



HAL
open science

Explicitation croisée des démarches d'investigation en sciences : un levier pour donner du sens et favoriser le dialogue entre disciplines scolaires

Sylvie Beaufort, Claude Caussidier, Bénédicte Hausberger, Thomas Hausberger, Grégoire Molinatti, Jean-Pierre Robert

► To cite this version:

Sylvie Beaufort, Claude Caussidier, Bénédicte Hausberger, Thomas Hausberger, Grégoire Molinatti, et al.. Explicitation croisée des démarches d'investigation en sciences : un levier pour donner du sens et favoriser le dialogue entre disciplines scolaires. Repères IREM, 2014, 94, pp.75-103. hal-00879218

HAL Id: hal-00879218

<https://hal.science/hal-00879218v1>

Submitted on 3 Dec 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EXPLICITATION CROISEE DES DEMARCHES D'INVESTIGATION EN SCIENCES : un levier pour donner du sens et favoriser le dialogue entre disciplines scolaires

Équipe Enseignement Scientifique, IREM de Montpellier¹

Résumé : A partir d'une modélisation du déroulement d'une démarche d'investigation et de l'identification des principales catégories épistémologiques mobilisées dans chaque discipline scientifique (mathématiques, physique et SVT), l'équipe IREM « Enseignement Scientifique » de Montpellier a conçu une activité destinée à amener les élèves à expliciter par eux-mêmes la nature des démarches qu'ils mettent en œuvre en cours de sciences. Cette expérimentation nous permet d'une part de renseigner les conceptions relatives aux démarches d'investigation. D'autre part, nous montrons que l'activité de métacognition, encore peu fréquente en contexte scolaire, rencontre une bonne adhésion de la part des élèves. Enfin, ce travail permet aux enseignants de développer un regard réflexif sur leur propre discipline en confrontation avec les champs scientifiques voisins, favorisant ainsi le dialogue entre disciplines scolaires.

Mots clefs : langage scientifique, démarches d'investigation, levier méta, interdisciplinarité

I- Introduction

L'équipe IREM « Enseignement Scientifique » poursuit depuis quelques années un travail sur la mise en œuvre du programme de l'enseignement d'exploration « Méthodes et Pratiques Scientifiques » (MPS) en classe de seconde ([B.O. spécial du 29 avril 2010](#)). La démarche d'investigation et l'interdisciplinarité sont au cœur de ce programme. Nous avons tout d'abord travaillé sur la démarche d'investigation dans chaque discipline scolaire (IREM, 2012 ; <http://www.irem.univ-montp2.fr/Les-demarches-en-Sciences-points> ; <http://www.irem.univ-montp2.fr/Ressources-pour-pratiquer-1>). Nous abordons l'interdisciplinarité dans le présent travail. En effet, même si le mot "interdisciplinarité" est absent du programme officiel, ce dernier insiste sur le fait de "montrer *l'apport et la synergie* de ces disciplines [mathématiques, sciences physiques et chimiques, sciences de la vie et de la terre et sciences de l'ingénieur.]".

Nous avons constaté que les préconisations théoriques concernant la mise en place de l'interdisciplinarité en classe sont peu accessibles aux professeurs dans leur pratique quotidienne (voir le texte : *Quelques éclairages didactiques en rapport avec le programme officiel de l'option MPS*, <http://www.irem.univ-montp2.fr/A-propos-de-l-articulation-entre>). Une analyse des pratiques s'impose dans les années à venir pour appréhender comment les enseignants œuvrant en MPS gèrent les « temps communs aux disciplines » (selon les termes du B.O.). Dans les faits, les enseignants de notre équipe IREM Enseignement Scientifique, à Montpellier, réalisent depuis plusieurs années des séances "interdisciplinaires" en classe dans

¹ Sylvie Beaufort (Lycée Jules Guesde, Montpellier), Claude Caussidier (Université Montpellier 2), Bénédicte Hausberger (Lycée Jules Guesde, Montpellier), Thomas Hausberger (Université Montpellier 2), Grégoire Molinatti (Université Montpellier 2), Jean-Pierre Robert (Lycée Jules Guesde, Montpellier). Responsable : Thomas Hausberger, laboratoire I3M, cc 051, Université Montpellier 2, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier cedex 5, Thomas.Hausberger@univ-montp2.fr

le cadre de l'Option-Sciences (voir par exemple <http://www.irem.univ-montp2.fr/optionsciences/opsc1.html> et <http://www.apmep.asso.fr/L-option-Sciences-I>, ou bien les bulletins verts N° 467 et N°468 publiés par l'APMEP). L'analyse du déroulement de ces enseignements nous a conduits à la constatation que leur pratique était davantage pluridisciplinaire qu'interdisciplinaire (voir cadre de l'expérimentation ci-dessous).

