



**Cahiers du laboratoire de didactique
André Revuz
n°9
Janvier 2014**

**Séminaire alpin 2013 du groupe sciences
expérimentales du LDAR**

Session de travail du groupe du 27 février au 2 mars 2013 à La Salle
les Alpes (05)

Auteurs : Robin Bosdeveix, Philippe Colin, Patricia Crépin, Cécile de Hosson, Nicolas
Décamp, Isabelle Kermen, Valentin Maron, Luz Martinez

ISSN : 2105-5203

TITRE :

Séminaire alpin 2013 du groupe sciences expérimentales du LDAR.
Session de travail du groupe du 27 février au 2 mars 2013 à La Salle les Alpes (05).

AUTEUR/S :

Robin Bosdeveix, Philippe Colin, Patricia Crépin, Cécile de Hosson, Nicolas Décamp, Isabelle Kermen, Valentin Maron, Luz Martinez

RESUME :

Cette brochure donne à voir quelques instantanés du premier séminaire de travail du groupe sciences expérimentales du LDAR organisé en février-mars 2013 à La Salle les Alpes. Durant le séminaire, des exposés portant sur les travaux en cours de certains membres du groupe et deux comptes-rendus de lecture d'article ont été donnés. Cette brochure regroupe les prises de notes effectuées lors des exposés et donne un aperçu des thèmes de travail abordés par les membres du groupe, de la physique à la géologie en passant par la biologie et l'automatique.

MOTS CLES :

Didactique des sciences expérimentales, raisonnements et idées des élèves ou étudiants

Ont participé au séminaire alpin

Robin Bosdeveix

Sophie Canac

Michaël Canu

Philippe Colin

Patricia Crépin

Cécile de Hosson

Nicolas Décamp

Anne-Amandine Decroix

Isabelle Kermen

Valentin Maron

Luz Martinez

Laurent Moutet

Laurence Viennot



Sommaire

Introduction.....	5
La longue vie des muons: analyse des réactions et des réponses d'une classe d'élèves de terminale S à une activité basée sur des notions de relativité restreinte.....	7
Enseignement de l'énergie en première S. Quelques réflexions sur l'impact des changements de programme.....	21
Datation au carbone 14.....	25
Le rebond de balles : analyse d'une formation des enseignants du primaire vers la construction de problèmes scientifiques.	31
Compte-rendu de lecture d'articles sur le thème de la mesure	43
Using Ancient Chinese and Greek Astronomical Data: A Training Sequence in Elementary Astronomy for Pre-Service Primary School Teachers. Apprendre les sciences avec des éléments d'histoire des sciences	49
Une analyse comparée d'enquêtes géologiques à l'école primaire	53
Apports de l'étude conjointe des systèmes dynamiques libres et commandés dans la compréhension des concepts d'équilibre et de stabilité	57
Les conceptions des végétaux chez des étudiants de master 2, futurs professeurs de Sciences de la Vie et de la Terre.	63

Introduction

Le groupe sciences expérimentales du LDAR est riche de la diversité de ses membres. En effet participent aux réunions du groupe des didacticiens de la physique, de la chimie, de la biologie et de la géologie. Cet élargissement récent a suscité un désir de mieux connaître les travaux des uns et des autres. Pour cela, un séminaire de travail a été organisé avec également l'idée d'envisager une thématique de travail commune indépendante des travaux individuels ou nourrie par ceux-ci. Le séminaire s'est déroulé du 27 février 2013 au 2 mars 2013 à La salle les Alpes dans le chalet que Laurence Viennot a généreusement mis à disposition du groupe. Nous la remercions tous pour son accueil, héberger dix personnes est un défi qu'il fallait oser relever et plus encore accueillir douze personnes à table. La parfaite organisation qu'elle a prévue a permis de travailler dans d'excellentes conditions, et de vivre des moments de convivialité qui forgent l'esprit de groupe.

Cette brochure rassemble les prises de notes effectuées par les membres du groupe lors des différents exposés du séminaire alpin. Elles n'obéissent pas à un format déterminé, et ont été revues par l'auteur de l'exposé et, ou ont bénéficié du diaporama de sa présentation et, ou de son résumé.

Les comptes-rendus d'exposés sont présentés dans l'ordre chronologique dans lequel ils ont été donnés. Les sessions de travail des membres du groupe lors du séminaire ont eu lieu selon la répartition chronologique suivante :

Exposé	Prise de notes
Laurent Moutet	Nicolas Décamp
Philippe Colin	Luz Martinez
Nicolas Décamp et Laurence Viennot	Philippe Colin
Luz Martinez	Robin Bosdeveix
Compte rendu de lecture : Nicolas Décamp et Isabelle Kermen	
Compte rendu de lecture : Philippe Colin	
Nicolas Décamp, Anne-Amandine Decroix et Cécile de Hosson	Valentin Maron
Patricia Crépin	Cécile de Hosson
Michael Canu	Isabelle Kermen
Robin Bosdeveix	Patricia Crépin

La diversité des huit exposés s'apprécie en examinant

- les publics interrogés ou observés : écoliers, lycéens, élèves ingénieurs (ce qui est peu habituel), étudiants, enseignants,
- les contenus abordés : cinq thèmes de physique dont la relativité restreinte, un d'automatique (abordé sous un angle physique puisqu'il s'agit d'équilibre), un de géologie, le dernier de biologie,
- la nature de l'étude relatée : conception et analyse d'une séance d'enseignement, d'une séance de formation d'enseignants, analyse de raisonnements d'élèves ou d'étudiants, analyse de manuels scolaires.

- Les cadres théoriques / cadres de travail convoqués : l'action conjointe en didactique (TACD), l'apprentissage par problématisation (TAP), les registres sémiotiques, la reconstruction didactique

Les travaux des membres du groupe s'inscrivent dans les trois thématiques suivantes :

1. Exploration des représentations et des raisonnements en sciences expérimentales
2. Didactique, histoire et épistémologie des sciences expérimentales
3. Didactique et diffusion du savoir en sciences expérimentales

Les différents exposés entendus lors de ce séminaire s'y rattachent. Les exposés de Laurent Moutet sur l'appropriation par les élèves de terminale d'une activité sur la relativité restreinte mêlant plusieurs registres sémiotiques, de Michaël Canu sur les raisonnements d'élèves ingénieurs à propos du concept d'équilibre dans les systèmes commandés en automatique et de Robin Bosdeveix sur la maîtrise du concept de végétal chez des étudiants de master, appartiennent à la première thématique. L'exposé de Nicolas Décamp et Laurence Viennot au-delà de la compréhension conceptuelle aborde l'esprit critique et la satisfaction intellectuelle manifestés par des étudiants lors de la présentation de textes (à caractère vulgarisateur pour certains) traitant de la datation par le carbone 14. Il est donc à la charnière entre la première et la troisième thématique à laquelle l'exposé de Philippe Colin appartient pleinement avec une analyse de manuels scolaires (diffuseurs de savoirs par excellence) sur l'énergie. L'exposé de Patricia Crépin analyse une même séance d'enquête à l'école primaire sur la genèse des fossiles, selon deux approches théoriques, TAP et TACD, au cours de laquelle les élèves expriment leurs raisonnements et doivent intégrer l'importance du temps historique ; il se situe dans les deux premières thématiques. Les deux derniers exposés s'inscrivent dans la deuxième thématique : l'un montre l'utilisation d'éléments d'histoire des sciences pour concevoir une séance d'enseignement (exposé de Cécile de Hosson, Nicolas Décamp et Anne-Amandine Decroix) dont un déroulement est présenté, tandis que l'exposé de Luz Martinez cherche à caractériser les conceptions d'enseignants sur la science à partir de la démarche qu'ils ont mise en place pour construire et résoudre le problème qui leur a été soumis, le rebond des balles.

Il s'agissait d'un séminaire de travail interne au groupe, les écrits n'ont pas été conçus dans l'esprit d'une publication de revue mais plutôt pour montrer un instantané des réflexions et des interactions à l'œuvre au sein du groupe.

La longue vie des muons: analyse des réactions et des réponses d'une classe d'élèves de terminale S à une activité basée sur des notions de relativité restreinte.

Exposé de Laurent Moutet :

Prise de notes : Nicolas Décamp

1) Introduction

Laurent Moutet nous présente ici une partie de son travail de doctorat (thèse co-dirigée par Cécile de Hosson et Alain Kuzniak) portant sur l'apprentissage de la relativité restreinte. L'exposé porte sur une séquence d'enseignement qu'il a conçue et réalisée avec ses élèves de terminale S. Après un rapide rappel des hypothèses sous-jacentes à la conception de cette séquence, celle-ci est décrite dans le détail, puis sont analysées les productions écrites et orales des élèves. Pour finir des perspectives possibles sont évoquées.

2) Hypothèses sous-jacente à la conception de la séquence d'enseignement

Trois hypothèses sont évoquées:

- Il faut décoder l'information fournie aux élèves
- Il faut donner une information redondante pour assimiler un concept (cf Duval)
- L'outil graphique est utile pour l'appropriation des concepts de la relativité restreinte

3) Description détaillée de la séquence sur les muons

La séquence proposée s'appuie sur une expérience de détections de muons réalisée historiquement par Frish et Smith en deux lieux d'altitude différente: au sommet du mont Washington (alt: 1907m) et à Cambridge (au niveau de la mer). Les muons observés sont des particules principalement produites en haute atmosphère (ce sont des "produits dérivés" des interactions entre les noyaux des entités présentes dans l'atmosphère et les rayons cosmiques). Ces muons ont une durée de vie très courte ($2,21 \mu\text{s}$). La distance entre le sommet du mont Wilson et le niveau de la mer est d'environ 1907m et la vitesse des muons détectés est typiquement de l'ordre de $0,992c$. On peut donc calculer le temps de parcours des muons entre le sommet du mont Washington et le niveau de la mer. Celui-ci est grand devant la durée de vie des muons. On s'attend donc à ce que le flux de muons au niveau du sommet du mont Washington soit très supérieur au flux de muons à Cambridge. Or il est de 563 comptages par heure dans le premier cas et de 408 comptages par heure dans le second cas. Cette variation n'est donc pas du tout celle attendue. Ce qui semble paradoxal dans le cadre de la mécanique classique, s'explique aisément en mécanique relativiste par le fait que la durée de vie de ces muons qui se déplacent à grande vitesse dans le référentiel terrestre semble supérieure à celle qui serait mesurée par un observateur immobile dans le référentiel propre des muons.

La séquence est proposée aux élèves sous la forme d'une activité documentaire comportant cinq documents, l'ensemble étant complété par 3 séries de questions correspondant à trois niveaux de réflexion ("compréhension des documents", "exploitation des documents", "question de synthèse"). L'ensemble de la séquence est reproduite en annexe de ce compte-rendu.

Les différents documents traitent du même sujet, en se complétant ou en se répétant mais en changeant alors de registre sémiotique, s'inspirant ainsi des travaux de Duval selon qui la compréhension d'un concept fait intervenir au moins deux registres sémiotiques. Les différents registres suivants sont présents dans les différents documents: langage naturel (doc 1,2,3,4), schémas (doc 2 et 5), registre algébrique (doc 2 et 3), registre graphique (doc 4 et 5). Afin d'assurer une certaine cohérence entre les différents documents et d'aider au déchiffrement de l'information différents codes sont par ailleurs présents pour différencier les deux référentiels évoqués: tout ce qui concerne le référentiel propre des muons est noté en rouge et n'est pas "primé", tout ce qui concerne le référentiel terrestre est noté en bleu et est "primé".

Donnons ici quelques éléments supplémentaires sur les différents documents: le premier d'entre eux, qui utilise uniquement le registre du "langage naturel", est inspiré de l'ouvrage d'Einstein traitant de la relativité restreinte et générale avec le minimum d'outils mathématiques. Le second document reprend, lui, un schéma d'horloges utilisé dans l'article originel de Frish et Smith. Le document 3, est également adapté de la publication de Frish et Smith, il donne les résultats de mesures de comptages de muons à deux altitudes différentes évoqués précédemment et rappelle la loi exponentielle de décroissance de la population de muons. Les deux derniers documents (4 et 5) sont des graphiques qui utilisent tous les deux le diagramme de Brehme. Le second postulat d'Einstein (invariance de la vitesse de la lumière par changement de référentiel inertiel) se traduit dans ce registre graphique par le fait que la bissectrice est la même pour les deux repères (qui correspondent aux deux référentiels) mais cette propriété n'est pas explicitée dans les documents. Le document 5 est très similaire au document 4 mais les horloges du document 2 y ont été ajoutées. Les graphiques de ces deux derniers documents présentent des particularités par rapport à ceux habituellement utilisés par les élèves, qui peuvent poser problème: les axes ne sont pas orthonormés, l'axe des ordonnées traduit une dimension temporelle, ce qui n'est pas courant non plus (ou existe parfois mais plutôt en abscisse), cet axe ne représente pas "t" directement mais correspond à "ct", les règles de projections perpendiculairement à des axes qui ne sont pas orthogonaux entre eux peuvent également poser problème et doivent être explicitées. L'ensemble engendre des difficultés pour des élèves, difficultés qui ont conduit à ne pas privilégier fortement ce registre graphique dans la séquence.

L'ensemble des documents est complété par une page intitulée "travail demandé" qui propose naïvement trois niveaux de réflexion:

- Le niveau « compréhension des documents » correspond à un travail simple faisant appel à un ou plusieurs registres dans le même document, document dans lequel l'élève doit repérer l'information (une phrase dans un texte, une abscisse sur un graphique, une dimension relative de deux intervalles)

- Le niveau « exploitation des documents » correspond toujours à un travail centré sur un seul document mais un peu plus élaboré (trouver une relation, en déduire une valeur numérique, apporter une explication)
- Le niveau « question de synthèse » permet à l'élève d'utiliser tous les documents afin de répondre à une situation problème.

4) Analyse des productions écrites des élèves

Les productions écrites des élèves sont analysées au regard des trois hypothèses sous-jacentes à la conception de la séquence d'enseignement:

a) Il faut décoder l'information fournie aux élèves

Cette hypothèse est difficile à vérifier directement mais on peut regarder si le code couleur est utilisé par les élèves lors de la rédaction de leur compte rendu, c'est le cas pour 10 d'entre eux sur les 16 élèves que comportait l'échantillon. Un seul l'utilise systématiquement. Les autres les utilisent dans le cas de la question 3 de la partie "exploitation des documents" qui a été traité au tableau... On retient néanmoins une certaine prise de conscience de leur part puisqu'ils font l'effort de le retranscrire sur leur copie.

b) Il faut donner une information redondante pour assimiler un concept

Là encore il est difficile de vérifier cette hypothèse finement. Des indications sur les registres qui ont été utilisés peuvent être obtenues en analysant la réponse à la question de synthèse (même si cette dernière est toujours rédigée à l'aide du registre du langage naturel). Les résultats obtenus sont les suivants:

- 4/16 élèves utilisent uniquement le registre du langage naturel avec trois réponses finales incohérentes. Un exemple d'une telle réponse: « *On arrive à détecter les muons à la surface de la Terre car la vitesse du référentiel terrestre est plus rapide que la vitesse du référentiel des muons. La désintégration arrive plus tôt dans le référentiel du muon, les muons se désintègrent donc avant d'atterrir sur Terre dans ce référentiel alors que la désintégration arrive plus tard dans le référentiel terrestre* »
- 3/16 élèves utilisent le registre du langage naturel et des résultats obtenus à partir du registre algébrique dans les questions précédentes. Un exemple: « *Lorsque les muons sont créés à la surface de la Terre, ils se dirigent vers elle avec une vitesse très proche de celle de la lumière. La durée qui est de $1\ \mu\text{s}$ est alors multipliée par 9 car ils se placent dans le référentiel terrestre. Leur durée de vie rallongée grâce à leur vitesse nous permet de les détecter* »
- 3/16 élèves utilisent le registre du langage naturel et des résultats obtenus à partir du registre graphique dans les questions précédentes. Un exemple: « *Il est possible de détecter les muons à la surface de la Terre avec une proportion supérieure aux prévisions, car ils ont une durée de vie plus importante mais aussi que $\Delta t'_m > \Delta t_p$* »
- 6/16 élèves utilisent le registre du langage naturel et des résultats obtenus à partir des questions utilisant des réponses dans les registres algébrique et graphique. Un exemple: « *Normalement, la durée de vie d'un muon est de $2,21\ \mu\text{s}$. On ne devrait pas pouvoir détecter*

des muons à la surface de la Terre puisqu'ils sont créés dans la haute atmosphère. Dans le référentiel terrestre, on a vu que leur durée est plus élevée. C'est dû à l'écart de temps entre les deux référentiels $\Delta t_p < \Delta t'_m$. On sait que $\tau' = 7,92\tau$. Donc le temps s'écoule moins vite dans R' que dans R , ce qui explique que l'on détecte plus de muons que prévu »

c) L'outil graphique est utile pour l'appropriation des concepts de la relativité restreinte

Pour tester cette hypothèse, une première approche peut consister à regarder sur les documents originaux des élèves, combien sont ceux qui ont été annotés par les élèves. C'est le cas pour 5 élèves sur 15. Il s'agit de précisions sur les axes, les événements, la présence d'angles droits, etc.

Certains élèves (6/16) utilisent par ailleurs l'outil graphique tout à fait explicitement pour démontrer que $\Delta t'_m > \Delta t_p$, en utilisant une démonstration géométrique faisant intervenir la longueur d'un côté d'un triangle et la longueur de l'hypoténuse.

Cependant, 4/16 élèves ont des difficultés lors de réponses propres aux graphiques. Il s'agit le plus souvent d'un mélange entre R et R' , qui peut laisser penser que le code couleur utilisé pourtant tout au long de l'activité n'a pas été bien assimilé.

5) Analyse des enregistrements audio (et vidéo) des élèves

Une séance a été entièrement retranscrite. Des extraits de verbatim sont présentés. Ils permettent de se rendre compte dans le détail de la compréhension ou des difficultés des élèves. Des questions supplémentaires par rapport au déroulement de la séquence sont posées. Quelques exemples:

- prof « alors vite fait. Donc au niveau des documents, quels sont les documents qui vous ont le plus gênés ? »
- élève « Ben ce sont les graphiques »
- prof « les graphiques qui vous ont gênés ? »
- élève « et les horloges »

ou encore:

- prof « d'accord. Les graphiques vous avez vu l'intérêt ou pas ? »
- élève « oui. après plein d'explications »
- prof « après plein d'explications. »
- élève « avec les triangles ça permet de bien de voir les différences »
- prof « les triangles ça permet bien »
- élève « pour voir la relation qu'il y a entre $\Delta t'$ et m et Δt_p . »
- prof « s'il y avait des ... Comment vous avez ... Qu'est-ce que vous pensez des couleurs ? Est-ce que ça vous a aidé pour comprendre ? »
- élève « oui. Oui c'est pratique. Oui car noir et blanc ça aurait été un peu pénible. Très pénible »

6) Perspectives

De nombreuses perspectives futures pour ce travail sont évoquées. Une nouvelle séquence, utilisant majoritairement l'outil graphique, sera proposée à des élèves. Une séquence de formation d'enseignants réalisée en juin 2012 doit être transcrite et analysée en dégagant l'apport de l'outil graphique. L. Moutet termine son exposé en insistant sur la difficulté à discerner l'apport de l'outil graphique lorsque trop de registres sont mis en œuvre simultanément.

