « bâton de Jacob », dangereux si on vise le Soleil.



Il reste donc à interpréter les observations en se servant de la connaissance culturelle selon laquelle *la Lune est, comme la Terre, éclairée par le Soleil*. La conséquence est remarquable : *la moitié éclairée de la Lune n'est visible que lorsqu'elle n'est pas cachée par la moitié obscure*.

Entre variation et permanence : trajectoires et positions

Les informations collectées servent à tracer le triangle (Terre, Lune, Soleil) et les ombres, à différents moments (jours et heures). On peut alors observer que le triangle varie peu au cours d'une journée bien que Lune et Soleil se déplacent rapidement dans le ciel : c'est que la Terre tourne sur elle-même, et nous (les

observateurs) avec elle. En revanche, les observations collectées de jour en jour à heure fixe montrent que Lune et Soleil changent de position relative, en raison d'un déplacement de la Lune qui chaque jour « arrive en avance » sur le Soleil. Les trois corps représentés de jour en jour sur une feuille de papier montrent que Soleil et (observateur sur) Terre reviennent dans la même position, tandis que la Lune se déplace lentement. La comparaison de l'éclairage des deux corps non lumineux permet enfin de comprendre que *la Lune tourne autour de la Terre et demeure bien plus proche de celle-ci que le Soleil*. Ce dernier doit en effet être placé le plus loin possible de la paire Terre-Lune pour rendre compte des observations angulaires : la Lune est un satellite de la Terre. Notre science s'enrichit, mais chaque fois des questions nouvelles émergent.

L'observation longue de Mars et Vénus et de leurs phases (outillée d'une lunette et de nuit, loin de la pollution lumineuse d'une ville), montrerait que ces objets sont du même type que la Terre et la Lune, que ces corps tournent autour du soleil (ce sont des *planètes*) et qu'ils ont des « lunes » (des satellites) qui gravitent autour d'eux.

L'observation de Jupiter de Saturne et de leurs phases montrerait que ces objets tournent autour du soleil au delà de la Terre tandis que Vénus et Mercure passent entre la Terre et le Soleil. Car vu de la Terre, l'angle entre Vénus et le Soleil ne dépasse jamais les 50 degrés, et



l'angle entre Mercure et le Soleil ne dépasse pas les 30 degrés ; enfin, Venus n'est vue en plein éclairage que lorsqu'elle est observée en conjonction, tandis que la Lune pleine n'est observée pleine qu'en opposition.

On peut alors se convaincre que la Terre elle aussi

- est un corps céleste,
- tourne sur elle-même (en un jour) et
- tourne autour du Soleil (en un an).

La Terre est donc un satellite du Soleil : une planète parmi les autres.

Le modèle du système solaire ne demande plus que la mesure des distances entre les astres et de la taille de ces derniers, ainsi que la mesure du déplacement de chaque corps sur son *orbite*, puisque chacun est *satellite* d'un autre (plus massif¹¹). Mais la notion de satellite ouvre sur une autre histoire, car elle est fondée sur la notion de *gravitation universelle* qui introduit à la mécanique des corps célestes, prélude à l'astronomie.

La forme de la Terre ?

S'il rencontre une controverse sur ce sujet le professeur peut demander : « Quelle forme a la Terre? » Personne ne sait donner une preuve irréfutable de sa réponse. Cependant, à Orosei, où se trouvent les classes observées, il est

possible de voir les navires en mer. A Orosei, où se trouvent les classes observées, il est possible de voir les navires en mer. Les enfants ont donc dans leur vécu cette expérience. La figure 10 montre le travail d'un élève répondant à la question suivante posée par l'enseignant : « Représentez le point de vue d'un observateur qui regarde un bateau qui arrive au port dans l'hypothèse de la Terre plate et dans l'hypothèse de la Terre ronde. » En groupes, au top donné par le professeur, les élèves notent depuis des points de vue différents l'arrivée ou le départ d'un navire. La confrontation conduit à des schémas qui anticipent des observations nouvelles. Les objets terrestres eux aussi « *disparaissent sous l'horizon* », tout comme le Soleil ou la Lune. La question tient donc aux propriétés de l'espace dans lequel ces corps « sont » et varient.