Nous avons alors commencé un travail sur les représentations que les enseignants ont, eux-mêmes, des démarches et concepts identifiés comme points potentiels d'interaction entre les disciplines. Il s'est agi d'identifier dans les représentations épistémologiques des enseignants de trois disciplines scientifiques (mathématiques, sciences physique-chimie et sciences de la vie et de la terre) des convergences ou des divergences (rapport IFE, 2011) sur lesquelles il serait possible de s'appuyer pour mettre en œuvre un travail interdisciplinaire. C'est ainsi qu'il nous est apparu, d'abord comme un point d'achoppement, la diversité des significations attribuées à un terme utilisé couramment en sciences, selon qu'il est employé en mathématiques, en sciences physiques et chimiques (SPC) ou en sciences de la vie et de la terre (SVT). Par exemple quelle est la différence entre « observer » en mathématiques par rapport aux autres sciences ?

Au cours de plusieurs séances de travail, nous avons élaboré une représentation schématique des phases de déroulement des séances dédiées à la démarche d'investigation en cours de sciences (dans l'option MPS ou en cours disciplinaires). Sous ces différentes phases, nous avons rassemblé les principaux mots-clés et concepts. Notre constat est que les mêmes mots ne recouvrent pas les mêmes réalités dans chaque discipline enseignée et que chaque discipline utilise un vocabulaire spécifique. De plus, est-ce que les arguments de preuve sont identiques dans les trois disciplines ? Quels sont les points communs, les différences, les articulations, les synergies ?

Ce type de réflexion, organisé en classe MPS, nous paraît avoir un excellent potentiel d'apprentissage interdisciplinaire, dans le sens où il contribue à co-construire des représentations partagées.

La mise en place expérimentale de notre stratégie d'introduction à l'interdisciplinarité vise deux objectifs principaux :

- le premier objectif est à destination des enseignants. Nous faisons l'hypothèse que l'explicitation des lexiques scientifiques spécifiques à chacune des disciplines leur donnera un point d'ancrage durable pour l'élaboration future de séquences d'enseignement sur des thématiques communes ainsi que le recommande le rapport IFE (2011).

- le 2^{ème} objectif est à destination des élèves. Nous faisons l'hypothèse que leur méconnaissance de la spécificité des termes scientifiques employés dans chacune des disciplines est un obstacle à une vision de la participation de chacune à un savoir cohérent et intégré dans une perspective globale.

Nous exposons ici les séquences de travail que l'équipe IREM a mises en place de façon expérimentale avec des classes ayant choisi l'option MPS, pour une approche interdisciplinaire incluant les mathématiques, les SPC et les SVT. La ressource produite est disponible à l'adresse <http://www.irem.univ-montp2.fr/Ressource-interdisciplinaire>.

II- Le cadre de l'expérimentation

1- Les deux piliers des enseignements d'exploration en MPS

a- Les démarches d'investigation

L'équipe IREM Enseignement Scientifique mène depuis 2004 un travail sur la pratique des dispositifs expérimentaux des options Sciences (OS) et Démarches et Culture Scientifiques (DCS). Notre réflexion s'est portée sur des questions de nature épistémologique : « initier les élèves à la démarche scientifique »², pour reprendre les termes du programme récent de MPS, prend tout son sens lorsque l'on s'autorise un recul réflexif pour questionner ces démarches : qu'est-ce qu'une démonstration en mathématiques ? Une observation scientifique, une loi, un modèle ?

Nous avons donc entrepris un travail d'ingénierie épistémo-pédagogique afin de produire des ressources sur les démarches d'investigation en relation avec chaque discipline. L'accent a été mis sur l'histoire des sciences de la discipline avec un questionnement épistémologique (sans pour autant donner un cours théorique d'épistémologie). Les ressources produites ont été finalisées à l'automne 2009 et sont disponibles au format du SfoDEM à l'adresse (<http://www.irem.univ-montp2.fr/Ressources-pour-pratiquer-l>)

b- L'interdisciplinarité

L'interdisciplinarité implique des interactions entre les disciplines (deux ou plus) : "Le terme d'interdisciplinarité évoque un espace commun, un facteur de cohésion entre des savoirs différents. Chacun accepte de faire un effort hors de son domaine propre et de son propre langage technique..." (Fourez et al. 2002, p. 61). L'interdisciplinarité conduit à l'établissement de liens de complémentarité ou de coopération, d'interpénétration ou d'actions réciproques entre elles sous divers aspects (finalités, objets d'études, concepts et notions, démarches d'apprentissage, habiletés techniques, etc.). Son but est de favoriser chez les élèves l'intégration des savoirs et des processus d'acquisition de ceux-ci. Cependant recourir à une approche interdisciplinaire, est-ce :

- enseigner en faisant appel à toutes les disciplines des programmes ?
- recourir aux compétences transversales ? (Par exemple : prise de notes, utilisation des TICE, tenir un cahier de recherche, etc.)
- utiliser un thème pour proposer des activités dans différentes disciplines ?
- enseigner en même temps, par exemple, l'histoire et la géographie, l'arithmétique et l'algèbre, la grammaire et la littérature, les SPC et les SVT ?
- dépasser les contenus des disciplines pour centrer son enseignement sur des questions du quotidien ?
- utiliser l'approche par projet ?