Annexe: les documents supports de la séquence d'enseignement

Les muons qui arrivent à la surface de la Terre ont été créés dans la haute atmosphère grâce à des rayonnements cosmiques. Ils ont une masse d'environ deux cent fois celle d'un électron et ils ont une vitesse de déplacement proche de celle de la lumière. Leur durée de vie est de l'ordre de la microseconde.

La population des muons peut être modélisée par une loi d'évolution de type exponentielle. Il est possible de prévoir la population des muons pouvant être détectée à la surface de la Terre en considérant qu'ils sont formés dans la stratosphère à une vingtaine de kilomètres d'altitude. Pourtant, même si leur vitesse est très grande, leur durée de vie est si faible que la proportion de muons atteignant la surface de la Terre devrait les rendre quasiment indétectables. Or les muons cosmiques sont détectés à la surface de la Terre avec une proportion largement supérieure aux prévisions.

Cette apparente contradiction est levée en considérant deux référentiels : le référentiel R fixe par rapport aux muons et le référentiel R' fixe par rapport à la Terre. Dans le référentiel R , les muons sont immobiles, c'est la Terre qui se déplace avec une vitesse proche de la lumière. Dans le référentiel R' , la Terre est immobile, ce sont les muons qui se déplacent avec une vitesse proche de celle de la lumière.

Comme les muons sont effectivement détectés à la surface de la Terre, ils ont parcouru, dans le référentiel terrestre R' , une distance plus élevée que prévue. La vitesse des muons dans R' ne pouvant pas dépasser la vitesse de la lumière, leur durée de vie a obligatoirement augmenté dans R' .

On arrive à un résultat bien curieux. La durée de vie des muons est plus élevée dans le référentiel terrestre R' que dans le référentiel R , fixe par rapport aux muons.

La durée de vie des muons est bien de l'ordre de la microseconde dans R . Elle est augmentée dans le référentiel terrestre R' . Ce phénomène est d'autant plus visible que les vitesses considérées sont proches de celle de la lumière.

Une expérience réalisée en 1963 a confirmé le caractère relatif du temps en étudiant le nombre de muons détectés au sommet d'une montagne et ce même nombre à la surface de la mer. Cela a permis de confirmer expérimentalement les postulats d'Einstein dans sa théorie de la relativité restreinte.

Document 1

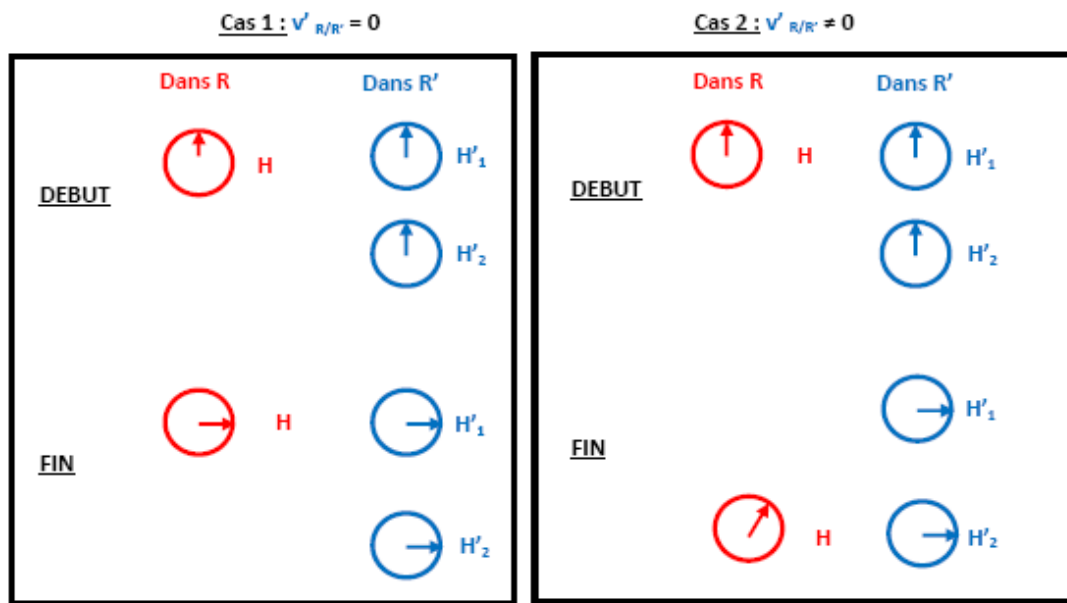
On considère un référentiel R possédant une horloge fixe H et un référentiel R' possédant deux horloges fixes H'_1 et H'_2 . R est en mouvement de translation uniforme par rapport à R' . Initialement les deux horloges H et H'_1 sont au même endroit et H , H'_1 ainsi que H'_2 sont synchronisées.

L'horloge H mesure la durée d'un phénomène fixe dans R et à la même position que H , Δt_p , appelée *durée propre*. Les horloges H'_1 et H'_2 mesurent la durée de ce même phénomène dans R' , $\Delta t_m'$, appelée *durée mesurée*.

On a $\Delta t_m' = \gamma \cdot \Delta t_p$ avec $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v'^2}{c^2}}}$

c est la vitesse de la lumière dans le vide, v' est la vitesse du référentiel R par rapport à R' . Généralement pour des vitesses très faibles par rapport à la vitesse de la lumière, cela conduit à $\gamma \approx 1$, c'est-à-dire $\Delta t_m' \approx \Delta t_p$.

Lorsque v' est proche de c , $\gamma > 1$ et donc $\Delta t_m' > \Delta t_p$.



Document 2

D.H. Frish et J.H. Smith ont publié en 1963 une étude sur la durée de vie des muons. Ils ont enregistré sur une heure les muons détectés au Mont Washington situé à 1907 mètres au-dessus de la mer et ils ont comparé ces résultats par rapport aux mêmes mesures effectuées au niveau de la mer à Cambridge.

Le temps de vie τ du muon au repos dans le référentiel du muon, noté R , est de $2,21 \mu s$. La vitesse du muon par rapport au référentiel terrestre, noté R' , est de $v' = 0,992 c$.

Les mesures effectuées au Mont Washington ont conduit en moyenne à $563 \text{ comptages par heure}$, celles à Cambridge étaient en moyenne de $408 \text{ comptages par heure}$.

Le nombre $N(t')$ de muons, détectés dans le référentiel terrestre R' en une heure, peut être décrit par une fonction exponentielle du type :

$$N(t') = N_0 e^{-\frac{t' - t'_0}{\tau'}} \text{ qui conduit à } \tau' = \frac{t' - t'_0}{\ln \frac{N_0}{N(t')}}$$

τ' correspond au temps de vie du muon dans le référentiel terrestre R' .

$t' - t'_0$ correspond à la durée de parcours vertical du muon pour une distance de 1907 m.

En considérant que $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$, on trouve que $\tau' = 9,0 \cdot \tau$. Cela correspond avec une relative bonne précision à $\tau' = \gamma \cdot \tau$.

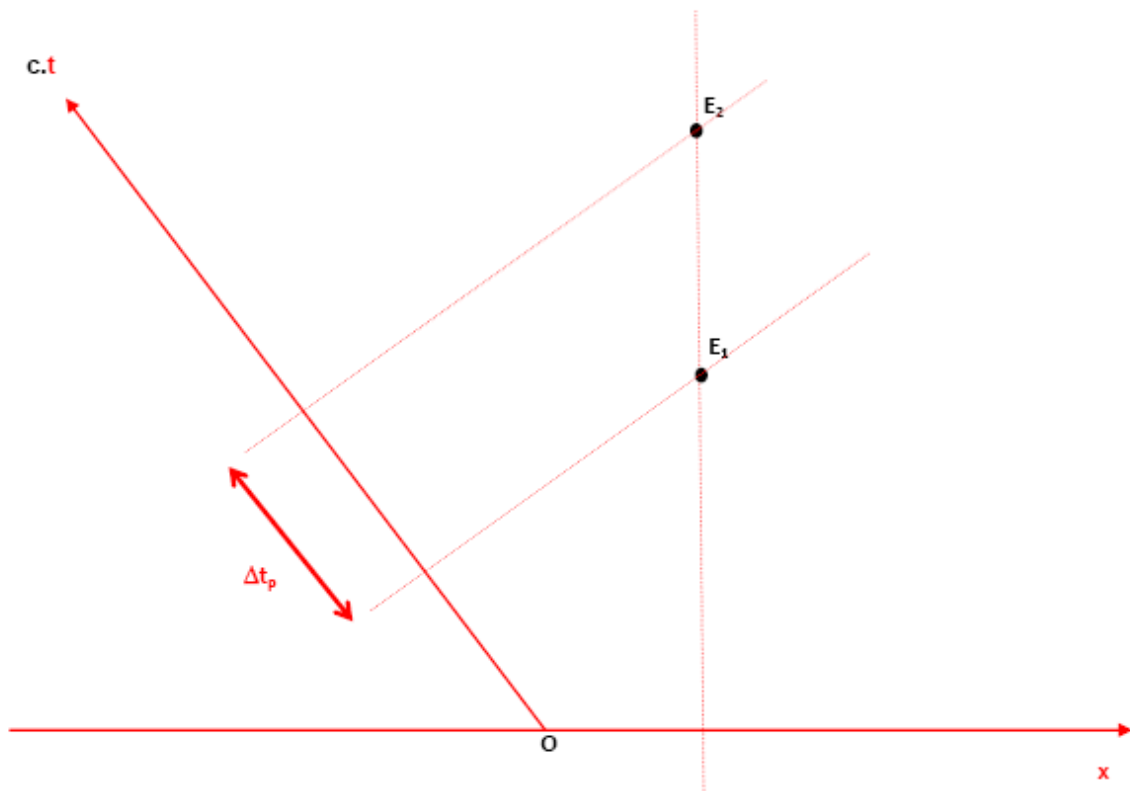
Document 3

Dans le référentiel R , propre au muon, on définit l'événement E_1 qui correspond à la création du muon et l'événement E_2 qui correspond à la désintégration du muon. On s'intéresse à un mouvement vertical vers le bas suivant une seule dimension de l'espace.

L'axe des abscisses Ox et l'axe des ordonnées Oct forment un repère pour le référentiel R . Il n'est pas orthonormé.

L'axe des abscisses permet de repérer une position de l'espace x et l'axe des ordonnées permet de connaître une date t .

Toute ligne perpendiculaire à l'axe Ox correspond à une position fixe dans R . Toute ligne perpendiculaire à l'axe Oct a une date fixe dans R .



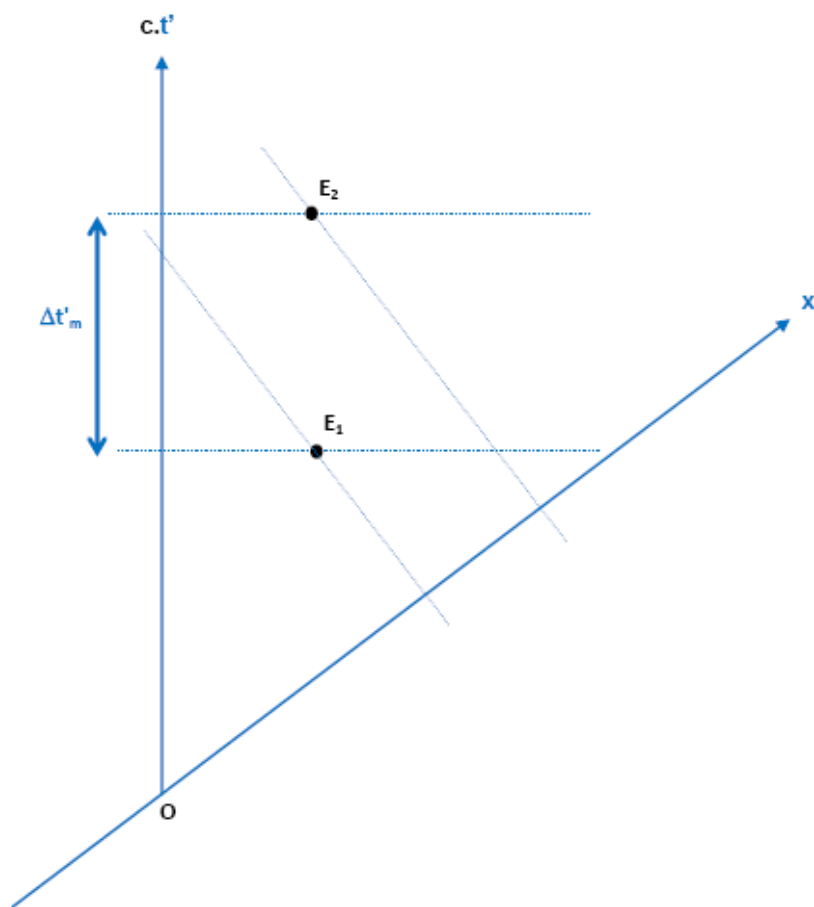
Document 4 (1)

Dans le référentiel terrestre R' , on retrouve l'événement E_1 qui correspond à la création du muon et l'événement E_2 qui correspond à la désintégration du muon. On s'intéresse à un mouvement vertical vers le bas suivant une seule dimension de l'espace.

L'axe des abscisses Ox' et l'axe des ordonnées Oct' forment un repère pour le référentiel R' . Il n'est pas orthonormé.

L'axe des abscisses permet de repérer une position de l'espace x' et l'axe des ordonnées permet de connaître une date t' .

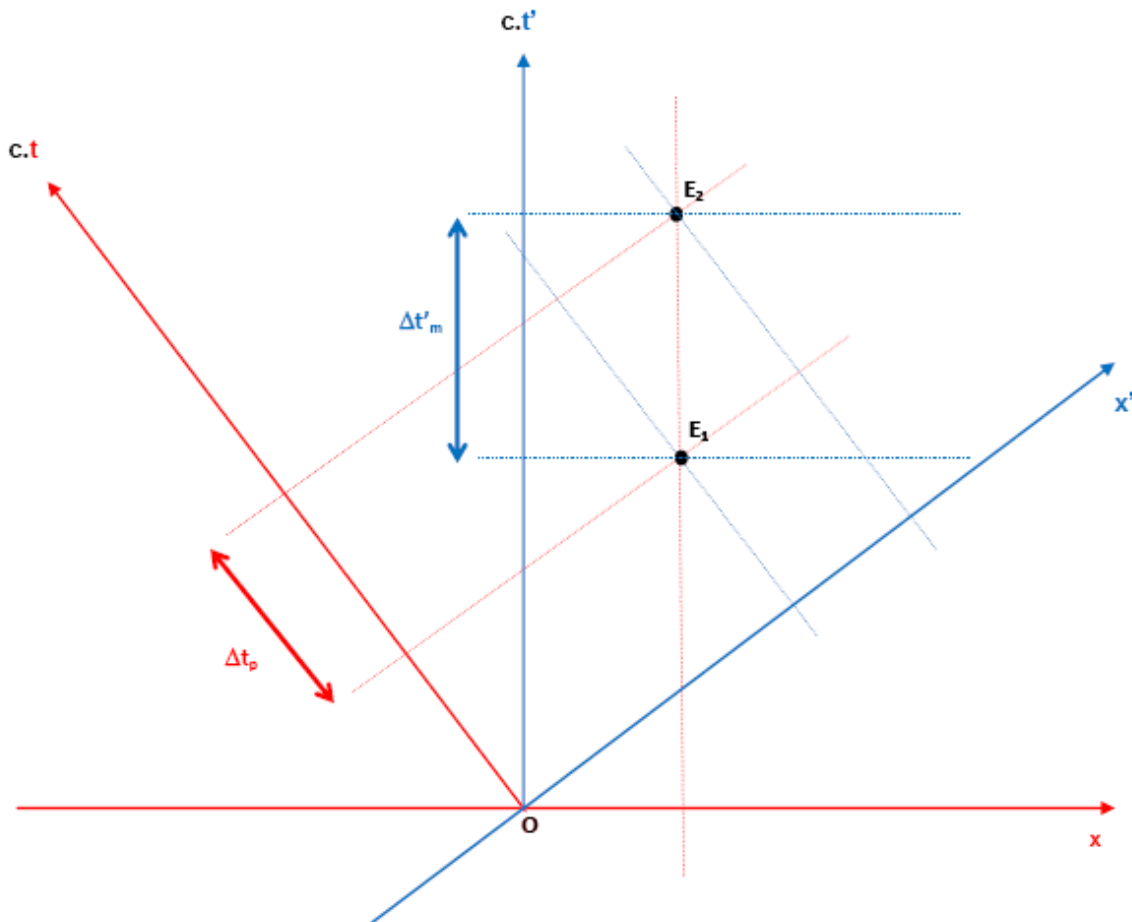
Toute ligne perpendiculaire à l'axe Ox' correspond à une position fixe dans R' . Toute ligne perpendiculaire à l'axe Oct' a une date fixe dans R' .



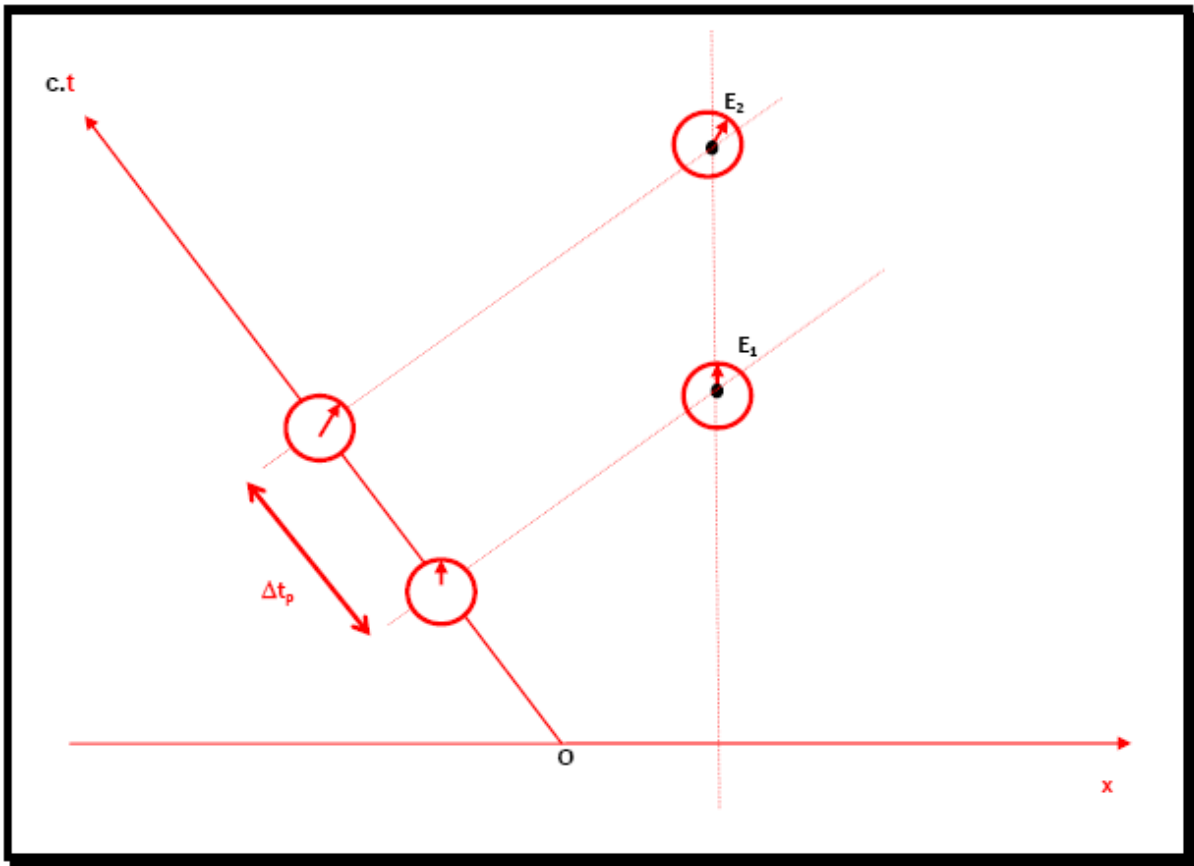
Document 4(2)

Il est possible de représenter le repère relatif au référentiel R et celui relatif au référentiel R' sur le même graphique. La position des axes Ox' par rapport à Ox et des axes Oct' par rapport à Oct , dépendent de la vitesse v du référentiel R par rapport au référentiel R' .