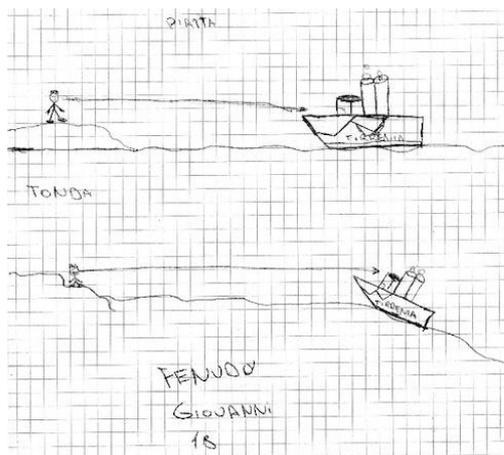
Figure 10 – Bateau arrivant au port si la Terre est plate ou si la Terre est ronde

11 Ce qu'affirmera Newton en posant la « loi de la gravitation universelle » entre les corps a et b. Soit F la force d'attraction réciproque due à leur interaction,

$$F_{a/b} = F_{b/a} = g \cdot M_a \cdot M_b / d^2 \cdot \text{les masses étant en}$$

kilogrammes, les distances en mètres. On admet la valeur $g = 6,67408 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$. C'est une constante valable dans tout l'univers, elle se mesure.





Arriver collectivement à la conclusion que « nous sommes sur une surface courbe » est plus aisé qu’imaginer que la Terre soit une sphère¹². L’analyse qui a produit le site demande que certaines connaissances soient disponibles comme substrat anthropologique à l’observation des phases de la Lune, le site les recense. L’observation montre que les plus élémentaires de ces connaissances doivent et peuvent être produites par les élèves eux-mêmes, car elles ne sont pas disponibles comme effets de la pratique quotidienne et qu’elles ne sont plus organisées en récit dans une théorie du système Soleil-Planètes et Satellites, comme il y a un siècle. La question des phases de la Lune ne peut donc pas, étant donnée la culture prévalente des élèves, être première.

La représentation de la Terre comme une

12 Une maquette permet de simuler l’effet d’un sol courbe. Ce modèle, objet transitoire entre l’observation et son interprétation, porte « un discours associé » : c’est un modèle dont la preuve directe est inaccessible, mais que l’observation ne peut falsifier. Le récit fondé sur ce modèle n’est guère plus

sphère devrait figurer dans les connaissances universellement partagées dans notre culture, et former l’expérience de l’influence de la position d’un observateur sur l’observation est fondatrice de tout rapport à la science.

DISCUSSION

La modélisation des phases de la Lune pour un observateur terrestre devrait être à la portée d’une classe

Une explication des phases de la Lune demande encore la mobilisation pratique de savoirs géométriques relatifs aux triangles (relations entre angles et longueurs). Car la réalisation d’un schéma modélisant la position relative des trois corps célestes repose sur deux idées : l’observation dépend de l’observateur (position de son observatoire et instruments d’observation) et du fait que le Soleil éclaire la Terre et la Lune, ce qui rend visible (depuis la partie obscure de la Terre) non pas la Lune entière, mais sa partie éclairée et visible, un croissant¹³.

Le schéma du mouvement de la Lune est d’ordinaire donné dans les manuels scolaires. L’option analytique proposant une rupture entre la monstration et la construction du modèle est à la base du projet d’enseignement défini à

convaincant que la maquette décrite par Damien (figure 2).

13 Les élèves devraient s’apercevoir que la Lune est aussi visible de jour, lorsqu’elle figure dans la moitié observable du ciel.