Au sens restreint, l'interdisciplinarité correspond à des interactions entre deux ou plusieurs disciplines portant sur leurs concepts, leurs démarches méthodologiques, leurs techniques, etc. Afin de tenir compte des contraintes institutionnelles, la première étape sera la prise en compte de la structure curriculaire des différentes disciplines, dans l'optique d'élaborer un problème qui mette en relation plusieurs disciplines (interagissant pour apporter une réponse). Cette étape d'interdisciplinarité curriculaire consiste en l'établissement – à la suite d'une analyse systématique des programmes d'études des disciplines scolaires – de liens

² On devrait, au sens strict, parler de « démarche d'investigation », que l'on peut considérer comme un terme issu de la transposition didactique du terme « démarche scientifique ».

d'interdépendance, de convergence et de complémentarité entre les différentes matières scolaires qui forment le cursus d'un niveau d'enseignement donné afin de faire ressortir une structure interdisciplinaire à orientations intégratrices (Lenoir, 1997, 2003, http://www.crie.ca/Communications/Documents_disponibles/interdisciplinarite.PDF).

Cette dimension organisationnelle fondamentale n'a pas été mise en place en France et les professeurs sont laissés libres d'organiser leurs séances communes sans directives spécifiques mais avec seulement des déclarations d'intention telles que « montrer l'apport et la synergie des disciplines » (B.O., 2010).

L'expérimentation dont nous rendons compte dans ce texte, à savoir un travail mobilisant différentes disciplines scientifiques autour des lexiques scientifiques utilisés lors des démarches d'investigation, constitue à l'évidence un point d'ancrage pour les pratiques interdisciplinaires.

2- Interdisciplinarité et lexiques scientifiques spécifiques

a- Pour les élèves

Nous avons souvent constaté que le vocabulaire des élèves, en général, et plus particulièrement scientifique, était extrêmement pauvre. Il est donc possible que, bien que nous soyons au niveau 2^{de}, les élèves n'utilisent pas les termes scientifiques dans leur sens exact mais dans leur sens naïf, c'est-à-dire d'usage courant (Cordier et Tiberghien, 2002). Cette méconnaissance du langage scientifique a déjà été rapportée chez des étudiants à l'université (Caussidier et al., 2009). Il nous a semblé qu'une analyse, en classe, des termes scientifiques utilisés dans un parcours de démarches d'investigation pouvait être une approche interdisciplinaire dans le sens où l'utilisation de chaque terme devait être explicitée, motivée et justifiée dans chacune des disciplines, ainsi que les similitudes et différences éventuelles d'utilisation.

b- Pour les enseignants

Le rapport d'enquête IFE (2011) met en évidence « la méconnaissance des significations des termes problème, hypothèse, expérience et modèle d'une discipline à l'autre ». Lorsqu'ils se prononcent sur le sens de ces quatre termes dans les autres disciplines en comparaison de la leur, les enseignants de SVT et SPC affirment assez fortement la proximité de leurs deux disciplines expérimentales (même sur le terme modèle, ce qui est en contradiction avec les représentations révélées par les analyses). Les répondants de mathématiques expriment une grande distance entre la signification des quatre termes dans leur discipline et dans les trois autres, ce qui est ressenti symétriquement par les répondants de SPC, SVT et technologie. Par ailleurs, la technologie est la moins connue des autres disciplines, et les SPC la discipline qui suscite souvent le plus grand sentiment de proximité pour les trois autres.

Ce rapport souligne donc « l'importance de l'explicitation des termes communément utilisés dans la description des démarches d'investigation, ces termes constituant des outils méthodologiques, voire même des concepts épistémologiques fondamentaux des démarches scientifiques mobilisés dans un travail d'investigation » (ibid.).

C'est ce travail que nous avons aussi mis en œuvre dans cette expérimentation.

3- Le levier méta et le développement de compétences épistémologiques

A la suite de Fang et al. (2010), nous pensons qu'une approche par les lexiques scientifiques permet aux élèves de mieux comprendre les sciences, d'améliorer leurs connaissances scientifiques et leur donne l'opportunité de communiquer leur compréhension aux autres. Cette approche doit aussi participer à développer un dialogue entre les enseignants et leur permettre de développer une réflexion épistémologique sur leurs disciplines débouchant sur des articulations possibles entre leurs enseignements. Ce type de travail doit amener l'élève à expliciter par lui-même la nature des déroulements des raisonnements scientifiques. C'est en définitive un travail de métacognition dévolu à l'élève qui devrait lui permettre de mettre en perspective les démarches qu'il est supposé mettre en œuvre. La métacognition peut être définie comme la représentation que l'élève a de ses connaissances et de la façon dont il peut les construire et les utiliser. La métacognition est ainsi liée à la fois à la connaissance de soi et à la confiance en soi (Delvolvé, 2006)³. Elle suppose par exemple pour l'élève de distinguer ce qu'il sait de ce qu'il ne sait pas (métamémoire), de réaliser que plusieurs chemins sont possibles pour résoudre un problème et pour apprendre à raisonner (métacompréhension). Cette approche est recommandée par Perkins (1992) et Zohar & Nemet (2002) qui montrent que l'apprentissage de stratégies de métacognition améliore de façon importante les raisonnements explicites et réflexifs.