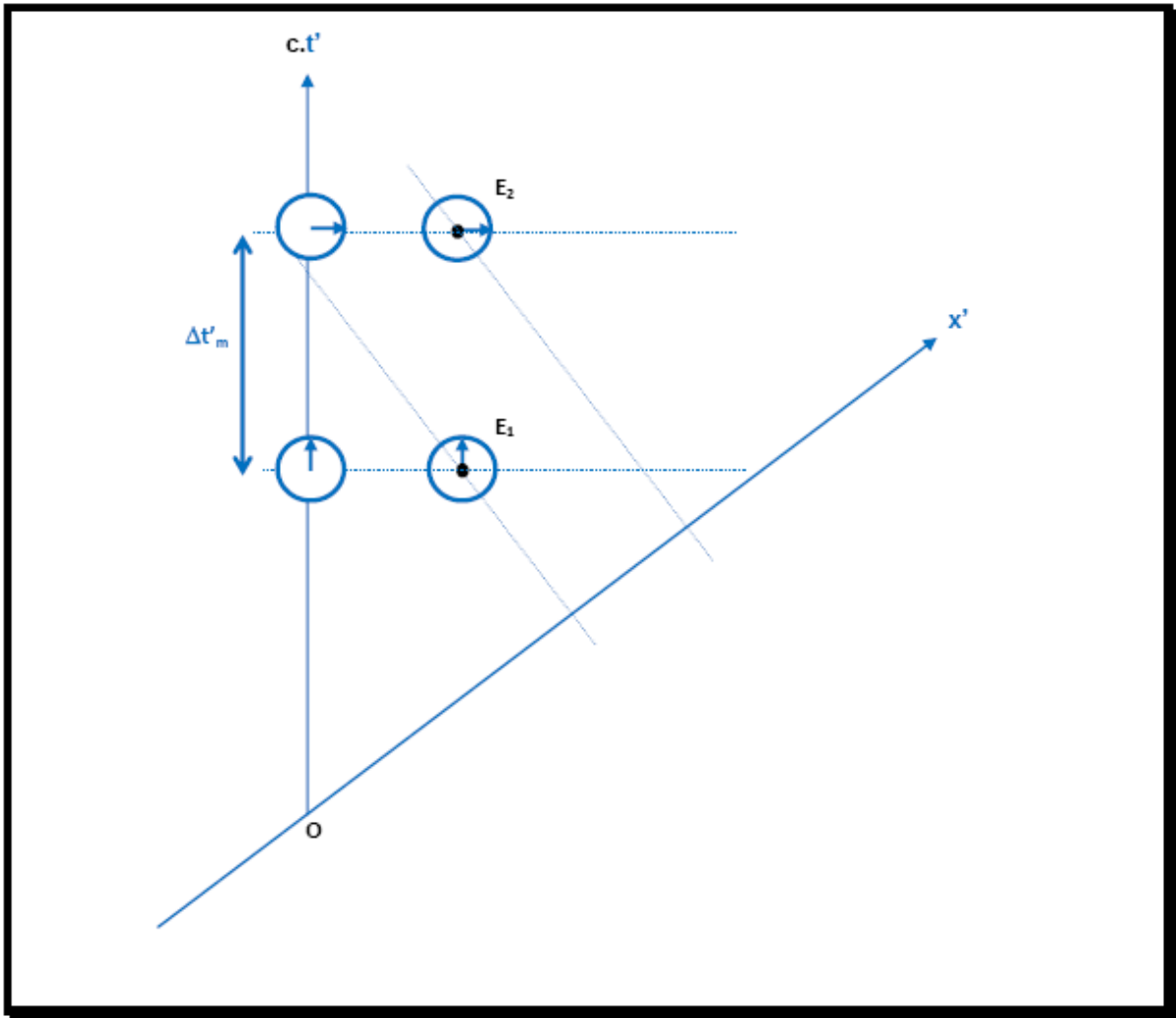
Ce graphique correspond au cas où $\gamma \approx 1,2$. Lorsque γ est beaucoup plus élevé, $\Delta t'_m$ est beaucoup plus grand que Δt_p et les angles, entre les axes Ox et Ox' d'une part, et entre les axes Oct et Oct' d'autres part, sont plus importants.



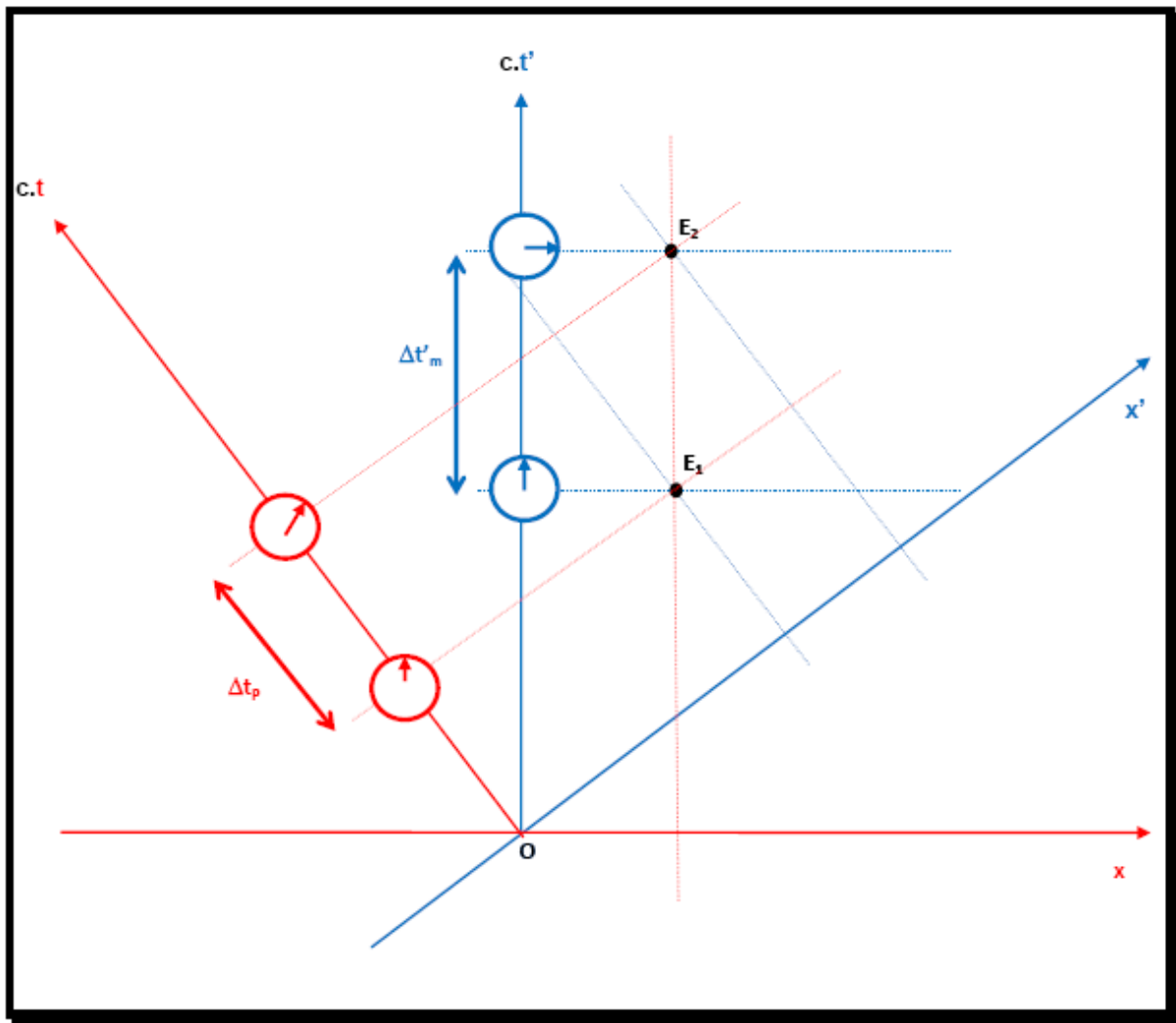
Document 4 (3)



Document 5 (1)



Document 5 (2)



Document 5(3)

Travail demandé

Compréhension des documents :

1. A l'aide du document 1, expliquer pourquoi les muons ont parcouru une distance dans le référentiel terrestre R' plus grande que prévue.
2. A l'aide du document 2, retrouver $\Delta t_m'$ et Δt_p sur le schéma relatif au cas 1 et le schéma relatif au cas 2.
3. En utilisant les données du document 3, expliquer l'évolution du nombre de comptages de muons entre la mesure au Mont Washington et celle réalisée à Cambridge.
4. A l'aide du document 4, expliquer comment voit-on que les muons sont fixes dans R ?
5. A l'aide du document 5, que peut-on dire de $\Delta t_m'$ et Δt_p ?

Exploitation des documents :

1. A l'aide du document 1, indiquer quel paramètre influence la durée de vie des muons dans R' par rapport à la durée de vie des muons dans R ?
2. Calculer γ , en utilisant le document 2, pour $v' = 0,992 c$. En déduire la relation entre $\Delta t_m'$ et Δt_p .
3. A partir du document 3, calculer $t' - t'_0$ connaissant la valeur numérique de v' et l'altitude du Mont Washington. En déduire la valeur numérique de τ' en utilisant l'expression suivante : $\tau' = \frac{t' - t'_0}{\ln \frac{N_0}{N(t')}}$

Retrouver que $\tau' = 9,0 \tau$.

4. A partir du document 4, montrer que la création et la destruction du muon ne se déroulent pas au même endroit dans R' .
5. A partir du document 5, expliquer pourquoi la durée entre la création et la désintégration du muon est différente dans R et dans R' .

Question de synthèse :

A l'aide de tous les documents mis à disposition, expliquer pourquoi il est possible de détecter les muons à la surface de la Terre avec une proportion largement supérieure aux prévisions. Une réponse argumentée et justifiée est souhaitée.

Enseignement de l'énergie en première S. Quelques réflexions sur l'impact des changements de programme

Exposé de Philippe Colin

Prise de notes : Luz Martinez

Il s'agit d'une recherche en cours qui fait l'objet d'une étude dans le cadre d'un mémoire de recherche du master de didactique des disciplines, intitulé *Quelle prise en compte de la variable temporelle dans les chaînes énergétiques ?* Il s'agit dans la présentation de « planter le décor » et de discuter la pertinence des questions à l'origine de cette étude [les observations, réactions et remarques faites lors de cette présentation sont ajoutés sous la forme de notes de bas de page].

L'énergie constitue depuis des années un thème central dans l'enseignement des sciences physiques et chimiques. De nombreuses recherches ont porté sur les difficultés que ce concept pour le moins abstrait peut occasionner, et sur les façons de les surmonter. Des propositions ont été faites selon différentes approches, soit curriculaire donc relativement large, soit plus ciblée, relative à la construction de séquences d'enseignement pour un niveau donné.

Dans les nouveaux programmes d'enseignement du collège et du lycée, l'énergie figure encore en bonne place : elle est un des « thèmes de convergence » du collège ; elle est qualifiée de « grandeur essentielle des sciences physiques et chimiques » dans le programme de première S avec en particulier son principe de conservation ; elle intervient en Terminale S avec l'introduction de la variable temporelle dans des phénomènes en évolution notamment dans la partie intitulée *Énergie, matière et rayonnement*.

La conservation de l'énergie est le plus souvent mise en œuvre en s'appuyant sur des chaînes énergétiques mettant en jeu des transferts énergétiques.

Un changement important est intervenu dans le programme en première S. Alors que l'ancien programme (2001) suivait une approche « traditionnelle » (force – travail (transfert d'énergie) - formes d'énergie avec conservation de l'énergie mécanique), le nouveau programme (2011) a repoussé l'étude des différents modes de transfert en Terminale S¹.

Quelques éléments de réflexion sur le changement de programme en 1^{ère} S

Le programme est clair concernant l'approche choisie puisque le chapitre sur « Comprendre : lois et modèles » s'intitule « Formes et principe de conservation de l'énergie ».

¹ À titre de repère : la notion d'énergie au collège occupe une place importante. Cependant le vocabulaire ne tient pas encore compte des principes de conservation.

Cette idée de forme d'énergie fait depuis longtemps l'objet de débat. Quelles sont ces formes ? S'agit-il d'une étape « nécessaire » ? Faut-il s'en tenir uniquement à énergie potentielle et énergie cinétique ? Faut-il encore maintenir la forme « énergie électrique » ?

La conservation de l'énergie est présentée dans le programme comme un principe explicatif : « (...) l'affirmation du principe de conservation de l'énergie s'avère un outil puissant et universel d'explication des **phénomènes** ». La signification du terme « explication » a fait l'objet de discussion pour aboutir à un consensus « mou ».

Par ailleurs, la conservation de l'énergie apparaît lors de l'introduction de la conversion de l'énergie cinétique en énergie potentielle de pesanteur pour un point matériel dans un champ de pesanteur uniforme. Dans le cas de la non conservation de l'énergie, les transferts thermiques sont évoqués sans encore pouvoir en préciser les processus correspondants.

Dans la partie Agir (1^{ère} S), on relève une des compétences attendues : « Argumenter en utilisant le vocabulaire scientifique adéquat » alors que le vocabulaire utilisé est discutable, les phrases suivantes en témoignent : « Transport et stockage de l'énergie ; énergie électrique », « Production de l'énergie électrique », « conversion d'énergie dans un générateur »

Ces ambiguïtés, voire ces incohérences, en particulier sur l'« énergie électrique », peuvent amener à confondre forme d'énergie et mode de transfert ².

L'étude des transferts énergétiques n'étant plus au programme, il est logique que les objectifs soient centrés sur les conversions d'énergie ³, c'est-à-dire sur les changements de forme d'énergie d'un système à un autre : « Schématiser une chaîne énergétique pour interpréter les conversions d'énergie en termes de conservation, de dégradation »

Un artéfact didactique : le « modèle » de la chaîne énergétique

La « chaîne énergétique » est présentée comme un outil de description énergétique des situations. Selon un modèle fréquemment rencontré dans la littérature consultée, quelques composants ont été identifiés : les réservoirs stockent l'énergie, les convertisseurs reçoivent autant d'énergie qu'ils en

²

On s'est demandé quelle forme prendrait une introduction « attendue » de modes de transferts et formes d'énergie dans les programmes et quelle concordance avec les réformes actuelles.

³

Luz Martinez suggère qu'une explicitation initiale des termes traités lors de la présentation pourrait servir pour délimiter ce qui relève d'un transfert d'énergie et ce qui relève d'une conversion d'énergie. De même pour les autres termes envisagés dans cette analyse (par exemple : principe de conservation de l'énergie, modes de transfert, forme d'énergie, bilans énergétiques, flux énergétiques, systèmes (ouverts et fermés))

fournissent, les transferts permettent des échanges d'énergie d'un système à un autre (voir image 1)⁴.

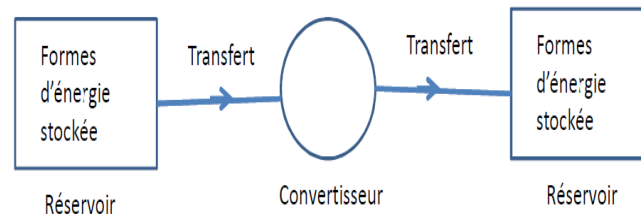


Image 1 : présentation attendue de la chaîne énergétique.

Un regard sur les « chaînes énergétiques » dans les manuels scolaires

Quelques pistes sont proposées par Philippe Colin pour entreprendre une analyse des manuels scolaires sur les chaînes énergétiques :

- Quels types de situation ? Système isolé ou systèmes en interaction ? Quel traitement pour l'énergie potentielle de pesanteur ?
- Quel type de régime : permanent ou/et transitoire ?
- Quelle place respective pour les conversions et les transferts dans une chaîne énergétique ?
- Quel type de bilan énergétique : pour un système, pour un extrait de chaîne, pour une chaîne complète ?

Quelques résultats préliminaires

Philippe Colin souligne une grande confusion entre conversion et transfert, en particulier concernant l'« énergie électrique ». Un seul manuel souligne que *L'électricité n'est pas une forme d'énergie mais un mode de transfert : parler d'énergie électrique est donc un abus de langage pratique qui désigne l'énergie transférée par transfert électrique.*

L'étude des échanges énergétiques dans une chaîne se limite très souvent à établir un bilan énergétique pour un système pour lequel transfert entre systèmes et énergie d'un système sont difficiles à identifier. Certains schémas incitent fortement à mettre en relation mode de transfert et forme d'énergie transférée.

En ce qui concerne les régimes transitoire et permanent, on trouve que :

⁴

Cécile de Hosson propose une réflexion sur le rôle de la « chaîne énergétique » : Dans l'enseignement de la physique la chaîne énergétique correspond à un instrument didactique pour faire comprendre aux étudiants certains éléments (sur les transferts d'énergie / les formes d'énergie et/ou le principe de conservation d'énergie) plutôt qu'un artéfact scientifique dans la physique générale. Michaël Canu, indique que la chaîne énergétique peut bien correspondre à un instrument utilisé par l'expert en automatisme.

- Les situations sont habituellement étudiées en régime permanent, la variable temporelle est très peu prise en compte. Les changements de niveaux d'énergie dans les réservoirs ainsi que la puissance des transferts ne sont que très rarement questionnés.
- Pour un convertisseur idéal en régime permanent rien ne se stocke mais une compensation des flux (entrant et sortant) est nécessaire pour maintenir ce niveau d'énergie. Cette compensation de flux est simultanée. Cela ne semble pas explicité non plus.

Les réflexions antérieures amènent à penser aussi que la prise en compte de la variable temporelle dans les bilans énergétiques, plus précisément dans le modèle « chaîne énergétique » préconisé par le programme, constitue également un point d'achoppement. Par ailleurs, des systèmes associés ne seraient pas complètement délimités ni identifiés.

Cela résonne avec les résultats des recherches menées depuis quelques années autour de l'effet de serre. Car, ils montrent toute la difficulté à concilier régime transitoire et régime permanent, à associer bilans énergétiques en termes de vitesse de transfert, soit de flux, et les variations d'énergie dans les différents systèmes. Le programme ne fait pas mention de ces différents régimes.

L'effet de serre est de retour dans plusieurs manuels scolaires de Terminale S pour permettre d'appliquer le modèle de la chaîne énergétique. C'est une situation plus complexe puisque qu'il s'agit de passer d'une chaîne linéaire à une chaîne comportant une rétroaction entre deux systèmes, le sol terrestre et les gaz à effet de serre. Le questionnement présenté dans certains manuels semble ignorer la difficulté du traitement ; d'autres présentent eux-mêmes un traitement pour le moins incohérent.

Il sera intéressant de voir comment des élèves de Terminale S réagissent face à cette situation.