Cagliari. Mais sa production par les élèves eux-mêmes demande un temps d'enquête et de débats qui peut sembler long: à chaque pas des questions inouïes surgissent. Par exemple, rien ne prouve que le Soleil soit immobile au centre du « système solaire » tant que l'observation et le discours théorique n'ont pas « démontré » les éléments de ce « système ». Le triangle Terre-Lune Soleil n'est donc que le premier élément d'une vaste construction.

Au-delà, un modèle héliocentrique ouvre encore des questions nouvelles : « Les autres corps célestes ont-ils aussi des phases ? » Les observations correspondantes peuvent être anticipées : l'observation de Venus à l'oeil nu montre qu'il s'agit d'une « planète intérieure » car elle n'est jamais en opposition, mais cela demande 250 jours et pour voir les phases, un instrument est nécessaire. La possibilité d'ouvrir de telles questions et de leur trouver des réponses renforce la confiance dans les premières interprétations, c'est l'enjeu de cet enseignement.

Des mathématiques concrètes pour la formation de citoyens éclairés

Des élèves qui auraient suivi une portion de ce chemin en cosmographie sauraient aussi que les triangles méritent le temps d'étude qui leur est accordé, et ces mathématiques là leur sembleraient moins « abstraites ». Les réponses obtenues par les élèves d'une classe pèsent dans la biographie scolaire de ces sujets devenus membres actifs d'un collectif qui produit des

moyens de penser par soi-même : tel est l'argument de John Dewey aux USA ou à la même époque, de Célestin Freinet en France. L'évolution des deux sociétés en a décidé autrement : aujourd'hui, l'usage touristique des planétariums fait spectacle des résultats de l'astronomie.

Au-delà de l'expérimentation et de sa représentation efficace dans un modèle mathématisé, le travail proposé ici a selon nous une valeur anthropologique pour les élèves de l'Ecole Moyenne (en France, les quatre années du Collège, entre 11 et 15 ans). Car il fait produire, par les élèves et en réponse à des questions qu'ils peuvent entendre, un corps de connaissances doté d'une organisation logique (cohérence) et d'un rapport expérimental au monde (consistance). Cette propriété permet à ce savoir de résister à l'oubli comme aux contradictions qui disqualifient les discours sectaires. Il fonctionne comme point d'appui au « jugement instruit » qui fait les citoyens. Mais l'Ecole, qui fut longtemps arme politique en affirmant une culture à transmettre, se trouve aujourd'hui désarmée. Elle fut l'arme des protestants contre le quadrillage catholique (ARIES, 1960), des Jésuites et des congrégations contre le protestantisme, de la République naissante contre l'Église, de la Bourgeoisie contre le Peuple (QUERRIEN; STENGERS, 2005), (FREINET, 1968), jusqu'au moment où elle a été mise en concurrence avec une offre scolaire privée



(CHAMPAGNE, 2018) fondée sur le capital culturel des élèves et jouant sur les stratégies familiales..

Les analyses produites au cours des observations montrent le coût en savoirs¹⁴ pour l'enseignant qui veut prendre en charge l'entrée des élèves dans le système des attitudes qui les rend civils et sociaux, en assurant au plus tôt leur entrée personnelle dans la culture « anthropologique » qui fonde les savoirs à apprendre et constitue ce que les anglophones nomment « literacy » (LAI; POLO, 2013). Car cette culture est nécessaire à l'entrée dans les apprentissages techniques qui suivront. Ainsi, nous semble-t-il, la didactique peut maintenant imaginer traiter des problèmes sociaux que la sociologie a identifié comme la reproduction du capital culturel (BOURDIEU; PASSERON, 1971) et étudié longuement depuis lors comment se réalise cette reproduction inégalitaire : de (LAHIRE, 1993) à (DUBET; DURU-BELLAT, 2000), de (BAUTIER; RAYOU; OTHERS, 2009) à (BROCCOLICHI; SINTON, 2011).

CONCLUSION

Qu'apporte l'idée d'action
conjointe, avec le point de vue des
élèves ?