C'est dans cette perspective que nous pensons possible de développer les compétences épistémologiques des élèves en les faisant travailler sur la mobilisation des lexiques scientifiques associés aux démarches d'investigation des différentes disciplines scientifiques. Nous rejoignons Fourez et al. (1997) sur la nécessité de développer un « socle épistémologique », regroupant des compétences épistémologiques du type de celles⁴ détaillées dans le cadre de notre travail sur les démarches d'investigation.

³ Pour cette auteure, il s'agit de développer des compétences métacognitives (savoir observer, être attentif, gérer ses émotions, utiliser ses mémoires, raisonner, comprendre et apprendre...) de manière à améliorer la réussite des élèves.

⁴ La formulation des compétences ci-dessous est tirée des trois ressources disciplinaires disponibles à l'adresse <http://www.irem.univ-montp2.fr/Ressources-pour-pratiquer-1>.

- savoir repérer et caractériser une démonstration mathématique, savoir distinguer induction et déduction, avoir conscience de l'historicité des mathématiques et connaître notamment des raisons à l'apparition de l'exigence démonstrative en mathématiques, savoir que la vérité en mathématiques est fondée sur la logique et le raisonnement déductif, avoir conscience de la structure axiomatique d'une théorie mathématique ;

- contextualiser la construction d'un savoir sur le plan historique en sciences physiques et chimiques, envisager la possibilité qu'un phénomène puisse être appréhendé sous plusieurs angles différents, réfléchir sur une démarche scientifique, prendre conscience que la réalisation d'une observation ne consiste pas en la réception passive d'une série d'informations préexistantes, comprendre qu'un modèle ou une loi scientifique sont des manières de se représenter le monde qui nous entoure pour nous permettre de le comprendre, d'en parler et d'y agir, comprendre que se donner une représentation de l'état du monde correspond à une simplification, critiquer un modèle ;

- avoir une approche historique en sciences de la vie et de la terre, identifier quelques savants et institutions, théories, idées défendues par ces savants ; les situer dans le temps et dans un contexte socioculturel et économique, appréhender une démarche d'investigation à travers des écrits historiques, appréhender le fonctionnement du monde scientifique, de la construction des savoirs et de l'évolution de ces derniers au cours du temps, constater les divergences possibles de la communauté scientifique face à un problème et les affrontements entre les partisans des différentes théories.

Ces compétences sont à comprendre dans le cadre de ces ressources et ne rendent pas compte de toute la richesse des épistémologies disciplinaires.

III. Compte-rendu d'innovation

1- Méthodologie

Au cours de plusieurs séances de réflexion le groupe IREM a rassemblé les principaux mots-clés et concepts utilisés lors d'une séance de classe en MPS et plus généralement lors d'un cours de sciences. Ces mots-clés ont été tout d'abord collectés par discipline, puis organisés suivant les phases du déroulement de la séance. Il est apparu que les mêmes mots ne recouvrent pas toujours les mêmes réalités dans chaque discipline, que chaque discipline a un vocabulaire spécifique, mais qu'un tel travail peut conduire à un dialogue entre les trois disciplines scientifiques et favoriser ainsi des pratiques interdisciplinaires ultérieures sur des thèmes communs.

Nous avons conservé un total de 30 mots que nous avons regroupés au sein d'un schéma synoptique (figure 1) dans lequel nous modélisons le déroulement d'une démarche d'investigation, de l'élaboration initiale jusqu'à la communication des résultats obtenus.