Ces résultats seront affinés dans le cadre du mémoire de recherche.

Datation au carbone 14

Exposé de Nicolas Décamp et Laurence Viennot

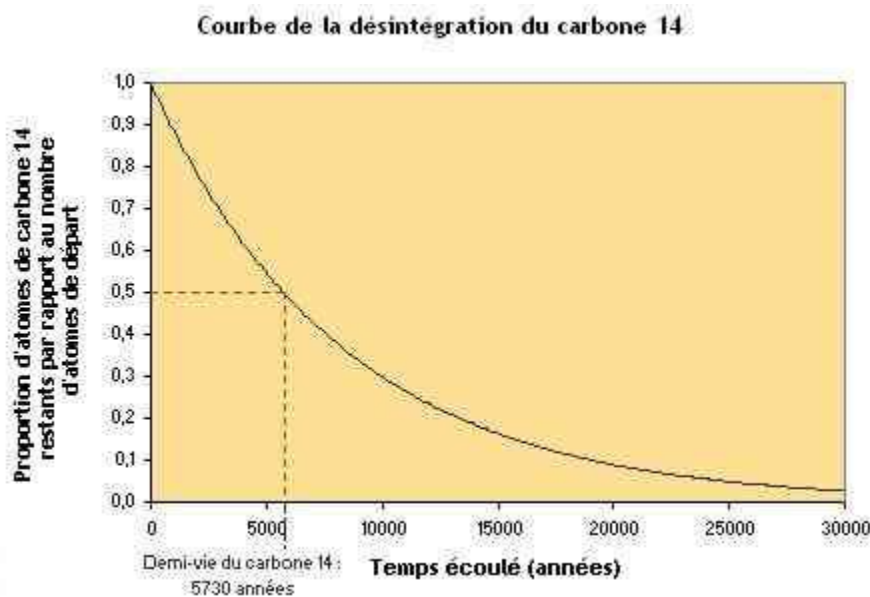
Prise de notes : Philippe Colin

Introduction

La présentation de Laurence et Nicolas concerne la datation au carbone 14. Il s'agit d'étudier comment l'analyse critique d'étudiants, futurs enseignants, est liée à leur maîtrise du contenu lorsqu'ils sont confrontés à des explications simplifiées provenant de textes de vulgarisation scientifique. Ce point est mis en relation avec l'aspect « métacognitif/affectif », à savoir la satisfaction intellectuelle des étudiants.

Analyse du contenu

Dans une première partie, Nicolas débute son analyse de contenu par une présentation très usuelle du principe de la datation au carbone 14, à savoir la courbe de désintégration du carbone 14 en fonction du temps et la loi de décroissance exponentielle associée.



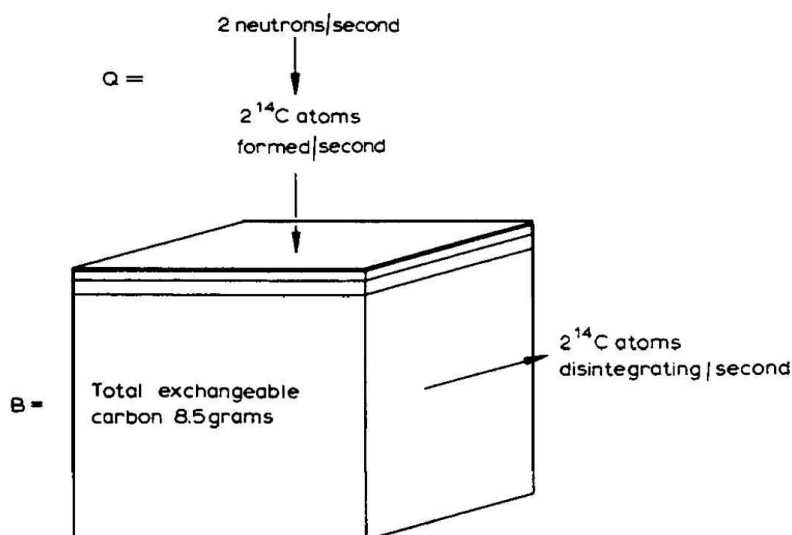
$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Cette présentation pourrait paraître au premier abord relativement claire et explicite, mais Nicolas souligne que, si l'on y regarde de plus près, des questions peuvent surgir : que représente le terme N_0 ? N'y avait-il pas de carbone 14 avant cette date ? Le carbone 14 ne se désintègre-t-il pas déjà ? Et puis, au fait d'où vient le carbone 14 ?

Nicolas présente alors les réponses les plus usuellement fournies, réponses incomplètes avec des implicites :

- Le carbone 14 provient de l'interaction des « neutrons cosmiques » avec les noyaux d'azote de l'atmosphère...
- Le flux de rayons cosmiques est constant...
- Le taux de carbone 14 dans l'atmosphère est constant...

L'image suivante illustre un tel implicite : la compétition entre création et désintégration est bien présente mais rien n'est dit sur la raison pour laquelle les taux sont égaux.



Les textes soumis à l'analyse des étudiants lors des entretiens présenteront ces divers éléments de réponse.

Nicolas présente ensuite une analyse du contenu où il met l'accent sur trois points. Tout d'abord, le nombre d'atomes de carbone 14 présents résulte de la compétition entre deux phénomènes, création à partir de l'azote et désintégration radioactive ; ensuite, le nombre total d'atomes de carbone 14 et d'azote 14 est constant ; enfin le taux de désintégration du carbone 14 est proportionnel au nombre d'atomes de carbone. Des études ont déjà montré que ce caractère multiplicatif est source de difficultés.

Pour surmonter ces difficultés, Nicolas présente une analogie basée sur les déplacements de ruraux et de citadins. Une étude de cas permet de montrer que malgré des taux de déplacement différents entre campagne et ville, on peut trouver une répartition stable de la population. Cette analogie sera proposée lors des entretiens.

Puis, Nicolas fournit une interprétation graphique des phénomènes de création et de désintégration pour conclure sur l'atteinte effective de la solution, avant de donner une résolution analytique du problème.

Méthodologie

Des entretiens du type « teaching experiment », d'une durée d'environ 45 minutes, ont été menés avec 8 étudiants de master enseignement et formation physique-chimie.

Cinq textes de vulgarisation issus d'internet ont servi de support. L'ordre de présentation des textes est fixé suivant la qualité des informations et leur degré d'implicite.

Nicolas donne quelques informations sur ces textes :

- Texte 1 (T1) : généralités sans loi, ni N_0
- Texte 2 (T2) : la loi de décroissance exponentielle est donnée et N_0 est supposé constant (voir schéma)
- Texte 3 (T3) : le taux de création du carbone 14 est supposé constant
- Texte 4 (T4) : il s'agit de l'image présentée plus haut où les taux de création et de désintégration sont égaux.
- Texte 5 (T5) : il est indiqué qu'un taux stationnaire a dû être atteint.

Laurence poursuit sur les aspects méthodologiques liés à l'analyse des entretiens en précisant que les résultats présentés se réfèrent à 6 étudiants (sur un échantillon de 8 étudiants).

Laurence rappelle les 7 nœuds conceptuels nécessaires à la compréhension :

- connaissance du rapport du nombre de carbone 14 au nombre de carbone 12 au moment de la mort (1)
- hypothèse de l'uniformité de ce rapport dans l'atmosphère et chez les êtres vivants (2)
- constance dans le temps de ce rapport (point discuté plus loin) (3)
- connaissance du processus de « création » du carbone 14 découlant de la destruction des atomes d'azote due aux neutrons cosmiques (4)
- connaissance de la décroissance radioactive du carbone 14 avec la « création » d'atome d'azote (5)
- compréhension de l'atteinte d'une situation d'équilibre pour les deux populations d'atomes (6)
- prise en compte de la constance du nombre total d'atomes de carbone 14 et d'azote 14 (7)
- connaissance de l'effet multiplicatif du nombre présent d'atomes de carbone 14 et d'azote 14 sur le taux de destruction et de création d'atomes de carbone 14 (8)
- prise en compte de cet effet multiplicatif pour expliquer le processus adaptatif permettant l'atteinte d'un rapport stable entre le nombre d'atome de carbone 14 et celui de carbone 12 dans l'atmosphère, principe de la datation. (9)

Les 5 textes présentés successivement aux étudiants comportent donc un nombre de nœuds conceptuels croissant mais les nœuds (7), (8) et (9) n'y figurent pas.

Protocole

Il est demandé aux étudiants si l'explication fournie par chacun des textes leur paraît satisfaisante et, si ce n'est pas le cas, quelles questions sont restées sans réponse.

Une explication graphique ainsi qu'un appui sur une analogie sont ensuite mis en œuvre pour un approfondissement du contenu délivré par un texte (T6) conçu par Laurence et Nicolas.

Si aucune analogie n'est produite par l'étudiant, celle relative aux transferts de populations rurale et citadine est proposée.

Méthodologie d'analyse

L'analyse des entretiens est effectuée selon deux dimensions : les nœuds conceptuels et le statut « méta » de l'énoncé.

Sur le plan conceptuel, deux lignes d'analyse imbriquées ont été suivies : les obstacles liés aux réductions fonctionnelles et ceux portant sur le rôle du caractère multiplicatif (nœud conceptuel (8)) sur l'ajustement des populations d'atome de carbone 14 et d'azote 14.

Trois catégories ont été introduites pour analyser le statut « méta » de l'énoncé :

- énoncé à l'initiative de l'étudiant (codé in)
- question considérée comme non résolue par le(s) texte(s), en distinguant celles considérées comme cruciales (codées cr) de celles relevant du détail (du point de vue de Laurence et Nicolas) (codées dl)
- expression de satisfaction (codée m +) ou de frustration (codée m-), retour sur soi-même.

Résultats

Sur le plan conceptuel

Les étudiants repèrent facilement la nécessité de connaître le rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}_0$ mais les autres questions cruciales n'apparaissent que progressivement après qu'une première question cruciale ne voie le jour à l'issue de l'examen d'un texte. L'exigence intellectuelle semble donc relativement basse avant de s'accroître au fil de l'entretien.

La réduction fonctionnelle est fortement présente : pour les étudiants, si le flux de neutrons cosmiques est constant alors le taux de création du carbone 14 est constant et aucun étudiant ne s'interroge sur la constance du nombre d'atome de carbone 14 dans l'atmosphère.

Les étudiants mettent peu l'accent sur l'ajustement des populations lié au caractère multiplicatif. Concernant l'égalité des taux de « création » et de désintégration des atomes de carbone 14, un seul étudiant connaît la réponse et parmi les autres, un seul étudiant se pose la question. Cet ajustement peut même faire l'objet d'un déni, le taux de désintégration étant alors uniquement attribué à la constante de désintégration et au temps de demi-vie.

Si l'ajustement est saisi, les étudiants énoncent spontanément l'analogie avec l'équilibre chimique.

L'analogie citadins/ruraux constitue bien une aide à la compréhension comme en témoigne les extraits suivants : « Si le nombre de personnes qui vont en ville est beaucoup plus important et 10% seulement qui vont à la campagne, ils peuvent facilement être compensés par (...) » ; « on voit que plus le nombre des habitants habitant la campagne est grand, plus le 40% va être significatif. » ; « on va atteindre une valeur stable en adoptant le même raisonnement. ».

Sur le plan « métacognitif »

	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Prel		cq	cq ³	cq ²	cq ²	⊖
Bela	dl	cq	cq ³	cq	cq ²	⊖
Lamb	dl	dl		cq	cq	⊖
Olli			dl		cq ³	⊖
Boul					cq ²	⊖
Thib			dl			⊖
notations	dl « détails »	cq question cruciale	⊖ OK à la fin			

Sur le plan métacognitif/affectif

	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Prel	⊖	⊖ m+, m-	m-	m+, m-	m-	m+4 ⊖
Bela	≈	⊖	⊖ m-	m-	m-	m+3 ⊖
Lamb	≈	≈	m-		m-	m+3 ⊖
Olli	⊖	⊖ m+	⊖ ≈		m-	m+3 ⊖
Boul	≈	⊖ m+	⊖ _{rire} m+	m-	m-	m+2,5 ⊖
Thib	⊖	⊖	⊖ ≈	⊖	⊖	m+4 ⊖

Le taux de satisfaction est évalué à la fin de l'entretien grâce à une échelle de Likert à quatre degrés (dernière colonne du tableau).

Laurence signale qu'il faudrait distinguer les cas « pathologiques » de Boul qui n'a rien compris et ne questionne rien et celui de Thib qui a tout compris et ne questionne rien.

Hormis ces deux cas, ces deux tableaux mettent en évidence une évolution typique dont on peut mieux se rendre compte à partir du tracé des « diagonales ».

Au début de l'entretien, on constate un accord mou ($\approx m+$) avec une demande de « détails » et un accueil favorable de nouvelles informations accompagné d'un retour sur soi (*j'avais oublié, c'est ce qui me manquait*). Puis à partir de la première question cruciale (cq), les détails (dl) sont abandonnés, les accords (Θ) disparaissent alors que les manifestations de frustration (m-) apparaissent pour être présentes chez tous les étudiants lors de l'examen du dernier texte T5, à une exception près (Thib) dont le caractère atypique a été signalé.

Puis l'accord est trouvé avec le texte T6 conçu par Laurence et Nicolas, accord accompagné d'une grande expression de satisfaction.

Laurence conclut en soulignant le co-développement de l'attitude critique et de la compréhension au niveau conceptuel chez ces étudiants, point crucial qui devrait conduire à s'interroger sur la poursuite de recherches pour développer des stratégies visant ces deux objectifs de façon plus ou moins indépendante.

Discussion

Cécile interroge l'effet déclencheur du texte T5 qui posait la nécessité de l'atteinte d'un état stationnaire : pourquoi ne pas débiter par ce texte ? Laurence indique qu'il y a une « tolérance à l'incomplet ou au complet » qu'il est intéressant d'aller sonder.

Isabelle pose la question de la signification d'une meilleure compréhension : cette évaluation peut être conduite suivant le degré d'acceptation des arguments ou à partir d'un réinvestissement sur une autre situation. Laurence souligne que c'est la mise en cohérence des arguments qui met en évidence cette compréhension en profondeur. Nicolas indique que le réinvestissement peut s'effectuer dans le cadre d'une analogie.

Cécile souligne un possible parallèle entre la courbe en U des sportifs et celle présentée ici par les étudiants (accord mou, puis frustration, puis satisfaction). Laurence précise que cette courbe en U a déjà été rencontrée en didactique, notamment par Sylvie Rainson.

Le rebond de balles : analyse d'une formation des enseignants du primaire vers la construction de problèmes scientifiques.

Exposé de Luz MARTINEZ

Prise de notes : Robin BOSDEVEIX

L'exposé reprend et élargit une communication donnée lors d'un colloque en Colombie en décembre 2012, dont les co-auteurs sont Cécile De Hosson et Nicolas Décamp, co-directeurs de la thèse de Luz.

Résumé de la communication

L'enseignement des sciences expérimentales a subi des changements importants au plan des orientations pédagogiques prescrites. Ces changements reflètent l'évolution du cadre international dont l'une des caractéristiques est de mettre en avant des démarches plus ouvertes fondées sur « l'investigation » (rapport Rocard et al, 2007). Les programmes français et colombien, sujet de cette recherche, attendent des enseignants d'une part de concevoir des problèmes pouvant conduire à la mise en place de démarches expérimentales ouvertes (Morge et Boilevin, 2007) (Nous qualifierons ce type de problème de « fécond ») et d'autre part de motiver les élèves à participer davantage aux processus de construction du savoir (MEN Colombie, 2004 ; MEN France, 2008). Ces intentions font écho à l'importance du problème dans la construction du savoir scientifique (Bachelard, 1938)

Une préparation à la construction de problèmes féconds semble donc essentielle pour développer ces attentes. En effet, des constats préalables suggèrent que les enseignants ne seraient pas suffisamment formés pour l'application de ces réformes (Triquet et al. 2012, Péliissier et Venturini 2012).

Dans cette recherche on s'intéresse aux conditions qui favorisent la construction d'un problème pouvant conduire à une démarche expérimentale ouverte. Cette construction ne représente pas un processus simple. C'est ce processus que nous étudions ici et qui constitue le cœur d'une formation destinée à des enseignants sans formation scientifique universitaire.

Une première formation a été conçue afin de favoriser ce processus puis a été analysée. Nous avons fait le choix d'un sujet de physique déjà exploité par la recherche en didactique notamment via une approche historique du phénomène du rebond des corps. Dans ces recherches antérieures la controverse entre Huygens et Leibniz au XVII^e siècle a été reproduite en classe avec des élèves du secondaire (Viard, 2003 et Langlois, 1995). Cela a permis d'éclairer certaines caractéristiques des raisonnements des élèves. Les résultats suggèrent aussi une influence des énoncés sur la démarche selon leur caractère plus ou moins ouvert.

Ces résultats nous ont conduits à proposer une formation visant la construction des connaissances scientifiques diverses associées au rebond de balles. Plusieurs connaissances peuvent être repérées comme le résultat d'une construction. Nous présentons ici l'exemple de la construction d'une

grandeur physique, le coefficient de restitution. Cette connaissance acquise étant générale et permettant de faire des prédictions avec tout type de balles, correspond à un savoir physique prototypique.

Intervention de Luz

Contexte

Le contexte institutionnel relatif aux démarches d'investigation est présenté dans les programmes (France et Colombie).

Ce que l'on attend des enseignants : conception de problèmes adaptés à la démarche d'enseignement

Ce qu'on attend des élèves : Participation autonome pour résoudre un problème.

Comment former des enseignants à la construction d'un problème ?

2 articles de référence : Viard (2003) et Langlois (1995)⁵ :

- Une approche des raisonnements par le biais d'événements historiques
- Une transformation de raisonnements possible
- Une influence de l'énoncé sur le déroulement des démarches

Analyse de contenu en physique sur le rebond :

- http://www-physique.u-strasbg.fr/~udp/wfn-www/webphy/mecanique/energie/rebond_coeff_restit/rebond_coeff_restit.html
- http://phyexpdoc.script.univ-paris-diderot.fr/projets_/sites_01_02_2/rebond/index.htm
- <http://www.phychim.ac-versailles.fr/spip.php?article203>

Références théoriques

- Usage et résolution de problèmes ouverts (Garret, 1988; Ausubel, 1990; Furio Mas, Barrenetxea & Reyes Martin, 1994)
- La résolution du problème comme activité de recherche (Gil & Martínez-Torregosa, 1994)

⁵

VIARD, J. (2003). Peut-on ignorer la cause du rebond? une question historique toujours d'actualité.
LANGLOIS et al. (1995). Influencia de la formulación del enunciado y del control didáctico sobre la actividad intelectual de los alumnos en la resolución de problemas.

- Importance du problème pour la construction d'une connaissance scientifique (« problématisation » et implications épistémologiques)

Questions de recherche

Vers la construction d'un problème « fécond »⁶, adapté à la classe et aux connaissances visées

1. Quelles sont les possibles connaissances à construire ?
2. Quelles tendances sur la construction des connaissances scientifiques ?

Méthodologie

Milieu adidactique selon TSD

Énoncé ouvert déclenchant une activité expérimentale mais guidée par des contraintes

Groupe de travail de 5 à 8 enseignants

Enregistrement puis transcription des échanges.

Discussion préalable dans le groupe avant d'expérimenter. Mise en commun avec un délégué à la fin de l'atelier.

Matériel prévu pour présenter des comportements inattendus (balle en plastique, billes métalliques, balles au comportement imprévu...).