Tandis que « la main à la pâte » met en

scène la Science et la technologie, l'observation et la description a priori du point de vue de l'élève, dans ses rapports dialectiques avec la formation par le professeur de connaissances approfondies des sujets de son enseignement, montre au professeur tout ce qu'il y a à apprendre et à savoir dans une activité orientée vers la production, par les élèves, de « représentations calculables » qu'ensuite ils partageront sous le nom de Mathématiques.

Le chemin ouvert par notre approche répond à un problème connu : La transposition fait des oeuvres – anciennement vivantes – des monuments de savoir mort, des fétiches scolaires organisés en disciplines (CHEVALLARD, 1985). Les élèves issus des milieux n'appartenant pas à la nomenclature culturelle résistent comme ils peuvent à l'enseignement proposé, car les monuments de savoir leur paraissent factices, ce qu'ils sont en effet. La séparation d'avec les oeuvres a conduit à l'oubli du rôle de l'école fondamentale : acculturer les petits d'homme au système des objets communs aux pratiques fondatrices de la société qui les a mis au monde, et partager les rapports aux objets communs premiers comme le calendrier, la montre, le système monétaire, la langue, le système numérique, etc. Cette entrée dans la culture commune ne peut être laissée aux familles sans entériner les

14 C'est le « Pedagogical Content Knowledge » identifié

par (MA, 1999) et (SHULMAN, 2007).



séparations culturelles des groupes sociaux dans une société plurielle. La culture n'appartient pas à l'espace de la consommation personnelle (MERCIER, 2004).

Se libérer du traitement bureaucratique de l'enseignement

Mais sans un soutien social puissant, les professeurs ne pourront pas sortir les élèves de leur ignorance en ouvrant avec eux des questions demandant une enquête de longue haleine. Les conditions matérielles et administratives d'exercice du métier, en France tout particulièrement, leur interdisent de s'engager collectivement dans l'étude de telles questions, que ce soit dans le cadre d'une équipe d'établissement ou en collaboration avec des enseignants chercheurs capables d'imaginer avec eux des questions largement ouvertes sur le monde, puis de viabiliser et de baliser des chemins de connaissance.

Le mouvement social nécessaire demandera une connaissance approfondie des enjeux sociaux d'un enseignement pour tous les élèves et toute la société. C'est ce que nous avons voulu montrer, au-delà de la démonstration de l'intérêt du changement de paradigme qu'a constitué, pour la didactique des mathématiques puis la didactique comparée de langue française, l'idée que l'on ne peut comprendre l'Ecole sans comprendre comment les élèves se construisent, avant, pendant, et autour de leur scolarisation, certaines formes de

rapport aux objets du monde matériel, vivant, et social qui les entoure. Les professeurs de toute discipline doivent en être avertis et se préparer à une tâche passionnante : comprendre au quotidien les formes du rapport au monde de leurs élèves, pour s'adresser à eux de manière pertinente et efficace.

REFERENCES

ARIES, P. **L'Enfant et la vie familiale sous l'Ancien Régime**. Plon ed. Paris: [s.n.].

ARTIGUE, M. **Contribution à l'étude de la reproductibilité des situations didactiques: divers travaux de mathématiques et de didactique des mathématiques**. [s.l.: s.n.].

BAUTIER, É.; RAYOU, P.; OTHERS. **Les inégalités d'apprentissage. Programmes, Pratiques et malentendus scolaires**. [s.l.] Université Paris VIII Equipe ESCOL, 2009. Disponível em: <<http://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00591929/>>. Acesso em: 31 jul. 2014.

BENOIT, A. Le système solaire et le monde stellaire. Em: **Algèbre et Cosmographie**. Classe de philosophie. 1931. ed. Paris: Librairie Vuibert, 1931.

BOURBAKI, N. Mode d'emploi du traité. Encart à la seconde édition des **Eléments de Mathématique**. Em: **Eléments de Mathématique**. Paris: Hermann, 1961. v. 4.

BOURDIEU, P.; PASSERON, J.-C. **Les héritiers, les étudiants et la culture**. Paris: éd. de Minuit, 1971.