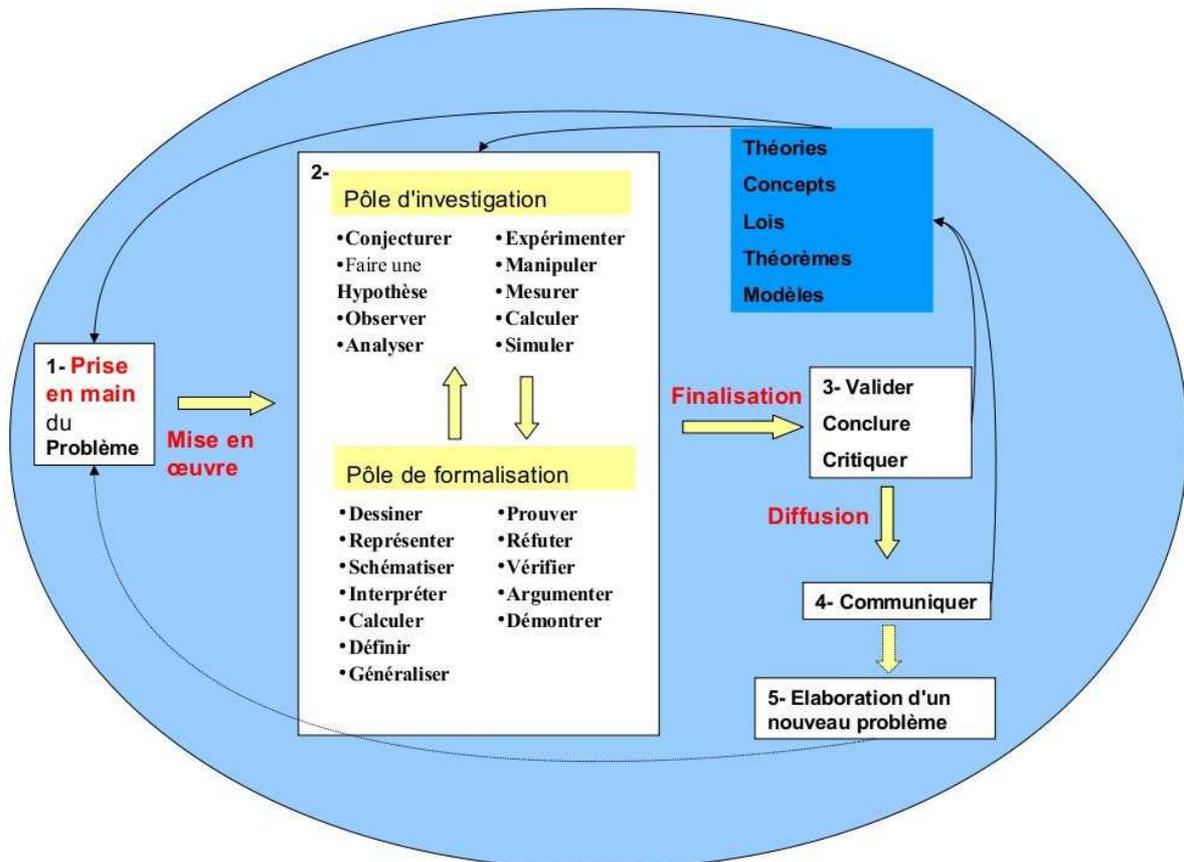


Figure 1 : Modélisation du déroulement des démarches d'investigation en mathématiques, SPC et SVT. Certaines étapes comprennent plusieurs actions possibles. Nous avons particulièrement détaillé les étapes de mise en œuvre (pôles d'investigation et de formalisation) qui correspondent à la partie expérimentale de ces démarches.

Ce schéma servira de base théorique pour ces travaux et leurs prolongements ultérieurs. Les mots retenus sont principalement des verbes (conjecturer, expérimenter, observer, manipuler, calculer, prouver, communiquer, ...) et quelques noms (problème, hypothèse, lois, théorèmes, théories...).

2- Déroulement de l'expérimentation

Nous avons travaillé dans une classe unique de seconde avec un effectif de 30 élèves répartis en groupes de 2. Cette classe était constituée d'élèves peu volontaires, peu intéressés et relativement faibles en sciences.

L'expérimentation s'est déroulée en plusieurs phases.

Phase 1. Initialisation, réalisation des mots fléchés en classe entière

Tâche demandée : au cours d'une séance de 2 heures d'accompagnement personnalisé (AP), en présence des enseignants de maths et SPC, les élèves doivent remplir une grille de mots fléchés⁵ (voir annexe 1) ; ils peuvent utiliser un dictionnaire.

Déroulement effectif : la recherche, individuelle au départ se poursuit assez vite par groupe de deux élèves. La grille est terminée au bout de 30-40 minutes. Les professeurs reprennent chaque terme en l'explicitant (45 minutes). Une feuille regroupant les explicitations est distribuée aux élèves (Fiche élève N°2 : annexe2).

Phase 2. Analyse des cahiers de recherche, vérification de l'assimilation du vocabulaire scientifique

- Au préalable, les enseignants des trois disciplines ont chacun relevé un cahier d'élève dans lequel ils ont sélectionné une ou plusieurs séquence(s) : en maths, il s'agit de la prise de notes sur l'écrit du tableau pendant et après les phases successives de recherche en classe, en SPC et en SVT d'un compte-rendu d'une séance de TP rédigé à la maison. Ces traces écrites doivent être analysées par les élèves.
- Cette séance dure 2 heures en présence des enseignants des trois disciplines pendant l'AP. Chaque groupe de deux élèves dispose de la photocopie des trois extraits (un par discipline) et de la feuille de vocabulaire établie dans la phase 1 (Fiche élève N°2 : annexe 2). Chacune des deux parties présentées ci-dessous est reproduite trois fois (une fois par discipline)
- Première partie (15 minutes). Les groupes d'élèves ont pour consigne de repérer sur la photocopie distribuée les différentes phases de la recherche : ils attribuent pour chacune d'elles un (ou éventuellement plusieurs) mot(s) de la feuille de vocabulaire qui rende(nt) compte de l'action ou du raisonnement mené et justifient le choix de ces mots clés.
- Deuxième partie (15 minutes). Les photocopies sont projetées successivement au tableau et le travail se fait en classe entière. Chaque groupe donne les mots qu'il a utilisés. La mise en commun par la classe doit permettre une discussion avec prises de parole et argumentation. La discussion amène ou non un consensus.