Vous êtes des scientifiques désireux d'étudier le rebond des balles. Que souhaiteriez-vous étudier en particulier ?

Est-ce que la vitesse initiale (V_i) intervient dans le rebond ?

Ici dans le cadre de l'atelier, pas moyen de mesurer V_i et V_f . Cela constitue une contrainte empirique dans la construction du problème (expérimentale et matérielle par rapport à la mesure).

Hypothèse : Il est possible que dans ce milieu adidactique une connaissance scientifique soit construite par les enseignants (ne possédant pas de formation scientifique préalable sur le rebond de balles) ... Cette construction se ferait par le biais de la confrontation avec des expériences dont le résultat peut être inattendu. Caractéristique principale du milieu adidactique.

⁶ **Problème fécond :** problème pouvant conduire à la mise en place de démarches expérimentales ouvertes (Morge & Boilevin, 2007)

Analyse des données

8 séances entières (5 groupes en France et 3 groupes en Colombie)

Transcription de 12h de séance

Analyse de données de type « analyse de contenu » (Bardin, 1991)

- repérage des unités de signification
- et élaboration des inférences.

Cadre de la problématisation développé au CREN (Nantes) (Orange 2002, Orange 2005, Beorchia & Lhoste, 2007 ; Lhoste, Peterfalvi & Orange, 2007; ...)

- Position du problème
- Construction du problème: interaction entre registres des faits (empirique) et des modèles/idées (théorique). Contraintes et nécessités.
- Résolution du problème

Présentation de l'espace de contraintes (outil d'analyse de la problématisation)

- Contraintes empiriques : faits à expliquer
- Contraintes théoriques : idées qui contraignent l'explication. Conceptions autour de l'énergie, de la matière, de l'importance de la masse. Les contraintes théoriques consistent en la mobilisation d'idées physiques (conceptions) qui font consensus dans le groupe, même si il s'agit d'idées non valides en physique.

Cette interaction permet la construction de nécessités sur le modèle : des explications prenant en compte ces contraintes.

La catégorie des empiriques nécessaires proposée par Lhoste (2009) se réfère à des expériences « idéales » utiles à expliquer des théories. N'ont pas été proposés par les enseignants. Catégorie d'analyse non utilisée pour la recherche en cours.

Résultats

23 questions ont été proposées par les enseignants. Certaines sont ouvertes, d'autres fermées (N=14/23). Les questions ouvertes étaient du type :

- Comment ? => Description du rebond. N=7/23
- Pourquoi ça rebondit ? N=2/23

Les questions ont été classées en 4 catégories (cf. tableau suivant) : comparer, décrire, relation cause-effet, autre.

		Comparer	Décrire	Cause-effet	autre
QI	Constater l'influence de la matière			5	
QII	Constater l'influence du poids			2	
QIII	Trouver des conditions pour un meilleur rebond		2		
QIV	Pourquoi elles rebondissent			2	
QV	Constater l'influence de la taille			2	
QVI	Tous les corps rebondissent ?	3			
QVII	Constater l'influence de la hauteur de départ	2			
QVIII	Comment elles rebondissent ?		1		
QIX	Constater l'influence de la vitesse			1	
QX	Une balle en plastique rebondit mieux qu'une balle en mousse ?	1			
QXI	Trouver des variations (influence : cause-effet ?			1	
QXII	Trouver un coefficient caractéristique du rebond				1
	TOTAL	6	3	13	1

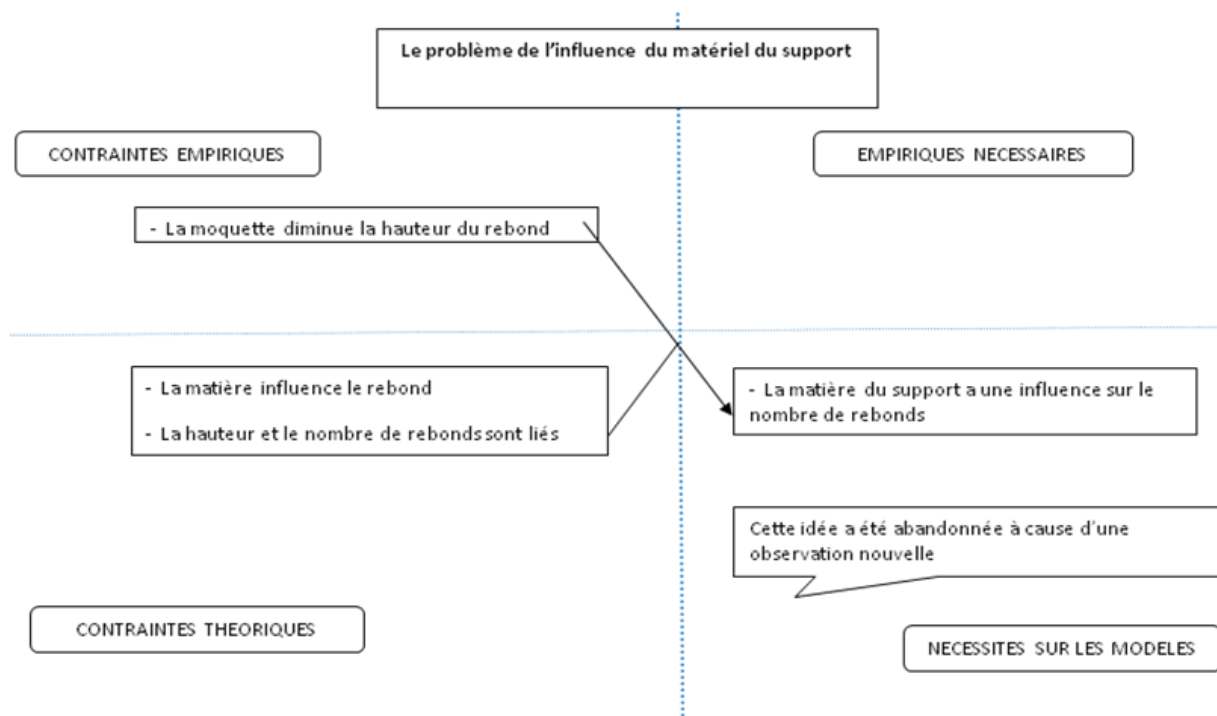
Tableau 1 : Classement des questions constatés lors de la mise en places de démarches expérimentales

La plupart des questions portent sur l'influence entre grandeurs physiques, en particulier la variation d'une même grandeur pendant toute l'expérience. Cela a permis à un groupe de s'approcher du coefficient de restitution, qui est le rapport entre la hauteur de la balle avant le choc et la hauteur après le choc.

Plusieurs problèmes sont mis au travail :

1. **Problème de l'influence du poids de la balle.** Invalidée expérimentalement
2. **Problème de l'influence du matériau constituant le support**

L'espace des contraintes ci-dessous représente la problématisation construite par un groupe.



L'influence de la nature du support a été abandonnée à cause d'une nouvelle observation.

3. Problème du rapport entre la hauteur avant et après le lâcher

Notons que le changement de statut d'un énoncé, la hauteur initiale de la balle considérée tout d'abord comme une variable et qui devient dans un second temps une contrainte à prendre en compte) => construction de la nécessité d'un rapport de proportionnalité entre Hauteur avant et Hauteur après le lâcher.

L'analyse a été menée sur les 8 groupes et a permis d'identifier une **liste de conflits** (tableau ci-dessous).

C1: On ne trouve pas de régularités dans les résultats (blocage (1) P7G1, changement (3) P7G2, P7G3, P7G5, affinement : (1) P7G4)

C2: Le nombre de rebonds ne change pas lors du changement du poids ou lors du changement de la matière (affinement (1) P7G3, blocage (1) P7G4)

C3: Les nombreuses influences sont difficiles à déterminer dans l'expérience (affinement (2) : P7G1, P7G4 ; changement (1) : P7G3, blocage (1) P7G2)

C4: La grandeur matière est ambiguë comme grandeur physique (blocage (1) : P7G2)

C5: On ne peut pas séparer la matière du poids. Cela fait 2 variables à étudier en même temps (changement (2) P7G5, CCG2)

C6: Les questions qui semblent tellement intuitives qui ne méritent pas d'une démarche expérimentale (changement : CCG2, CCG1, P7G2, P7G5)

C7: La question est trop difficile pour l'aborder (changement (3) P7G2, P7G3, CCG1)

Le tableau suivant présente le type de conflit pour chaque question (de 1 à 12).

Quest. / Conf.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
QI	x	x		x			x
QII		x	x				
QIII			x				x
QIV			x				
QV					x	x	
QVI						x	
QVII							
QVIII	x						
QIX						x	
QX					x		
QXI						x	
QXII							x

Parfois le conflit est dépassé (=> problème fécond), parfois il engendre un blocage.

Le conflit le plus présent est le conflit 6. Certaines questions semblent tellement intuitives qu'elles ne méritent pas d'être travaillées aux yeux des participants. Des questions sont plus liées à des conflits que d'autres, comme la question 1 : « constater l'influence de la matière ». Le conflit de type blocage concerne les conflits 1, 2 et 7.

Conclusion

L'étude présentée est une étude de cas, visant la caractérisation de problèmes féconds et non féconds. Les problèmes féconds ont permis aux étudiants de trouver une solution au problème.

Ce travail a permis aux étudiants de conduire une réflexion épistémologique sur la construction des connaissances scientifiques (« on ne peut pas mener une démarche car ce n'est pas mesurable »). Un autre exemple sera étudié, celui du pendule.

Cette recherche permet également de caractériser **l'épistémologie personnelle des enseignants, leur rapport à la science** (NOS en anglais pour Nature Of Science).

Il se dégage deux pôles (ou grandes tendances) semblant opposés :

- Pôle 1 : empirisme, inductivisme, positivisme, vision traditionnelle
- Pôle 2 : constructivisme, vision alternative, nouvelle vision de la science, philosophie contemporaine.

La grille de codage utilisée est présentée ci-dessous.

Pôle 1 (empirisme – inductivisme – réalisme – positiviste
- vision traditionnelle) (couleur orange)
•(P1A) Considération d'un seul chemin sûr pour accéder aux connaissances scientifiques
•(P1B) L'observation constitue le premier pas dans cette méthode
•(P1C) Les connaissances scientifiques ont un caractère objectif et universel (cela implique une vision statique des connaissances)
•(P1D) Les connaissances scientifiques ont plus de valeur épistémologique que des connaissances plus subjectives et quotidiennes (couleur violet)

Pôle 2 (constructivisme social – nouvelle philosophie de la science – philosophie contemporaine – vision alternative)

- (P2A) La méthodologie scientifique est diverse, cela implique la recherche d'autres méthodes et instruments
- (P2B) L'activité scientifique est logique et créatrice, elle ne peut pas être codifiée par de recettes
- (P2C) Le savoir scientifique est historiquement déterminé et donc relatif
- (P2D) La science est un essai de comprendre le monde, de construire une connaissance scientifique qui ne doit pas être associée à la vérité (absolue)

Essai de caractérisation de la démarche de chacun des 8 groupes (cf. tableau ci-dessous)

GROUPE	Démarche	Hypothèse	Observation		Classé	Difficultés identifiées pour aboutir la démarche
P7G1	P1C	P1C	P1C		P1	"on se retrouve piégés" (423)
P7G2	P0	P1C	P1C		P1	"il faut de connaissances en physique" (507) "on ne savait pas comment expliquer" (557)
P7G3	P2A	P2A	P2A		P2	problème "fécond"
P7G4	P2B	P2C	P1D		P2	"c'est une démarche rare" (673)
P7G5	P1D	P1A	P1C		P1	"ben... on est coincé nous..." (613)
CCG1	P0	P0	P1B		P0	« Nous concluons que toutes les balles rebondissent pareil mais cela n'est pas bien » (186-187)
CCG2	P0	P1C	P1C		P1	Problème "fécond"
CCG3	P0	P1D	P1B		P1	difficulté pour transformer des idées par le biais d'un conflit

La tendance majoritaire est la première, avec une image statique de la science et non dynamique. Les étudiants procèdent par déduction à partir de connaissances physiques déjà existantes. La couleur correspondante dans le tableau est jaune / saumon. En violet : 2^e pôle « Profil Invention ». En blanc : profil « Contrat ». Les activités menées par les étudiants sont en lien avec les attentes du professeur. Cela ne permet pas de fournir des informations explicites sur leur image de la science. Il y a alors impossibilité de situer clairement les étudiants par manque d'informations explicites (codage P0). Cette situation est plus fréquente en Colombie.

QUESTIONS - DISCUSSION

✓ Laurence : problème fécond : qui le considère fécond ? Les étudiants / stagiaires ou les chercheurs ? Réponse : Les chercheurs

Constater que la masse n'a pas d'influence est une connaissance scientifique (en creux). Pourtant les étudiants n'ont pas l'impression d'avoir construit de connaissance.

Le coefficient de restitution a été obtenu par une mesure.

✓ Cécile : conclusion importante du point de vue épistémologique sur l'importance de la mesure dans la connaissance en physique.

✓ Nicolas : matière. Ils ne connaissent pas les caractéristiques de la matière (élasticité...). Ils bloquent là dessus, par manque de connaissance.

✓ Robin : adidacticité

Stratégie gagnante : construire une démarche expérimentale. La connaissance visée est multiple. Il y en a plusieurs possibles (coefficient de restitution, la masse n'a pas d'influence...).

✓ Laurence : à quelle distance est mis le professeur ? Contrat : qu'attendent les élèves du professeur ? Quel est son rôle ? Il ne donne pas d'indications sur quoi faire, mais il répond à des questions, il guide. Il donne des options.

Le matériel : caisse avec plein de choses.

✓ Laurence : question sur la présentation.

Il est important de dire clairement à un moment le résumé, le bilan des résultats essentiels de la recherche. Quels sont les résultats en quelques phrases ?

Réponse :

- Identification de problèmes féconds et non féconds
- Pourquoi et comment les questions aboutissent-elles toutes sur des relations entre grandeurs physiques ? On ne s'attendait pas à ce qu'ils transforment la question. Au fur et à mesure, ils n'apportent pas des réponses, mais ils changent leurs questions.

Les questions évoluent au fil des expériences. C'est la construction du problème qui évolue.

La masse n'a pas d'influence : cela ne leur va pas. Une réponse en creux ne leur convient pas. Ils ont l'impression d'avoir échoué. Lors du bilan de la séance, ils commencent par dire « nous on n'a rien trouvé ». C'est un résultat imprévu important.

Pour nous, physiciens, si la masse ne compte pas, c'est un résultat hyper important => invariance du pendule, etc.

Conseil : Il faut indiquer plus clairement lors de la présentation le caractère **surprenant, inattendu** des résultats.

Le fait d'arriver au rapport de hauteur (coefficient de restitution) après 2 heures est un résultat, car c'est non trivial (pour des non scientifiques encore plus !). Montrer un résultat important avec une question très ouverte.

Il serait intéressant d'expliquer davantage dans la présentation le guidage du professeur/formateur, qui n'impose pas d'identifier et de caractériser des grandeurs.

Contraintes théoriques implicites liées à la situation.

Faire travailler aux élèves un problème ouvert implique de contraindre beaucoup de choses (identifier ce que les élèves savent, ce qu'ils peuvent mobiliser), contraindre le matériel pour générer des imprévus...

✓ Patricia : quelle interaction entre construction de problème (en fait ici définition de problème) et résolution de problème ?

Dans la situation présentée, il n'y a pas que la définition du problème, mais ils le résolvent aussi. La séance comprend donc les 3 dimensions de la problématisation.

Proposition de modifier la présentation pour faire apparaître les différents problèmes qui se succèdent et les explications (échelle macroscopique par rapport à l'outil « espace de contraintes et nécessités », qui zoome sur un problème donné, et qui est donc à une échelle d'analyse plus microscopique).

Patricia propose de regarder du côté de l'espace problèmes de Michel Fabre (CREN), avec des axes verticaux et horizontaux.

Référence : Fabre, M., & Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, 24, 37-57. En ligne sur <http://ife.ens-lyon.fr/publications/edition-electronique/aster/RA024-03.pdf>

Patricia précise que la notion de conflit n'apparaît pas dans les schématisations présentées.

Le conflit peut naître pas seulement entre nécessités, mais aussi entre registre empirique et le registre des modèles

✓ Robin (proposition non formulée lors de la discussion, mais ajout lors de la rédaction de ce compte-rendu) : il pourrait être utile d'expliquer en 2 minutes au début de la présentation la physique du rebond (avec éventuellement un petit film montrant la différence de comportement des deux types de balles). En effet, il est difficile pour les non physiciens d'identifier les notions physiques en jeu dans le thème travaillé.

Compte-rendu de lecture d'articles sur le thème de la mesure

Rédaction : Isabelle Kermen

Les comptes-rendus de lecture avaient pour but d'explorer le thème de la mesure et plus précisément les recherches faites autour de la compréhension et de la pratique de la mesure dans l'enseignement.

Un premier compte-rendu à deux voix, par Nicolas Décamp et Isabelle Kermen, a été fait sur deux articles :

1) Réflexions sur l'articulation entre didactique et épistémologie dans le domaine des grandeurs et mesures dans l'enseignement primaire et secondaire, écrit par Valérie Munier et Dominique Passelaigue, article paru dans Tréma n°38, décembre 2012, p.107-147

Résumé de l'article :

Dans cet article, nous nous intéressons à la question de l'articulation entre didactique et épistémologie dans l'enseignement des grandeurs et de la mesure. Dans un premier temps, nous discutons le sens de ces concepts ainsi que les différentes postures épistémologiques avec lesquelles on peut les aborder. Nous analysons ensuite la façon dont sont introduites les grandeurs dans l'enseignement en ciblant quelques exemples de grandeurs (grandeurs physiques à l'école et grandeurs électriques au collège). Nous étudions également la place que les programmes accordent à la question du traitement de la mesure et des incertitudes de mesure avant de présenter une synthèse des recherches en didactique dans ce domaine. Enfin, nous nous intéressons aux conceptions des enseignants et nous discutons la question de la formation des enseignants.

2) Mesure et instrumentation dans l'enseignement scientifique, écrit par Nathalie Magneron et Valérie Munier, article paru dans Aster n°47, 2008, p.7-24

Cet article introduit le numéro de la revue Aster consacré à la mesure et à l'instrumentation dans l'enseignement.

La présentation a rendu compte des deux articles conjointement, car ils présentent des aspects et des paragraphes communs. Nous avons choisi de ne pas faire référence à la présentation des autres articles de la revue Aster.

Dans une première partie les auteures déclarent qu'il n'y a pas de consensus sur les définitions des **concepts de mesure et de grandeur**, qui sont souvent liées lorsqu'elles existent et s'attachent à montrer quels sont les présupposés épistémologiques sous-jacents aux différentes conceptions des deux concepts.

Une grandeur exprime « la propriété d'un phénomène d'un corps ou d'une substance que l'on peut exprimer quantitativement sous la forme d'un nombre et d'une référence ». Il faut établir une

relation d'équivalence entre objets puis une relation d'ordre entre ces classes pour définir une grandeur de base. Les auteures précisent qu'elles ne traitent pas des grandeurs dérivées, fonctions de grandeurs de base. La comparaison qualitative de deux objets selon un premier point de vue, par exemple la longueur, peut se faire de façon directe en superposant les deux objets, ou bien selon un second point de vue, sur une balance. Ces comparaisons instrumentées ou non, qui ne nécessitent pas l'introduction de nombre ou d'unité, donnent toujours le même résultat en un lieu donné. Cependant elles sont insuffisantes pour accéder à des grandeurs non comparables directement telles que l'aire, la force et il faut pouvoir tenir compte de réunions ou de fractionnement d'objet. La nécessité de la mesure intervient alors.