BROCCOLICHI, S.; SINTHON, R. Comment



s'articulent les inégalités d'acquisition scolaire et d'orientation? Relations ignorées et rectifications tardives. **Revue française de pédagogie**, n. 2, p. 15–38, 2011.

BROUSSEAU, G. Peut-on améliorer le calcul des produits de nombres naturels? **Actes du 3e congrès des sciences de l'éducation «Apports des disciplines fondamentales aux sciences de l'éducation»**, p. 361–378, 1973.

BROUSSEAU, G. Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. **Recherches en didactique des mathématiques**, v. 7, n. 3, p. 33–115, 1987.

BROUSSEAU, G. Les doubles jeux de l'enseignement des mathématiques. **Revue du Centre de Recherches en Education, Université de Saint Etienne**, n. 22–23, p. 83–155, 2002.

BROUSSEAU, G. Les représentations : étude en théorie des situations didactiques. **Revue des sciences de l'éducation**, v. 30, n. 2, p. 241–277, 2012.

BROUSSEAU, G.; BROUSSEAU, N.; OTHERS. **Rationnels et décimaux dans la scolarité obligatoire**. IREM de Bordeaux ed. Bordeaux: COREM, 1987.

CHAMPAGNE, P. «**Les héritiers**» de Bourdieu et Passeron: une analyse d'une grande actualité. Disponível em: <<https://silogora.org/les-heritiers-de-bourdieu-et-passeron/>>. Acesso em: 26 nov. 2022.

CHEVALLARD, Y. **Deux notes sur les notions de contrat et de situation**. IREM Aix-Marseille, , 1981.

CHEVALLARD, Y. **La transposition didactique**. La Pensée Sauvage ed. Grenoble:

[s.n.].

CHEVALLARD, Y. Esquisse d'une théorie formelle du didactique. Em: **Actes du premier Colloque Franco-Allemand de Didactique des Mathématiques et de l'Informatique**. Recherches en Didactique des Mathématiques. La Pensée Sauvage ed. Grenoble: Laborde et al., 1988. p. 97–106.

CHEVALLARD, Y. Concepts fondamentaux de la didactique: perspectives apportées par une approche anthropologique. **Actes de la 6^{ème} école d'été de didactique des mathématiques**, p. 160–163, 1991.

CHEVALLARD, Y. Readjusting didactics to a changing epistemology. **European Educational Research Journal**, v. 6, n. 2, p. 131–134, 2007.

CHEVALLARD, Y.; BOSCH, M. L'algèbre entre effacement et réaffirmation. Aspects critiques de l'offre scolaire d'algèbre. **Enseignement de l'algèbre élémentaire. Bilan et perspectives. Recherches en Didactique des Mathématiques, special issue**, p. 13–33, 2012.

DIENES, Z. P. On the learning of mathematics. **The Arithmetic Teacher**, v. 10, n. 3, p. 115–126, 1963.

DUBET, F.; DURU-BELLAT, M. L'hypocrisie scolaire. **Pour un collège enfin démocratique**. Paris: Seuil, 2000.

DUCHET, P.; ERDOGAN, K. **La construction du diagnostic d'un enseignementa partir d'une analyse épistémologique en termes de "site mathématique"**. Proceedings of the 4th Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME 4), Sant Feliu de Guixols. **Anais...**2005.