Remarques

- Pour les besoins de notre expérimentation, la deuxième partie est enregistrée. De plus, un des professeurs prend en note les différents mots proposés qui sont recopiés par les élèves sur leurs documents.

⁵ Ce type de tâche a été choisi pour son caractère ludique.

- La ressource réalisée afin de mutualiser cette expérimentation est disponible à l'adresse <http://www.irem.univmontp2.fr/Ressource-interdisciplinaire>.
- Lors de cette expérimentation, nous avons utilisé la fiche élève N°2. Celle-ci a été ensuite remaniée pour tenir compte de difficultés rencontrées pendant la séance (phase 2) et rapportées dans le compte-rendu de cette phase (par exemples : loi, démontrer...). La version remaniée figure dans la ressource.

3- Compte-rendu de la phase 2

a - En mathématiques

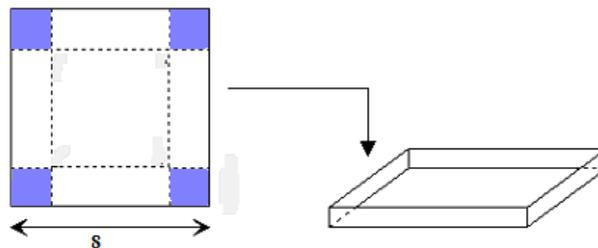
1^{er} exercice : un problème de recherche avec des phases de travail personnel et une mise en commun.

Afin de permettre aux élèves de repérer un nombre important de mots, le choix s'est porté vers un problème de type ouvert. Celui-ci, traité en classe entière, présenté par un énoncé court sans questions multiples, permet aux élèves de prendre rapidement un certain nombre d'initiatives (calculs, fabrication de divers objets...), de formuler un certain nombre de conjectures, d'envisager différentes méthodes et de mettre en œuvre plusieurs techniques. La gestion de la classe, en groupes puis en classe entière pour la synthèse, permet de mettre en avant ces différents instants de la démarche scientifique propices à l'apparition du vocabulaire recherché.

Énoncé du problème : un artisan dispose d'une plaque carrée de 8 dm de côté. A chaque coin de la plaque, il veut découper un carré pour se fabriquer une boîte ouverte comme sur le schéma ci-dessous.

Est-il possible d'obtenir une boîte dont le volume serait le plus grand possible ?

Faire une conjecture.



Cahier de l'élève avec les mots proposés par la classe (mathématiques)

Chapitre 4 (Fonction, sens de variation, fonction)

Calculer de volume de petit carré de prisme : 0, 2, 4 $V = B \times h$

$V(0) = 0$

$V(2) = (4 \times 4) \times 2 = 32$

On calcule

$V(x) = (8 - 2x)^2 \times x$

$= (64 - 2x \times 2x + (2x)^2) \times x$

$= (64 - 4x^2 + 4x^2) \times x$

$= 64x - 4x^3$

$V(x) = 4x^3 - 32x^2 + 64x \rightarrow 4x^3 - 32x^2 + 64x$

$V(3) = (2 \times 2) \times 3 = 12$

$V(4) = (0 \times 0) \times 4 = 0$

Recherche du volume max:

→ Avec les tableaux

pas de 1:

x	0	1	2	3	4
V(x)	0	36	32	18	0

pas de 0,1:

x	0,1	0,2	0,3	0,4
V(x)	37,24	37,84	38,16	38,24

on refait avec un pas de 0,1

x	1,2	1,3	1,4	1,5
V(x)	39,6	39,93	40,08	40,15

le volume max semble être environ 39,94 pour $1,28 < x < 1,34$

→ Avec le graphique: $x \text{ min } 0, x \text{ max } 4, x_{\text{min}} 0, x_{\text{max}} 60$

avec le zoom: $x \text{ quad} = 1, x_{\text{quad}} = 5$

$x \approx 1,3351$

$y \approx 39,9435 \rightarrow$ volume max

directement:

Facile, Maximum!