La mesure qui est l'opération de mesurage et le mesurage qui désigne le résultat de cette opération sont souvent désignés par le seul mot de mesure comme le fait le BIPM (bureau international des poids et mesures), mais sont distingués dans l'article. Le BIPM fournit la définition commune aux deux termes : « Ensemble d'opérations ayant pour but de déterminer une valeur d'une grandeur ».

La mesure nécessite de choisir un étalon et un instrument, la comparaison peut se faire directement avec l'étalon ou nécessiter une chaîne de mesurage. La comparaison directe implique des accords sur le choix de l'étalon, qui peuvent être révisables, l'établissement d'une chaîne d'étalonnage pour produire des copies de l'étalon, qui sont les instruments de mesure ayant des qualités définies par une norme (sensibilité, mobilité, résolution etc.). Les auteures relèvent qu'il y a souvent confusion entre grandeur et valeur de la grandeur, lorsqu'on écrit « la longueur est 30 cm ». En toute rigueur « la "mesure" est un nombre dépendant d'un étalon pris comme référence, qui permet d'élaborer une classe d'équivalence appelée "valeur" de la grandeur », les auteures spécifient également « la valeur d'une grandeur ne dépend pas de sa mesure mais elle peut être exprimée par cette mesure ».

À ce point de leur réflexion, elles introduisent leurs premières interrogations didactiques : quelle place faire à l'indication des unités dans un calcul ? Comment mesurer la longueur d'une ligne courbe avec un étalon rectiligne ? Comment effectuer la mesure de grandeurs continues lorsqu'on dispose de nombres entiers ? Quel est le lien entre l'étude des grandeurs et la construction des nombres (référence aux travaux de C. Chambris) ?

Selon le JCGM (joint committee for guides in metrology) il existe deux approches de la mesure. Dans l'approche traditionnelle, il s'agit de déterminer une estimation de la valeur aussi proche que possible de la « valeur vraie », les imperfections dans le mesurage sont les erreurs. Dans l'approche incertitude, l'objectif est de déterminer non pas une « valeur vraie » mais un intervalle raisonnable de valeurs ; les composantes de l'incertitude de mesure sont alors groupées en deux catégories, celles dites de type A qui sont évaluées par des méthodes statistiques, et celles dites de type B évaluées par d'autres méthodes. Les auteures de l'article s'inscrivent dans la deuxième approche.

Les postures épistémologiques sous-jacentes peuvent être rapidement résumées de la façon suivante :

Pour les **opérationnalistes**, on ne peut pas parler de grandeur sans mesure puisque la grandeur n'a pas d'existence hors la mesure. Pour les **réalistes**, les grandeurs existent en soi, indépendamment du

processus de mesurage. Ces positions épistémologiques influent sur la définition du concept de grandeur. La définition d'une grandeur en référence à la mesure et au mesurage correspond à une position opérationnaliste, tandis que les autres où la grandeur est vue comme indépendante de la mesure relèvent d'une posture réaliste, comme celle de Broglie pour qui la mesure est le « rapport de cette grandeur à une autre grandeur de même espèce choisie comme unité » (De Broglie, 1955).

Dans une seconde partie, les auteures abordent les grandeurs et mesures dans l'enseignement, soit la construction des grandeurs à l'école et au collège, puis le traitement des résultats de mesure et la notion d'incertitude.

Les grandeurs physiques à l'école élémentaire sont au programme de mathématiques en cycle 2 (grades 1 et 2) et cycle 3 (grade 3 à 5) sous la rubrique « grandeurs et mesure ». Au cycle 1 des comparaisons d'objets doivent permettre de faire des classements selon différents critères. Au cycle 2 la mesure apparaît, avec des situations où la complexité augmente progressivement : il est proposé de faire d'abord des comparaisons directes, puis indirectes en ayant recours à un objet intermédiaire ou à un instrument de report, pour finir par effectuer des mesurages en utilisant un étalon arbitraire puis conventionnel (la grandeur unité) et en associant un nombre à la grandeur (le nombre de « reports » nécessaire de la grandeur unité).

Il existe un consensus chez les chercheurs en didactique, il est préférable de faire conceptualiser la grandeur avant d'aborder la mesure, suivant en cela les préconisations des psychologues (Piaget & Inhelder, 1968). Une revue de littérature anglo-saxonne (Macdonald, 2011), montre un accord sur l'existence de différentes étapes dans la compréhension de la mesure, alors que leur ordre fait l'objet de discussion. Ces étapes sont les suivantes : vers 5 ans, apprendre à utiliser les mots qui représentent une « quantité » de certaines grandeurs, comparer directement deux objets et reconnaître l'égalité ou l'inégalité, être prêt à apprendre à mesurer en associant un nombre à la grandeur.

Dans sa thèse Passelaigue (2011) a montré que dans le cas de la construction du concept de masse et du sens de la mesure au CE1, les activités de comparaison aident à la conceptualisation, que le concept d'unité de mesure et son aspect arbitraire et conventionnel ont été construits par les élèves et enfin que la construction du sens de la mesure participe à celle du sens de la grandeur. Les auteures notent que des activités d'instrumentation telles que la construction d'un thermomètre ou d'un sablier sont proposées dans les programmes de l'école primaire mais pas au collège.

Dans les programmes de collège, les auteures s'intéressent aux grandeurs électriques. En classe de 4^{ème} les grandeurs intensité et tension en courant continu sont introduites. Chacune de ces grandeurs est présentée comme étant ce que mesure un instrument, (ampèremètre ou voltmètre). Afin de donner du sens, il est possible de recourir à des analogies, les explications microscopiques n'étant pas possibles car la structure de l'atome n'est pas au programme. Cela révèle une position épistémologique opérationnaliste. En classe de 3^{ème}, où le courant alternatif est abordé, la distinction entre tension continue et tension alternative s'effectue à partir de la forme du signal observé sur l'oscilloscope tandis que la tension efficace est présentée comme étant ce que mesure le voltmètre. Les grandeurs efficaces n'étant pas additives, cela génère ultérieurement des difficultés comme l'ont

montré différents travaux. Malgré l'utilisation d'un même instrument, le voltmètre, une prise de conscience doit s'effectuer, les mesures au voltmètre d'une tension alternative ou d'une tension continue ont des propriétés différentes. Au fil des programmes successifs, on assiste à une disparition de l'approche phénoménologique, et à la mise en place d'une simple définition opératoire de la relation entre valeur efficace (voltmètre) et valeur maximale (oscilloscope)⁷.

L'évolution constatée est inverse de celle observée pour l'école. Au collège les élèves utilisent de nouveaux instruments de mesure mais leur fonctionnement ne fait pas l'objet d'une exploitation et leur utilisation a souvent pour objectif essentiel une formalisation mathématique notamment par l'établissement de relations entre les grandeurs (loi d'Ohm en 4^{ème}). Les auteures citent une conclusion de Séré, l'aspect de plus en plus technologique de l'instrumentation réduit la possibilité de l'apprentissage du savoir mesurer. Elles considèrent qu'il est donc d'autant plus judicieux d'entreprendre cet apprentissage avec de jeunes élèves pour lesquels l'instrumentation reste modeste et transparente.

Dans une troisième partie, les auteures proposent un rapide survol de l'histoire de l'enseignement de la mesure en distinguant trois périodes :

- De 1907 à 1945 : règne de la valeur vraie et de l'erreur
- De 1945 à 1968 : ère de l'incertitude et de l'encadrement de la mesure
- Depuis 1970 la mesure est considérée comme une variable aléatoire, et le résultat doit être fourni avec un intervalle de confiance.

Elles déclarent qu'il n'existe pas d'enseignement spécifique sur la mesure même au niveau universitaire⁸ et que l'aspect probabiliste met du temps à diffuser dans l'enseignement français. Le passage dans l'enseignement du déductif à l'inductif interroge le rôle de la mesure, de même que dans une démarche d'investigation pour valider ou non une hypothèse à partir des résultats de mesure. Nous considérons que le « dogme du traitement statistique » de tout résultat de mesure n'est peut-être pas adapté à toutes les situations rencontrées dans l'enseignement.

Les programmes actuels recommandent de développer chez les collégiens un mode de pensée statistique qui recouvre deux aspects, la variabilité de la mesure et la dispersion naturelle des mesures. Au lycée, les élèves doivent estimer la précision des résultats et les écrire de façon adaptée. Un document à destination des professeurs présente la vision probabiliste développée par le BIPM et recommande d'utiliser l'outil informatique pour ne pas entrer dans le détail du fonctionnement mathématique. La position épistémologique adoptée est réaliste dans la mesure où il est dit que la

⁷

Voir l'article de Khantine-Langlois et Munier dans le BUP sur ce thème : Bull. Un. Phys., juin 2011, vol. 105, n° 935, p. 743-763

⁸

Elles n'évoquent pas les DUT mesures physiques par exemple, qui comportent des enseignements de métrologie.

valeur vraie de la mesure (qui correspondrait à un mesurage sans fluctuation) est inconnue et que l'on n'accède qu'à une valeur mesurée assortie d'une incertitude.

Dans le quatrième point, les auteures font une synthèse des résultats de recherche en didactique qui montrent que le passage d'une vision déterministe à une vision probabiliste est difficile, les élèves ou les étudiants ayant tendance à rechercher « la bonne valeur ». Séré (2001) dans le rapport du projet européen, *labwork in Science Education*, souligne la réticence des enseignants à aborder la notion d'incertitude de crainte que les élèves ne deviennent sceptiques vis-à-vis de l'expérience. Le projet européen conclut que beaucoup d'étudiants pensent qu'avec un bon appareil et suffisamment de soin, il est possible de faire une mesure parfaite.

Des études convergentes (Lubben et al., 1996; Buffler et al., 2001; Volkwyn et al., 2004) montrent que les raisonnements des étudiants se répartissent en trois catégories dites « raisonnement point », « raisonnement ensemble » et « raisonnement mixte ».

- Raisonnement point : il existe une « vraie » valeur (dans la littérature ou connue par l'enseignant), une mesure différente est fautive, donc c'est une erreur. On peut obtenir la vraie valeur en réduisant à zéro les erreurs dues au système de mesurage. Une seule mesure est considérée comme suffisante et le résultat est donné sous forme d'une valeur unique
- Raisonnement ensemble: toutes les mesures sont entachées d'incertitude, un grand nombre de données est nécessaire pour faire une étude statistique donnant une bonne approximation du mesurande et un intervalle de confiance. Le résultat est une valeur accompagnée d'un intervalle de confiance.
- Raisonnement mixte: l'étudiant a conscience que la valeur de référence n'est pas possible à atteindre car il existe toujours des erreurs de manipulation. Cependant cette valeur est la bonne et il cherche à obtenir une mesure la plus proche possible de la valeur de référence.

Les auteures rappellent quelques propositions pour l'enseignement émanant de Séré (2001), faire effectuer des traitements statistiques de valeurs, utiliser des séances de TP pour introduire des savoirs d'ordre épistémologiques, mais en indiquant aussi que la qualité de la mesure dépend de la question posée et donc de la décision à prendre. Au lycée ou à l'université, situer l'apprentissage de la mesure dans un cadre probabiliste⁹ et non fréquentiste¹⁰ est efficace. Elles indiquent qu'à l'école face à N mesures, les élèves envisagent les trois causes possibles d'incertitude (Munier et al., 2012), soit la grandeur à mesurer, l'instrument de mesure, l'expérimentateur. Elles appellent à la prudence quant à l'interprétation possible des résultats informatiques issus du traitement des données, car les outils mathématiques doivent avoir du sens.

⁹

Utilisation des probabilités pour traiter les données, l'ensemble des données est représenté sous forme de fonctions de densité de probabilité. En accord avec l'approche incertitude.

¹⁰

Description statistique d'un grand nombre de données, mais l'analyse utilise des procédures liées aux erreurs aléatoires et des outils mathématiques tels que la moyenne

Elles concluent cette partie en déclarant que l'introduction d'éléments de métrologie dans le cursus scolaire s'accompagne d'un travail sur certaines qualités des instruments et d'une explicitation autant que possible du principe de fonctionnement. Cependant la variabilité de la mesure et la prise en compte des incertitudes ont une place réduite dans les pratiques des enseignants. Il semble qu'il y ait un décalage entre prescriptions et pratiques, l'idée d'intervalle de confiance associé à une mesure étant jugé trop difficile et non abordé. Elles posent la question, les conceptions des enseignants font-elles obstacle à cette introduction?

Les conceptions des enseignants sur la mesure n'ont fait l'objet que de rares études. Elles terminent en rappelant que les auteurs de programme n'expriment pas de position épistémologique claire, et qu'elles sont différentes dans le primaire et le secondaire. Le besoin de formation épistémologique et didactique des enseignants est patent. Pour nous, il y a donc un champ de recherche à investir.

Lors de la séance suivante, Philippe Colin a rendu compte de la lecture de l'article de Maisch, Ney et Balacheff, Quelle est l'influence du contexte sur les raisonnements d'étudiants sur la mesure en physique ? paru en 2008 dans le numéro 47 de la revue ASTER (p.43-70)

Lors de la discussion qui a suivi entre les membres du groupe, il a été reconnu que ces comptes-rendus constituaient une première information sur un thème, sujet à de futures réflexions. Ce thème de réflexion est juste initié au sein du groupe et lorsque l'un ou l'autre des membres du groupe aura avancé dans la réflexion, un nouveau point pourra être effectué.

Using Ancient Chinese and Greek Astronomical Data: A Training Sequence in Elementary Astronomy for Pre-Service Primary School Teachers.

Apprendre les sciences avec des éléments d'histoire des sciences

Exposés de Nicolas Décamp, Cécile de Hosson et Anne-Amandine Decroix

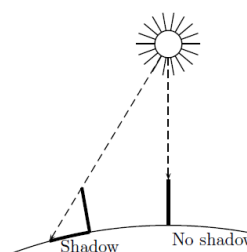
Prise de notes : Valentin Maron

Cet exposé s'est déroulé en deux temps, une première partie relatant la conception d'une séquence d'enseignement, une seconde la mise en œuvre de cette séquence.

“Using Ancient Chinese and Greek Astronomical Data: A Training Sequence in Elementary Astronomy for Pre-Service Primary School Teachers” Cécile de Hosson & Nicolas Décamp

Cécile et Nicolas ont présenté une séquence d'enseignement qu'ils ont conçue dans la suite de leur précédent article sur la détermination du rayon terrestre par la méthode d'Ératosthène. Il s'agit d'une recherche exploratoire en phase de test, dont Anne Amandine a réalisé une expérimentation avec des classes de Master « Professorat des écoles ».

La séquence est basée sur des éléments d'histoire des sciences, choisis et articulés dans le but de faire évoluer la représentation qu'ont les élèves de la lumière du soleil arrivant sur la Terre. Ce point avait été identifié comme une difficulté majeure dans la compréhension de la méthode d'Ératosthène. Pour expliquer la différence d'ombre de deux gnomons éloignés l'un de l'autre sur un même méridien, la modélisation spontanée des élèves est en effet plutôt celle d'un Soleil proche et de petite taille par rapport à la Terre, dont le faisceau de rayons est alors divergent.



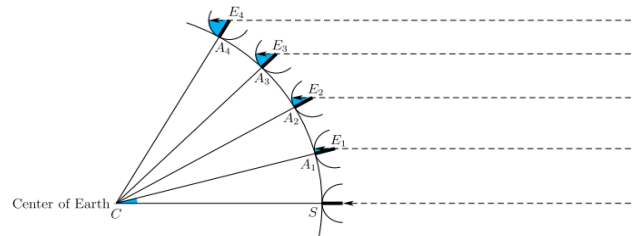
Le cas du modèle de Terre plate dans l'ancienne cosmologie chinoise a été choisi par sa proximité avec la représentation des élèves, avec également un soleil proche et un faisceau de lumière divergent, rendant compte de la différence d'ombre. L'interprétation de ce phénomène dans le cadre du modèle de Terre plate leur permet en particulier de calculer la distance Terre-Soleil. Le raisonnement consiste en premier lieu à constater la variation linéaire de la taille de l'ombre en fonction du déplacement. L'extrapolation (hypothétique) de cette linéarité sur de grandes distances permet ensuite de déterminer d'une part de la position de la verticale du Soleil, et d'autre part sa distance à la Terre, par proportionnalité.

Cette méthode est mise en perspective avec celle d'Ératosthène, qui à partir d'un même phénomène (les différences d'ombres en différents lieux), mais avec un autre modèle (celui d'une Terre sphérique), permet de déterminer une toute autre valeur : celle du rayon terrestre. Un point

remarquable est la correspondance de géométrie entre le modèle utilisé et l'instrument de mesure : le scaphé sphérique pour le modèle de Terre sphérique grec, et l'ombre perpendiculaire et plate du gnomon pour la Terre plate du modèle chinois.

La reconstruction didactique réalisée à partir de ces éléments historiques comporte 6 étapes :
1 – Exposition de la situation des différentes ombres et une première demande d'explication. La représentation en faisceau divergent est attendue.

2 – Présentation du cadre cosmologique chinois. À partir de la lecture d'un texte historique sur l'interprétation du phénomène, on demande aux étudiants de comprendre la méthode pour déterminer la distance Terre Soleil dans ce contexte.



3 – Réalisation expérimentale de la procédure décrite dans le texte avec du matériel simple (ombre de feuille de papier avec une source lumineuse ponctuelle). À partir de mesures locales de variations de taille de l'ombre, on attend la détermination de la position de la verticale de la source lumineuse ainsi que sa hauteur.

4 – Comparaison de la valeur obtenue dans le texte par cette méthode avec la valeur connue actuellement. Discussion de l'hypothèse sur la forme de la Terre.

5 – Introduction au scaphé et à l'information expérimentale suivante : l'angle de l'ombre mesurée dans le scaphé pour différentes positions du scaphé sur un même méridien, est proportionnel à la variation de l'angle que fait la position du scaphé relativement au centre de la Terre.

Ce fait n'est pas une observation historique, mais il s'agit d'un argument expérimental crucial pour amener le parallélisme des rayons lumineux à la surface de la Terre. Cette hypothèse étant nécessaire à la méthode d'Ératosthène.

6 – Recherche d'une méthode pour calculer le périmètre de la Terre à partir de l'observation initiale. (étape 1, les données expérimentales nécessaires sont fournies).

Parmi les retours positifs lors d'une première expérimentation, les plus représentés concernent la présence d'expériences faciles à réaliser et à comprendre (9/10). Une majorité également fait des commentaires positifs sur les aspects historiques, notamment la découverte du scaphé (7/10).

“Apprendre les sciences avec des éléments d'histoire des sciences”

Présentation de l'expérimentation de la séquence menée par Anne Amandine Decroix.

La séquence a été réalisée avec un public de master “Professorat des écoles”. Deux entretiens semi-directifs ont été conduits en fin du M1 (après le module de physique de M1), l'un avec une étudiante de profil littéraire, l'autre de profil scientifique. La séquence a été réalisée d'autre part en classe entière avec trois groupes en début de M2 (avant le module de physique de M2). Cela représente en

tout une population d'environ 50 étudiants, ayant tous suivi le module de physique du M1, mais de profils très variés.

La synthèse des observations et commentaires reprend la numérotation des étapes de la séquence décrite précédemment.