- DURKHEIM, E. Pédagogie. **Nouveau dictionnaire de pédagogie et d’instruction primaire**, v. 2, p. 1538–1550, 1911.
- FLECK, L. **Genesis and Development of a Scientific Fact**. Chicago: University of Chicago Press, 1981.
- FREINET, E. **Naissance d’une pédagogie populaire: historique de l’école moderne (pédagogie Freinet)**. [s.l.] F. Maspero, 1968.
- GIACOMOTTO-CHARRA, V.; NONY, S. **La Terre plate: Généalogie d’une idée fausse**. [s.l.] les Belles lettres, 2021.
- GOODY, J. **La raison graphique**. [s.l.] Editions de minuit, 1979.
- HACKING, I. Speculation, calculation and the creation of phenomena. Em: **Beyond Reason**. [s.l.] Springer, 1991. p. 131–157.
- LAHIRE, B. **La raison des plus faibles: rapport au travail, écritures domestiques et lectures en milieux populaires**. [s.l.] Presses Univ. Septentrion, 1993.
- LAI, S. **Phénomènes didactiques et dynamiques relationnelles : une intégration possible. L’étude d’un cas d’observation de classes ordinaires**. Actes de la XIIème Ecole d’Eté de Didactique des Mathématiques. **Anais...CORPS**: La Pensée Sauvage Editions, 2003.
- LAI, S. **La construction d’un curriculum d’Astronomie et Astrophysique, étude de son écologie mathématique dans le système scolaire italien**. Marseille: Université Aix-Marseille I, 2009.
- LAI, S.; POLO, M. **Construction d’une culture scientifique pour tous : engagement de l’enseignant et de l’élève dans la rupture de pratiques habituelles**. Enseignement des mathématiques et contrat social : enjeux et défis pour le 21e siècle. **Anais...** Em: ACTES DU COLLOQUE EMF2012 (GT9). Université de Genève, 2012.
- LAI, S.; POLO, M. Scienze integrate: matematica e astronomia nella scuola primaria. **L’educazione Matematica**, CRSEM, Cagliari. v. X–3, n. 2, p. 29–68, 2013.
- LAI, S.; POLO, M. **Démarche expérimentale et curriculum des mathématiques: une expérience en Sixième**. Actes de la XIX Ecole d’Eté de Didactique des Mathématiques. **Anais...**2018.
- LAI, S.; PROVERBIO, E. Programma di scienze sperimentali della scuola media : il sistema solare. **Giornale di Astronomia**, I.E.P.I., Pisa-Roma. v. 6, n. 4, p. 347–355, 1980a.
- LAI, S.; PROVERBIO, E. Sui programmi di scienze sperimentali della scuola media. **L’Educazione Matematica**, n. 2, p. 64–72, 1980b.
- LANCIANO, N. Dall’Esperienza al Modello in Astronomia. **Didattica delle Scienze**, n. 10, p. 14–21, 1983.
- LOPEZ, A. M. **Cultural astronomy perspectives on “development”**. Astronomy in Focus. **Anais...** Em: IAU XXX GENERAL ASSEMBLY. Cambridge: T. Lago (ed.), Cambridge University Press, 2020.
- LOPEZ, A. M. **Astronomies, Cultures, and Education**. Proceedings Shaw-IAU workshop on Astronomy for Education367. **Anais...** Publications of the IAU Office of Astronomy for Education, 2021. Disponível em: <talk link: https://youtu.be/qn8a_mzAeCM>