Schématiser

Représenter

Dessin

Calculer

Généraliser

Analyser

Loi

Manipuler

Observer

Conclure

Analyser

Démontrer

Observer

Manipuler

Première analyse des annotations et déroulement du processus d'annotation

Un certain nombre de mots apparaît dans l'énoncé fourni aux élèves : *problème, schéma, conjecture*. La figure dessinée dans l'énoncé (représentant une boîte) est diversement interprétée par les élèves et une discussion s'ensuit avec le professeur :

Un élève : « C'est un dessin ou c'est un schéma ? »

Le professeur : « Pourquoi vous dites que c'est un schéma ? »

D'autres élèves : « Ça respecte les formes. »

« C'est fait à la règle. »

« Non un schéma, c'est pas fait à la règle. »

Le professeur : « Le texte dit c'est un schéma, on est plutôt d'accord pour dire que c'est un dessin ; on peut dire aussi, comme le fait remarquer S, que c'est une représentation. »

Le schéma dessiné par l'élève dans la marge pour mieux comprendre la construction de la boîte est alors bien identifié en tant que tel et les mots *schématiser, dessiner, représenter* sont employés.

La phase de calcul algébrique qui suit voit utiliser les mots : *calculer, généraliser, analyser*, mais d'autres mots seront utilisés au cours des discussions, comme par exemple dans ce groupe d'élèves :

Un élève : « Une *loi*, est-ce que c'est une loi ? »

L'autre : « Non y a pas de règle. »

Le premier : « Une loi c'est une règle que l'on doit respecter. »

Pour ce passage à la mathématisation du problème, il faudra des explications du professeur pour faire émerger le mot *modéliser*. Les notes prises par l'élève peuvent être à l'origine de ce malentendu : on remarque que dans son schéma fait dans la marge, l'élève a appelé x la longueur des côtés des petits carrés. Il n'a pas défini explicitement x par une phrase et a repris cette notation en début de calcul pour insister sur la mathématisation qu'il exécute de facto. A la lecture de sa copie, ses camarades repèrent donc immédiatement les calculs (*calculer*). Ils entrevoient toutefois la portée de ces calculs (*généraliser* et *analyser*), mais le mot *modéliser* qui n'est pas encore dans leur vocabulaire stabilisé n'est pas mis en avant.

Une première méthode pour résoudre le problème consiste en l'utilisation du tableur de la calculatrice avec les mots : *manipuler, observer*. Cette phase se termine par l'utilisation du mot *conclure*. Pourtant, le texte de conclusion fait apparaître l'expression « il semble », pour indiquer qu'il s'agit certes d'une conclusion mais que celle-ci pourrait également être une conjecture qu'il faudrait démontrer avec d'autres outils... Une discussion pourrait s'engager sur le mot *démontrer*.

Un élève : « Quand on utilise le tableur, on peut dire qu'on manipule avec des nombres. On observe les résultats. »

Une deuxième méthode de résolution proposée à l'aide d'un graphique fait apparaître les mots : *analyser, observer, démontrer, manipuler*. Comme pour la méthode précédente, l'aspect expérimental est souligné par l'emploi des mots : *manipuler, observer*.

Un élève : « Analyser, car on analyse un graphique pour voir. »

Le professeur : « Pourquoi on manipule ? »

Un autre élève : « Avec le zoom de la calculatrice. »

Un élève à son voisin : « C'est une lecture de graphique en gros ; ou alors observer ; amener des éléments pour établir un résultat, non ? Alors, tu as le mot ? Prouver, prouver. »

2ème exercice : un problème davantage guidé par l'enseignant dans le but de faire découvrir sur un exemple une méthode de résolution d'inéquation produit. L'étude de ce problème a lieu après la correction d'un devoir à la maison qui portait sur l'étude de l'aire $f(x)$ du polygone $CDMNPQ$ sachant que M est un point variable sur $[DE]$ avec E milieu de $[AB]$ et que AMN et BPQ sont deux triangles isocèles de côté x . L'énoncé du problème traité en classe et analysé dans ce qui suit porte uniquement sur la démonstration de la dernière question du devoir à la maison, ce qui explique les rappels visibles au début du cahier de l'élève.

Enoncé du problème : En utilisant la calculatrice, faire une conjecture sur le minimum de f sur D_f .

Cahier de l'élève avec les mots proposés par la classe (mathématiques)

Schéma	
Dessin	
Définir	
Calculer	
Conjecture	
Hypothèse	
Démontrer	
Représenter	
Réfuter	
Valider	
Tester	
Déduire	
Interpréter	
Démontrer	
Conclure	

Commentaires

La différence entre *schéma* et *dessin* n'est pas facile à saisir pour les élèves ; une nouvelle discussion tentera de les convaincre.

Le professeur : « Écoutez ce que nous a dit K. sur la différence entre schéma et dessin. »

L'élève K. : « Le schéma, il est fait à la va vite ; un schéma c'est comme un croquis. » Le professeur de SPC : « Croquis c'est encore plus sommaire ». Une intervention du professeur permettra de revenir sur la distinction généraliser-modéliser, ce dernier mot étant cette fois cité par un élève et davantage compris par les autres.