1 - Pour la compréhension de la situation initiale, une grande disparité est constatée chez les étudiants, avec la moitié ayant du mal à proposer un schéma. La représentation Terre sphérique - Soleil proche – faisceau divergent est effectivement obtenue majoritairement. Seul un quart des étudiants dessine spontanément des rayons parallèles.

2- La lecture du texte historique a présenté des difficultés de compréhension pour les étudiants, autant en entretien qu'en classe entière. Une analyse avec l'enseignante a été nécessaire, qui a permis de clarifier suffisamment le texte, de sorte que presque tous les étudiants ont été capables de réaliser le schéma correspondant avec les bonnes valeurs. Un fait remarquable est que la représentation de Terre plate et de rayons divergents n'a pas choqué ceux qui avaient spontanément représenté une Terre sphérique et des rayons parallèles. Un seul remet en question l'extrapolation à grande distance de la Terre plate pour pouvoir utiliser le théorème de Thalès. D'autre part, tous sauf une n'ont pas de réaction face à la valeur obtenue de la distance Terre Soleil. Et aucun ne pense à convertir cette valeur en km.

3 –La réalisation expérimentale de la méthode chinoise pour mesurer la hauteur d'une lampe a présenté un certain nombre de difficultés techniques pour les étudiants, en particulier pour les positions et l'alignement des gnomons. Mathématiquement, il leur a été aussi difficile de déterminer la position de « l'ombre 0 », connaissant la variation de l'ombre avec la distance. Les deux entretiens montrent une différence nette entre l'étudiante de profil scientifique et celle de profil littéraire, cette dernière ayant besoin de beaucoup plus de temps, n'étant pas familière avec les outils mathématiques.

4 –La comparaison de la distance Terre Soleil obtenue par la méthode chinoise avec celle connue actuellement ne provoque pas de réaction évidente pour tous les étudiants. Il est parfois nécessaire de les confronter à leur premier schéma où ils avaient représenté une Terre sphérique.

5 – A partir de la présentation du scaphé et de l'observation de l'évolution de l'ombre en fonction de la position, les étudiants n'arrivent pas à aboutir à la représentation de rayons parallèles. Ils dessinent encore un Soleil proche et des rayons divergents. Une information supplémentaire leur a alors été donnée pour les aider : « les rayons arrivent de façon à avoir des angles alternes-internes égaux ». Celle-ci a suffi pour qu'ils obtiennent des rayons parallèles entre eux, mais aucun n'a posé de question à propos de ce parallélisme.

6 – Enfin la dernière étape consistant à déterminer le rayon terrestre par la méthode d'Ératosthène n'a pas posé de problème.

Discussion

- Laurence pose la question de l'argument explicite pour conclure. Qu'est-ce qui fait basculer sur le modèle grec ? Qu'apprend-on par la comparaison de la distance Terre Soleil obtenue avec celle connue actuellement ? Elle interroge le lien de la séquence à la démarche d'investigation. Cécile rappelle qu'il n'y avait pas d'intention de démarche d'investigation initialement, bien qu'elle apparaisse dans la réalisation de la séquence faite par Anne Amandine.
- Nicolas remarque l'importance de la mesure dans cet exemple. Si on ne fait pas attention à l'incertitude, on peut prouver deux choses contradictoires dans deux modèles différents, sans pouvoir les discriminer. Le modèle chinois est d'ailleurs resté jusqu'au 14^e/15^e siècle.
- Isabelle propose d'utiliser la distinction dessins/schémas pour caractériser les productions très diverses des étudiants lors de la représentation de la situation des ombres différentes en deux lieux.
- Robin questionne l'utilisation des qualificatifs de « vraie » et de « fausse » pour la valeur de la distance Terre Soleil, relativement aux conceptions concernant la notion de mesure (discutée précédemment dans les comptes rendus sur les articles sur la mesure). Dans cette situation, la définition proposée comme faisant consensus pour la caractérisation de « fausse » est : « non conforme à la valeur de référence actuelle ».
- Cécile rappelle qu'il s'agit pour le moment d'une analyse préalable et pas encore de l'analyse a priori. Les hypothèses à tester ne sont pas encore explicites. En particulier, l'évolution linéaire en alfa (étape 5) est manifestement difficile et la transition demande à être retravaillée.
- Laurence insiste sur le fait que la difficulté majeure est de concevoir une source à l'infini pour obtenir des rayons parallèles.
- Enfin Patricia reprend l'idée que la remise en question des étudiants n'a finalement lieu que lorsqu'ils sont face à leurs conceptions premières.

Une analyse comparée d'enquêtes géologiques à l'école primaire

Exposé de Patricia Crépin

Prise de notes : Cécile de Hosson¹¹

Dans cette présentation, Patricia Crépin présente un travail réalisé avec Jérôme Santini (université de Nice) consistant en une double analyse d'un corpus de séances de géologie à l'école primaire. Cette analyse mobilise les cadres théoriques de l'apprentissage par problématisation (TAP) et de l'action conjointe en didactique (TACD). Il s'agit d'une approche comparatiste visant à réinterroger la transposition didactique de deux enquêtes scientifiques (l'origine des fossiles en CM1 / le mécanisme sismique en CM2), guidées par l'enseignant et menées par les élèves. Pour chaque cas, une première analyse didactique est conduite depuis la TAP (à la charge de Patricia Crépin) puis une deuxième depuis la TACD (à la charge de Jérôme Santini). L'analyse des transcriptions des séances de classe filmées et celle des documents produits par les élèves doivent permettre aux deux chercheurs de répondre aux questions de recherche suivantes :

- Quelles conditions didactiques permettent aux élèves de mener l'enquête ?
- Comment le professeur organise-t-il l'enquête des élèves ?

4- P1 : Alors maintenant, ce qu'on va faire, je vais demander à certains d'entre vous, j'ai tiré des transparents de votre travail et vous allez venir expliquer aux autres ce que vous avez fait. On va le lire ensemble et vous expliquez ce que vous avez fait. D'accord, Et après on en discute, c'est pas du tout pour se moquer, pour dire c'est juste, c'est faux. C'est pas un problème... et on verra après si quand tout le monde aura travaillé, on aura terminé sur les fossiles on verra si c'était plus ou moins juste ou plus ou moins faux. Hugo, viens ici. Merci XXX Alors la première à qui je vais demander de venir, est Clara.

[...]

37- P1 : A ton avis ? Clara comment est-ce qu'ils ont bien pu faire pour les fabriquer ?

38- E (Clara) : Ben je sais pas. XXX

39- P1 : Chut ! C'est Alice qu'a la parole. Alice !

40- E (Alice) : Ils auraient pu tailler la pierre ! ?

41- P1 : Ils auraient pu tailler la pierre ! Qu'est-ce que vous en pensez ? Mathieu ?

42- E (Mathieu) : Mais aussi ils peuvent pas tailler la pierre parce que des fois c'est un gros heu beaucoup des fois on voit que ça ressort et des fois c'est incrusté dans la pierre. Donc c'est impossible qu'ils le font. Et on a retrouvé des animaux qui vivaient à la préhistoire et ils étaient sur des fossiles...

43- P1 : Vincent ?

44- E (Vincent) : Mais heu mais comment ils ont pu disparaître ... les fossiles, ils peuvent pas les dinosaures, ils peuvent pas disparaître comme ça d'un coup ? !

45- P1 : Alors ? Par rapport à ça ? ... Amélie qu'est-ce que t'en pense toi ? ... T'en penses rien ?

46- E (Hugo) : Mais heu ...les fossiles ça peut pas être les hommes préhistoriques qui les ont taillés, c'est les animaux qui ...au bout du temps ils ont été dans de la boue, ou de la terre, et pis à force elle a séché la terre et puis c'est devenu de la pierre et puis ils ont dû faire on sait pas comment mais ils ont, ils sont ... y a quelque chose qui fait qu'ils se sont incrustés dans la pierre. Et puis y a la trace dans la pierre...

47- P1 : Elle nous parle de boue aussi. De la boue et de la terre. Emma ?

Figure 1 : Extrait de séance (séance « origine des fossiles en CM1 »)

¹¹

Ce compte-rendu a été réalisé en appui avec la communication présentée par P. Crépin et J. Santini au colloque de l'ARCD (Marseille, 2013).

Patricia Crépin présente deux extraits de séances de classe (l'un portant sur l'enquête relative à l'origine des fossiles, l'autre illustrant l'enquête portant sur le mécanisme des séismes) et montre la façon dont s'opérationnalise la mise en action des deux cadres d'analyse retenus. Ce compte-rendu présente le résultat de la double analyse portant sur l'enquête en CM1 (l'origine des fossiles). Cette analyse comparative porte sur l'extrait de séance (voir figure 1).

La TAP repose pour partie en la définition d'un espace des contraintes (figure 2) qui représente la dynamique d'argumentation à l'œuvre dans l'extrait de séance. C'est un moment de classe privilégié où la confrontation de conceptions initiales artificialistes et naturalistes permet l'émergence du problème de l'origine des fossiles, en réseau avec d'autres problèmes tels leur formation en synergie ou non avec la pierre encaissante, par croissance ou non, la cause catastrophiste et ses conséquences et enfin la taille relative des animaux et fossiles résultants.

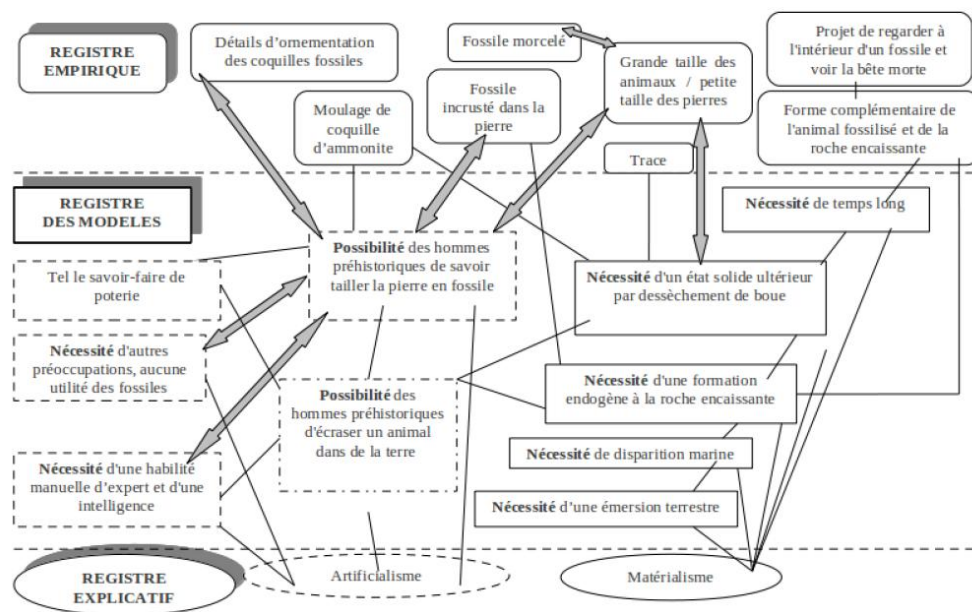


Figure 2 : Espace de contraintes d'un extrait de débat en CM 1 : Les fossiles ont-ils été fabriqués par les hommes préhistoriques ?

Par rapport à la construction d'un savoir scientifique apodictique, un registre empirique est mis en tension avec deux logiques explicatives la sculpture artificielle ou le modelage naturel : l'ornementation des coquilles fossiles, l'emboîtement entre la roche et la coquille, l'emprisonnement du fossile dans sa gangue rocheuse ou son morcellement. De plus l'expertise nécessaire et l'utilité des fossiles sont remises en cause pour les hommes préhistoriques en regard des poteries qu'ils ont pu fabriquer. Ainsi cinq contre-arguments font tendre vers l'improbable possibilité de taille des fossiles. La proposition initiale d'élève devient au fil de la discussion une impossibilité, contrainte par réfutation. L'alternance entre des objections et des possibles fait émerger peu à peu les nécessités convergentes vers une origine naturelle : un temps long de millions d'années, condition nécessaire mais insuffisante ; un autre état de la roche actuelle dure pour que le fossile puisse prendre forme ; une formation simultanée et endogène de l'animal fossilisé avec le sédiment originel.

La TACD appréhende l'étude du didactique depuis le primat de l'action du professeur et de l'élève avec les savoirs. Pour cela, le concept de jeu pour modéliser l'action didactique, à trois niveaux différents, didactique, d'apprentissage et épistémique. Le tableau 1 résume de manière synoptique l'analyse de la séance dans le cadre de la TACD. Ce tableau montre une succession de neuf jeux d'apprentissage ; sept d'entre eux ont pour enjeu un élément de débat sur les fossiles. Leur déroulement fait émerger deux jeux épistémiques d'argumentation, un sur l'origine des fossiles et un sur le processus de fossilisation. La lecture de la troisième colonne « objets du milieu » fait apparaître un grand nombre d'objets introduits par les élèves lors du jeu d'apprentissage 2.

Jeu d'apprentissage (faire faire aux élèves...)	Temps	Objets du milieu matériels (M) et symboliques (S) introduits par :			Jeu épistémique (se rendre capable de...)
		P	E	P&E	
1- lire les affiches produites lors de la séance précédente	10' environ	1S	0	1M	confronter des hypothèses sur les fossiles
2- débattre de la fabrication de fossiles par les hommes préhistoriques (<i>extrait 1</i>)	4'-16' (4P-116P)	0	13S	1M	argumenter l'origine des fossiles
3- débattre de la formation des fossiles par croissance minérale	16'-24' (117E-253E)	0	6S	1M	argumenter le processus de fossilisation
4- débattre de la correspondance entre fossiles et animaux morts	24'-31' (254P-354P)	1S	6S	1M	argumenter l'origine des fossiles
5- débattre de la fossilisation préférentielle des parties dures	31'-34' (355P-396P)	0	0	1M + 1S	argumenter le processus de fossilisation
6- débattre de la durée de fossilisation	34'-38' (397E-458E)	0	2S	1M + 1S	
7- débattre de la croissance de l'animal dans la roche	38'-43' (459P-517E)	0	5S	1M	
8- débattre de l'origine de la roche lors de la fossilisation	43'-48' (518E-558P)	0	5S	1M	
9- retrouver les idées du débat	48'-60' (?)	0	0	1M	faire le compte-rendu d'un débat scientifique

Tableau 1 : Tableau synoptique de l'analyse de la séance sur les fossiles en CM1

De manière plus fine, au début de cet extrait, P1 définit le jeu d'apprentissage du débat comme un débat d'idées (4P). Pour initier ce jeu, P1 demande à Clara de présenter sa production. C'est elle qui va initier l'artificialisme comme premier enjeu de débat en expliquant la formation des fossiles par leur fabrication par des hommes préhistoriques. P1 joue ici en seconde main en octroyant à Clara la responsabilité de la proposition qui va être débattue à plusieurs reprises. P1 agit ainsi dans le sens d'une dévolution du problème de l'origine des fossiles aux élèves. Cet extrait exemplifie un élément saillant de notre tableau synoptique 1, le nombre d'objets du milieu introduits par les élèves : la taille de la pierre [40E], des fossiles à l'intérieur de roches [42E], la disparition des dinosaures [44E], l'enfouissement des animaux et la terre qui sèche devenant de pierre [46E]. Contrairement aux objets matériels, telles les affiches, ces éléments de contenus propositionnels sont des objets symboliques. Remarquons également une forte réticence didactique de P1 qui ne sort de sa réserve

ni face à un énoncé erroné [40E-41P1], ni face à un énoncé plus correct [46E-47P1]. Toutefois P1 donne une certaine résonance à l'énoncé erroné en renvoyant la proposition au groupe ce qu'il ne fait pas avec l'autre énoncé.

Cette étude croisée a favorisé la caractérisation d'éléments didactiques de pédagogies effectives d'enquête sur des savoirs en jeu. Elle a permis également d'apporter quelques éléments de réponse aux questions de recherche énoncées en début de présentation :

1. Quelles conditions didactiques permettent aux élèves de mener l'enquête ?

La dévolution du problème par transformation du questionnement initial explicité par les élèves semble une condition favorable ; de même que les nombreuses mises en tension entre des éléments du registre empirique et du registre explicatif proposés par les élèves. Par exemple, la pluralité de contre-arguments formulés par les élèves rend impossible la thèse artificialiste.

2. Comment le professeur organise-t-il l'enquête des élèves ?

Il sollicite les élèves pour alimenter le milieu ; adopte une posture de sous-énonciation didactique et met en place des micro-institutionnalisations au fur et à mesure de l'avancée de l'enquête.

Cette analyse plurielle permet de mettre en avant deux implications : premièrement, elle démontre que la démarche d'enquête est réalisable en classe dès l'école primaire, si l'enseignant arrive à tenir le paradoxe didactique suivant, à la fois libérer la parole, la pensée et l'initiative de recherche des élèves, et contrôler les enjeux du savoir. Deuxièmement, elle illustre que l'enseignement de la géologie est un bon enjeu de savoir pour sortir du paradigme empirico-inductiviste de la démarche par résolution de problème. La modélisation et la preuve historique ont tout autant leur place dans une démarche en quête de savoirs.

Apports de l'étude conjointe des systèmes dynamiques libres et commandés dans la compréhension des concepts d'équilibre et de stabilité

Exposé de Michaël Canu

Prise de notes : Isabelle Kermen

Cette étude concerne les cours d'automatique dans l'enseignement supérieur et plus particulièrement les élèves ingénieurs. La thèse de Michaël est co-dirigée par Cécile de Hosson et Maurizio Duque.

Dans l'encyclopédie de Diderot et d'Alembert, on trouve une définition de l'équilibre (basée sur la balance), que l'on pourrait attribuer à des élèves actuels, à savoir, l'équilibre correspond à deux forces égales et opposées.

Exploration des concepts actuels

La théorie générale des systèmes (L. von Bertalanffy, 1969) dont les idées ont été émises dans les années 1930, propose une vision holistique des systèmes s'appliquant à différentes disciplines telles que la biologie, les neurosciences, la psychologie, la sociologie, l'économie politique, l'informatique, s'opposant aux visions microscopiques qui existaient alors dans ces disciplines. Elle propose de chercher à déterminer les liens entre les différentes parties d'un système, ce qui en facilite la compréhension et la commande (Cybernétique, N. Wiener, 1948).

La cybernétique est une réflexion mathématique sur la façon dont les systèmes se comportent et dont on peut les modéliser. C'est la science qui s'occupe du pilotage, de la commande des systèmes et dont l'une des branches dédiée à la technique est l'automatique.

Ces différents domaines ont une influence sur la définition des concepts.

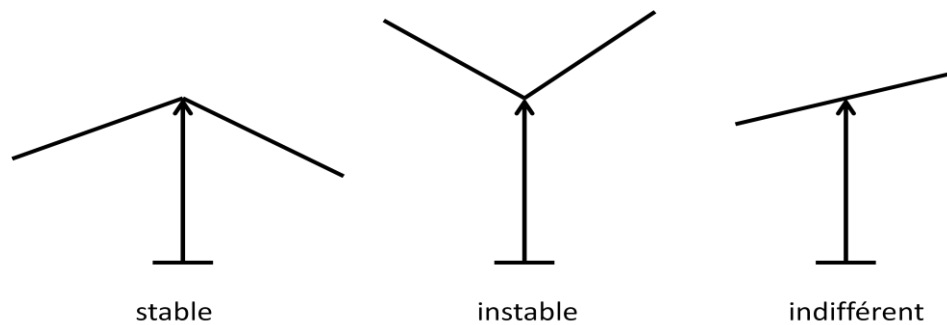
Équilibre : point fixe pour des équations différentielles qui décrivent le comportement du système, état stationnaire. (Cauchy, 1820 ; Lipschitz)

En mécanique : la somme des efforts extérieurs est nulle (forces et moments)

Stabilité : caractéristique d'un état d'équilibre du système qui décrit son comportement face à une perturbation.