- MA, L. **Knowing and teaching elementary mathematics: Teachers' understanding of fundamental mathematics in China and the United States.** [s.l.] Lawrence Erlbaum Associates Mahwah, NJ, 1999.
- MANGEANT, É.; MERCIER, A. La sécurité en escalade. **Éducation et didactique**, v. 4, n. 3, p. 83–96, 15 dez. 2010.
- MARIO, R.; MERCIER, A. Méthode d'observation de la biographie didactique de très bons élèves en étude autonome, hors classe: pertinence, modalité, analyse et interprétation des épisodes. **Education & didactique**, v. 9, n. 3, p. 41–73, 2015.
- MATHERON, Y.; MERCIER, A. Les usages didactiques des outils sémiotiques du travail mathématique: étude de quelques effets mémoriels. **Revue des sciences de l'éducation**, v. 30, n. 2, p. 355–377, 2004.
- MERCIER, A. **L'élève et les contraintes temporelles de l'enseignement, un cas en calcul algébrique.** [s.l.: s.n.].
- MERCIER, A. La Théorie des Situations Didactiques est-elle une théorie de la connaissance collective? Em: **Le cognitif en didactique des mathématiques.** Conne F, et Lemoyne G ed. Montréal: PUM, 1999. v. 1.
- MERCIER, A. Une introduction à l'observation du didactique dans les situations ordinaires, un raisonnement clinique qui peut être fondé sur une observation instrumentée. **En Question**, Cours en Sciences de l'Education. n. 51, p. 1–24, 2004.
- MERCIER, A. Pour une lecture anthropologique du programme didactique. **Education & Didactique**, v. 2, n. 1, p. 7–40, 2008.
- MERCIER, A. Questions comparatistes sur les analyses didactiques des situations d'enseignement et d'apprentissage de divers savoirs. **Recherches en Education**, n. 29, p. 101–113, 2017.
- MERCIER, A.; SALIN, M. H. L'analyse a priori, outil pour l'observation. **Actes de**, 1988.
- MERCIER, A.; SCHUBAUER-LEONI, M. L.; SENSEVY, G. Vers une didactique comparée. **Revue Française de pédagogie**, v. 141, n. 1, p. 5–16, 2002.
- ORANGE, C. Quel Milieu pour l'apprentissage par problématisation en sciences de la vie et de la terre? **Éducation et didactique**, n. 1–2, p. 37–56, 2007.
- PIAGET, J. L'initiation aux mathématiques; les mathématiques modernes et la psychologie de l'enfant. **Bulletin de l'AMQ**, p. 5, 1969.
- POLO, M. The Professional Development of Mathematics Teachers: Generality and Specificity. Em: **Mathematics and Technology, Advances in Mathematics Education.** G. Aldon, F. Hitt, L. Bazzinni, U. Gellert ed. [s.l.] Springer International Publishing, 2017.
- POLO, M. **Mathématiques et Sciences: un cas de coopération entre enseignants et chercheurs pour l'amélioration des pratiques.** La TACD en questions, questions à la didactique. **Anais...** Em: 1ER CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA THÉORIE DE L'ACTION CONJOINTE EN DIDACTIQUE. Brest: ESPE de Bretagne, UBO, 25 jun. 2019.
- POLO, M.; LAI, S. **Démarche expérimentale et curriculum des mathématiques dans la transition primaire collège.** Actes de la XIX Ecole d'Été de Didactique des Mathématiques.



Anais...Paris: IREM PARIS VII, 2018.

QUERRIEN, A.; STENGERS, I. **L'école mutuelle: Une pédagogie trop efficace?** Paris: Empêcheurs de Penser en Rond, 2005.

RATSIMBA-RAJOHN, H. **Contribution à l'étude de la hiérarchie implicative, application à l'analyse de la gestion didactique des phénomènes d'ostension et de contradictions.** Rennes: Rennes 2, 1992.

SCHNEIDER, M.; MERCIER, A. Approche par compétences, définition et désignation des savoirs mathématiques: peut-on envisager la disparition d'une organisation disciplinaire des savoirs? **Education & didactique**, v. 8, n. 2, p. 109–124, 2014.

SCHUBAUER-LEONI, M. L. et al. Problems in assessment of learning: the social construction of questions and answers in the scholastic context. **International journal of educational research**, v. 13, n. 6, p. 671–684, 1989.

SCHUBAUER-LEONI, M.-L.; LEUTENEGGER, F.; FORGET, A. L'accès aux pratiques de fabrication de traces scripturales convenues au commencement de la forme scolaire. Interrogations théoriques et épistémologiques. **Éducation et didactique**, n. 1–2, p. 9–35, 2007.

SENSEVY, G.; MERCIER, A. **Agir ensemble: L'action didactique conjointe du professeur et des élèves.** [s.l.] Presses universitaires de Rennes, 2007.

SHULMAN, L.-S. Ceux qui comprennent. Le développement de la connaissance dans l'enseignement. **Éducation et didactique**, n. 1–1, p. 97–114, 2007.

SILVY, C.; DELCROIX, A.; MERCIER, A.

Enquête sur la notion de «pedagogical content knowledge», interrogée à partir du «site local d'une question». **Education & didactique**, v. 7, n. 1, p. 33–58, 2013.