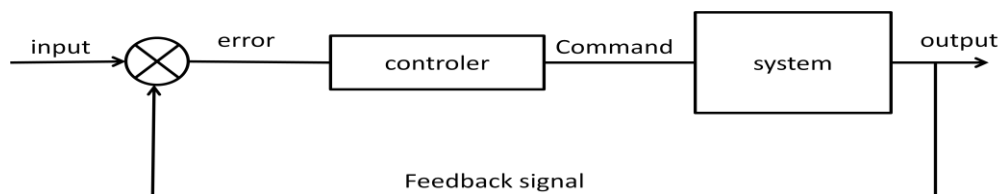
En mécanique un système peut être stable (une perturbation extérieure modifie son « état d'équilibre » de manière transitoire puis il revient dans celui-ci), instable (une perturbation extérieure modifie son « état d'équilibre » et il continue de s'en écarter même après la disparition de la perturbation) ou indifférent (le système reste là où la perturbation l'a mis)

Exemple



En automatique un système peut être stable, instable, instable ou oscillant.

En général, les systèmes étudiés ne sont plus libres, ils sont commandés ou pilotés (avec une boucle de rétroaction comme ci-dessous).



Éléments historiques

Dès l'Égypte ancienne, vers -3000, on trouve une utilisation de balance à bras de longueurs égales.

À l'époque grecque hellénistique, -321, Archimède énonce la loi des leviers (cependant déjà prouvée par Aristote) : l'équilibre horizontal est réalisé pour des bras de leviers égaux et des masses égales ou lorsque les leviers ne sont pas égaux pour des masses différentes (avec la plus grosse masse du côté le plus court). On trouve actuellement, dans beaucoup de livres et de séquences de classe, que l'équilibre est réalisé quand les leviers sont égaux et les masses égales ou lorsque les leviers ne sont pas égaux pour des masses différentes mais sans discuter l'horizontalité des bras de levier (or, selon la balance utilisée, l'équilibre peut être non horizontal).

À la renaissance, une controverse épistolaire a lieu entre Benedetti et Del Monte à propos de la balance : à quelles conditions revient-elle dans sa position horizontale après une modification temporaire de son équilibre ? Il est fait usage de balances déformées ou tordues, pour déterminer ces conditions et les raisonnements utilisés font appel aux différentes théories sur la « force de pesanteur » disponibles à cette époque (dépendante de la distance au centre de la Terre ou non, proportionnelle à l'éloignement ou au rapprochement de l'objet à la Terre).

À l'époque moderne, Poincaré au XIX^e siècle introduit la notion de moment d'une force.

Enquêtes

Quelques réflexions sur l'utilisation dans le langage courant.

À l'école primaire, en cycle 2 et 3, une étude des leviers et balance est proposée. Dans l'enseignement ultérieur, collège, lycée, aucun dispositif qui se rattache à ce thème n'est étudié et les notions en jeu ne sont pas comprises. C'est en EPS que le mot équilibre est le plus employé dans les programmes du collège, et ce, à propos de la posture du corps. Cela présente une difficulté, car le corps est un système piloté au sens de l'automatique et non pas un système libre.

Une enquête effectuée en 2011 par entretiens et questionnaires, a montré que les étudiants de L3 (école d'ingénieur) interrogés en France n'éprouvent pas de difficulté au niveau des savoirs procéduraux ou déclaratifs à propos des équilibres non statiques.

Le cadre théorique des études menées se réfère aux deux mondes de Tiberghien et aux « p-prim » de di Sessa (se réclamant du courant du « Conceptual Change » de Posner).

Une enquête par questionnaire en France et en Colombie, en 2012, toujours auprès d'étudiants de L3 montre des raisonnements inappropriés. À la question « quel mot de la vie quotidienne représente pour vous la notion d'équilibre ? » beaucoup répondent « balance » alors qu'elle n'est pas utilisée dans la vie quotidienne contemporaine. Ce terme proviendrait donc de l'enseignement reçu à l'école.

Actuellement, un questionnaire en ligne comportant des photos des différentes situations sur lesquelles les étudiants sont interrogés est en cours de passation. [Le questionnaire en ligne est montré via Internet]. Les questions portent notamment sur les aspects suivants :

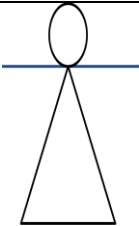
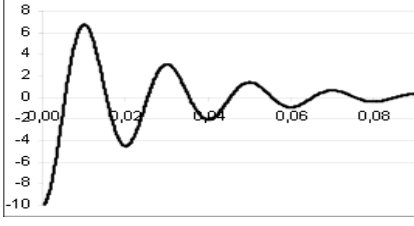
- 1) Une barre est maintenue dans une certaine position. Si on la lâche, l'équilibre est-il conservé ou pas ? Le raisonnement attendu fait appel à des critères mécaniques (*a priori*).
- 2) La situation initiale figure à côté de la situation finale, résultat d'une perturbation appliquée au système. Cela suscite-t-il un étonnement ? Comment expliquer ?
- 3) On considère trois positions, horizontale, inclinée, verticale de différents systèmes. Il s'agit de déterminer à partir de deux photos l'une de la situation initiale et l'autre de la situation après lâcher si la situation initiale est une situation d'équilibre. Le raisonnement attendu est de type évolutionniste (*a posteriori*).

Quel(s) lien(s) peut-on établir entre mécanique, chimie, thermique...et automatique ?

Il n'y a pas de convergence, pas de dégagement des principes auxquels ces différents systèmes obéissent :

- En chimie, une situation d'équilibre est un système « autorégulé » en équilibre stable, et l'attention n'est jamais portée sur cet aspect autorégulé¹².
- En EPS, ce sont des systèmes commandés (en équilibre) stabilisés que l'on étudie.
- En mécanique, on évoque des systèmes libres « prototypes » en équilibre stable ou instable, par exemple le pendule.
- Dans la vie quotidienne, les systèmes (libres) en équilibre indifférent sont les plus courants : sont-ils pris en considération ? Par exemple un livre posé sur une table.
- En thermique, les systèmes libres ou commandés en équilibre stable.
- En automatique les systèmes commandés étudiés sont : stables, instables, astatiques ou oscillants, dans une approche E/S ou algébrique. Quelle(s) conception(s) de l'équilibre cela génère-t-il ?
- Autorégulé dans un système type prédateur/proie.

L'étude des systèmes commandés mène tout de suite avec la transformation de Laplace à un calcul de racine d'un polynôme (de la fonction de transfert du système) que les élèves maîtrisent majoritairement. Mais ils ne relient bien souvent pas cela à quelque chose qui correspond au fonctionnement (comportement) du système.

Conceptions induites	Exemple qui contredit la conception
Équilibre = stable indéfiniment au cours du temps	
Stable = immobile	Une fusée au décollage est un système commandé, dont le centre de masse est au-dessus ...
Transitoire = instable	 convergence donc stable. La stabilité est intrinsèque au système pour un système linéaire

Sur les aspects suivants, Michaël souligne que rien n'a été fait :

¹²

Commentaire au moment de la rédaction de la brochure : Il s'agit de systèmes fermés. Sinon un état stationnaire n'est pas auto-régulé dans la mesure où il dépend des flux entrant et sortant qui peuvent varier et ne sont pas commandés par le système a priori.

Quel est le rôle des conditions initiales ? Bien souvent elles sont oubliées (non discutées).

Quel est le rôle du rapport E/S (entrée sortie) ? Bien souvent le système avant la perturbation n'est pas pris en compte (cf. conditions initiales).

Quel est le rôle des représentations graphiques ? Elles induisent des difficultés (voir tableau ci-dessus).

Michaël formule l'hypothèse que les élèves ingénieurs conçoivent le mouvement (une évolution) comme le contraire de la stabilité. [à ce moment-là Patricia signale que cela lui évoque la pensée par couple, Astolfi. La référence sera fournie par Laurence après le séminaire]

Piste à explorer : systèmes libres, commandés décrits par le même formalisme mais leurs comportements sont différents. Ce qu'on attend d'eux est rarement questionné. Quand et comment agir ? Au niveau pré-ingénieur ou ingénieur ?

Pour la suite :

- Une ingénierie didactique ?
- Favoriser un raisonnement *a posteriori*, « évolutionniste »
- Quasi experimental design ?

Discussion

Pour Robin cela évoque la circulation du sang, un schéma avec une boucle de type cybernétique.

Nicolas : est-ce que les définitions d'équilibre en mécanique et en automatique coïncident ?

Laurence : il s'agit d'équilibre par rapport à un ensemble de variable. On ne peut pas ne pas le dire.

Michaël dit qu'effectivement ce n'est pas fait. Quand un système pilote la vitesse d'un ascenseur, toutes les autres variables sont évacuées.

Référence de la pensée par couple : Astolfi JP & Peterfalvi B (1993) Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales ASTER, 16, 103-141.

Les conceptions des végétaux chez des étudiants de master 2, futurs professeurs de Sciences de la Vie et de la Terre.

Exposé de Robin Bosdeveix

Prise de notes : Patricia Crépin

L'exposé de Robin reprend et élargit la proposition de communication qu'il a envoyée au colloque AREF 2013 qui se tient au mois d'août à Montpellier, dont les co-auteurs sont Leslie Regad et Yann Lhoste (co-directeur de la thèse de Robin).

Résumé de la proposition de communication

Les végétaux ont été définis historiquement comme un règne regroupant des organismes immobiles et insensibles par opposition aux animaux. Cette conception historique continue d'alimenter largement le sens commun. Le développement de la biologie a entraîné d'importantes rectifications du concept de végétal. Dans l'actuelle classification phylogénétique, les végétaux ne constituent plus un groupe systématique valide (Selosse, 2008), puisqu'ils ne partagent pas un même ancêtre commun exclusif. Cependant ils constituent un ensemble fonctionnel réunissant les organismes se nourrissant par photosynthèse, capables de produire leur propre matière organique à partir de matière minérale et d'énergie lumineuse. Ce mode de nutrition leur confère un rôle essentiel dans les écosystèmes, celui de producteurs primaires à la base des réseaux trophiques. Selon le problème scientifique étudié, le concept de végétal n'est pas toujours utilisé avec la même signification. Comprendre les différents sens utilisés pour un même concept implique de percevoir la nature des différents problèmes biologiques que cherche à résoudre chaque champ disciplinaire de la biologie (biologie cellulaire, physiologie, écologie, évolution...). En effet, il n'y a pas de savoirs en dehors des problèmes avec lesquels ils entretiennent une relation dynamique (Bachelard, 1938). Il n'est pas courant qu'un concept scientifique, pourtant aussi commun que celui de végétal, ait été autant rectifié au cours de l'histoire et continue d'être utilisé avec des sens pourtant très différents.

Nous cherchons à caractériser les conceptions des végétaux que mobilisent des étudiants en fin de formation universitaire (M2) et qui auront à enseigner ces différents aspects de biologie végétale du collège et au lycée. À l'université, les végétaux sont étudiés dans de multiples unités d'enseignement de manière morcelée et souvent cloisonnée. Certains enseignements sont centrés sur les seules plantes terrestres (voire même uniquement les plantes à fleurs), comme l'anatomie et la physiologie végétale notamment, alors que d'autres enseignements sont axés sur une perspective de biodiversité et d'évolution. Nous cherchons à évaluer comment les étudiants intègrent ces différentes dimensions du concept de végétal, quels types de problèmes ils construisent (Orange, 2002) et quelles relations peuvent exister entre la construction de ces problèmes et certains obstacles (Peterfalvi, 2001).

Nous avons réalisé une étude didactique préliminaire sur un échantillon de 29 étudiants (Bosdeveix, 2012 ; Bosdeveix & Lhoste, 2012). Cette nouvelle recherche a une portée beaucoup plus large. Les

300 questionnaires reçus (issus de 28 masters) permettent de conduire une analyse quantitative via le logiciel R. Le questionnaire a été élaboré sur la base des résultats de la recherche exploratoire. Une première question ouverte concerne la définition des végétaux. Une deuxième question demande aux étudiants de se positionner par rapport à l'appartenance aux végétaux de 13 espèces, en raisonnant notamment à partir de caractères fournis. Pour chaque espèce illustrée par une photographie, il est indiqué le nom ainsi que plusieurs caractères cellulaires ou physiologiques non visibles, permettant aux étudiants de raisonner en utilisant notamment les informations fournies. Deux dernières questions concernent le rôle des végétaux dans les écosystèmes et la validité des végétaux dans la classification phylogénétique. L'objectif est de comparer ces réponses à la définition initialement proposée. La recherche exploratoire avait permis de caractériser les obstacles à la problématisation dans un registre évolutif, que nous avons donc décidé de cibler spécifiquement dans la 4e question.

Les résultats montrent qu'un tiers des étudiants ne répondent pas de manière cohérente à l'ensemble des questions, témoignant de la complexité du concept de végétal, même après cinq années de formation universitaire. Les deux autres tiers renvoient à cinq types de conceptions différentes que nous avons caractérisées.

Conception historique (tous les êtres vivants non animaux, incluant les champignons) mettant en jeu un raisonnement négatif par défaut (absence de mobilité, de sensibilité) et de dévalorisation par rapport aux animaux

Conception fonctionnelle (tous les organismes photosynthétiques) mettant en jeu un problème de nutrition

Conception mixte mêlant un problème de structure cellulaire et un problème fonctionnel de nutrition (uniquement les eucaryotes photosynthétiques)

Conception type Whittaker (du nom d'un biologiste ayant proposé en 1969 une classification dans laquelle les végétaux (*Plantae*) ont été réduits aux eucaryotes photosynthétiques pluricellulaires, excluant alors les algues unicellulaires), qui met en avant un raisonnement centré sur les macro-organismes pluricellulaires (conception que l'on pourrait qualifier de macrocentrée)

Conception « lignée verte » (réduisant les végétaux aux eucaryotes photosynthétiques ayant des plastides à deux membranes, résultant d'une endosymbiose primaire) mettant en jeu un problème évolutif.

Les réponses relatives à un végétal non chlorophyllien (l'orobanche) mettent en évidence la difficulté des étudiants à articuler une conception fonctionnelle des végétaux et un problème évolutif, celui de la régression de la photosynthèse. De nombreuses réponses mobilisent une argumentation essentialiste (Lecointre, 2009), obstacle pour penser l'évolution et la classification dans un cadre phylogénétique.

Ces résultats pourraient contribuer à faire des propositions concernant la formation des futurs enseignants, notamment concernant des moments de structuration du concept de végétal.

Références :

Bosdeveix, R. (2012). The concept of plant in the training of life and earth sciences teachers: Didactical, epistemological and historical approaches. (*ESERA summer school, Bad Honnef, Germany, July 22-27 2012*).

Bosdeveix, R., & Lhoste, Y. (2012). Problématisation relative à la classification et l'évolution des végétaux chez des étudiants de master 2 se destinant à l'enseignement des SVT. In *Actes des septièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST, Bordeaux, les 14, 15 et 16 mars 2012* (pp. 37-45). Retrieved from http://ardist.aix-mrs.iufm.fr/?page_id=52

Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique : Contribution à une psychanalyse de la connaissance*. Paris: J. Vrin.

Lecointre, G. (2009). *Guide critique de l'évolution*. Paris: Belin.

Orange, C. (2002). Apprentissages scientifiques et problématisation. *Les Sciences De L'éducation, Pour L'ère Nouvelle*, 35(1), 25-42

Peterfalvi, B. (2001). *Obstacles et situations didactiques en sciences : processus intellectuels et confrontations. L'exemple des transformations de la matière*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation non publiée, université de Rouen.

Selosse. (2008). *Que sont devenus animaux, végétaux et champignons ? In Peut-on classer le vivant? Linné et la systématique aujourd'hui*. Prat, Raynal-Roques & Roguenant (dir.). (p. 225-233). Paris: Belin.

Intervention de Robin

L'intérêt et la discussion principale ont porté essentiellement sur les catégorisations des conceptions liées au végétal. Les notions de conception, misconception, et l'obstacle essentialiste ont été débattus. Des conceptions autres que celles historiques peuvent être envisagées car la référence trop calquée à l'histoire des sciences peut masquer des logiques spécifiques aux étudiants. La suite du rapport est gérée sur les questions (Q) posées à Robin (R) et ses réponses.

Les Questions sur les catégorisations

Q : Principe de parcimonie est-il respecté quand la photosynthèse apparaît dans 4 lignées différentes de l'arbre phylogénétique des eucaryotes ?

R : ensemble de critères pris en compte (plastides, nombre de membranes, pigments) ; Ce n'est pas une innovation évolutive mais une convergence démontrant un groupe paraphylétique

Q : y a-t-il controverses pour exclure les algues brunes de la lignée verte ?

R : non un critère est déterminant pour les évolutionnistes, les plastides des algues brunes ont 4 membranes expliquées par l'hypothèse d'une endosymbiose

Q : le terme de conception « mixte » porte à ambiguïté car présenté juste après les conceptions historique et fonctionnel alors que la mixité porte sur fonction et structure. La terminologie des catégories « fonctionnaliste » « structuraliste » « mixte », quel lien avec la problématisation ?

Q : Y a-t-il d'autres catégories trouvées que celles a priori ? Pourrait-on repérer des pics dans les histogrammes d'analyse ? Des catégories nouvelles à envisager ? Conception émergente avec une intrusion dans tes grilles savantes de référence ?

Q : le terme conception est à discuter car il est ici considéré comme un ensemble de réponses totalement explicite or en didactique une conception est une rationalité non explicitée par le sujet. cf : misconceptions ; définition multicritère ; construction ; réseau conceptuel ; ex des mathématiques et leurs conceptions du cercle ; conception non limitée aux obstacles donc à un critère négatif ; analogue au registre explicatif ou cadre épistémique, les tendances de raisonnements ?

Questions portant sur l'obstacle essentialiste

Q : l'interprétation d'une conception essentialiste pour une réponse concernant l'orobanche par l'étudiant est discutée car il a proposé un critère « plantes à fleurs » sans nommer un groupe de la taxonomie ; donc un argument a bien été avancé

R : définition à clarifier par rapport à la référence de Lecointre 2009 p27

Q : ce problème de sémantique lié aux différentes significations du végétal, est-ce un problème de mot ou de concept ? En anglais le mot est plante, tu as parlé de phyte, bionte ? Concept flottant et renvoyé par la société d'une polysémie

R : pas de consensus sur les mots dans les ouvrages universitaires

Questions diverses de méthodologie

Q : les étudiants ont-ils tous vu les différentes approches dans l'enseignement ?

R : quand on étudie la diversité microbienne ou les questions d'évolution, le problème se pose. Au lycée des exemples terrestres seulement ; en licence quelques exemples étudiés sur les angiospermes avec problème implicite de généralisation ; dans les ouvrages universitaires conception mixte « fonction-structure » majoritaire sauf dans les ouvrages en écologie ou sur l'évolution

Q : la passation du questionnaire se fait-elle en ligne ?

Q inverser l'ordre des espèces vivantes proposées aurait-elle une influence ?

Questions diverses

Q : l'ancêtre commun est-ce un portrait robot ou existe-t-il vraiment ?

Q : le vert est-il naturel ? Sous quel éclairage ?