Le professeur : « Lorsqu'on utilise une variable, que fait-on, c'est quel mot ? »

Silence de la classe.

Le professeur : « C'est la discussion de tout à l'heure avec S. »

Un élève : « *modéliser*. »

Les mots *définir*, *calculer*, *conjecture* et *démontrer* figurent dans le texte proposé par le professeur pendant la résolution du problème.

La discussion amènera un élève à identifier *conjecture* en maths et *hypothèse* en SVT.

Pour construire le tableau de signes, on *représente*, on peut *calculer*, tester pour *réfuter* ou *valider*. Ces deux derniers mots sont utilisés par un élève mais à mauvais escient : en effet, ici il n'y a rien à réfuter.

On peut ici s'interroger pour savoir si le mot *tester* ne pourrait pas faire partie de notre liste de vocabulaire.

Un élève : « Il y a écrit on résume tout cela dans le tableau suivant » . Il propose alors déduire.

Le professeur : « Déduire et résumer ça ne veut pas dire la même chose ».

Un élève : « Résumer c'est tirer des conséquences. »

Le professeur tente alors d'expliciter l'action de résumer : « Vous n'en faites pas en français des résumés ? »

Le professeur de SVT complète pour bien finaliser la distinction : « A partir du résumé, tu vas pouvoir en tirer des conséquences. »

La lecture du tableau conduit les élèves au mot *interpréter*, puis à *déduire*, *démontrer* et *conclure* (voir le CQFD final).

b- En SPC

Le document fourni aux élèves est un compte-rendu de séance de TP rédigé par un élève : première partie sur la distinction entre solutions aqueuses ioniques et moléculaires ; deuxième partie sur la mise en évidence des propriétés lors de la dissolution d'une espèce chimique à savoir conservation de la masse et non conservation du volume pour terminer par la définition de la concentration massique.

Fiche activités à partir de laquelle les élèves ont travaillé (SPC)

SOLUTIONS AQUEUSES

Objectifs de la séance :

- Distinguer les deux types de solutions aqueuses.
- Mettre en évidence les grandeurs qui caractérisent une solution
- Concentration massique d'une solution

Rappeler ce qu'est une solution aqueuse:

I. Deux sortes de solutions aqueuses

1. Réaliser le montage suivant:

Matériel utilisé : bécher contenant 1g de sucre dans 100 mL d'eau, lames de cuivre, G, lampe

Proposer au professeur un protocole pour préparer la solution d'eau sucrée.

Réaliser le montage électrique sans brancher le générateur. Le faire vérifier au professeur.

Allumer le générateur et observer la lampe.

Reprendre la même expérience en remplaçant le sucre par du sel. Noter ses observations.

2. Interprétation

Quel est le rôle de la lampe dans ce circuit ?

Quel appareil de mesure aurait pu remplir le même rôle ?

Que pouvez-vous dire de la solution aqueuse de sucre ?

Quels sont le nom et la formule de l'espèce chimique dissoute dans la solution d'eau sucrée ?

Que pouvez-vous dire de la solution aqueuse de sel ?

Quels sont le nom et la formule de la substance chimique dissoute dans la solution d'eau salée ?

3. Conclusion

Compléter les phrases suivantes en employant les termes suivants : sel, sucre, de molécules, d'ions, conductrice, isolante.

Un solide moléculaire est composé.....; sa dissolution dans l'eau conduit à une solution C'est le cas du

Un solide ionique est composé; sa dissolution dans l'eau conduit à une solution C'est le cas du

Quelle propriété permet donc de distinguer les solutions ioniques des solutions moléculaires ?

II. Préparer une solution et déterminer sa concentration en soluté

1. Étude de la dissolution

a) Peser chacune des deux éprouvettes présentes sur la paillasse

b) Mesurer avec une éprouvette graduée 20 mL de sucre

c) Mesurer avec une autre éprouvette graduée 30 mL d'eau.

d) D'après vous quel sera le volume de la solution obtenue après dissolution du sucre dans l'eau?

e) Peser chacune des éprouvettes avec son contenu. En déduire la masse de sucre et la masse d'eau.

f) D'après vous quelle sera la masse de la solution une fois le mélange réalisé?

g) Procéder dans un bécher propre et sec à la dissolution du sucre dans l'eau.

h) Remettre la solution ainsi obtenue dans l'éprouvette graduée qui contenait l'eau, et mesurer le volume ainsi obtenu. Cette valeur est-elle en accord avec la prévision faite au d.

i) Peser l'éprouvette contenant la solution. En déduire la masse de la solution. Cette valeur est-elle en accord avec la prévision faite au f.

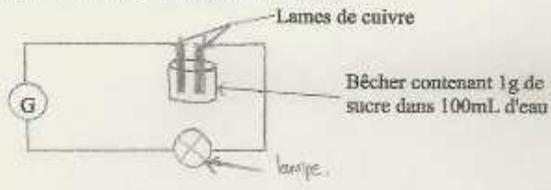
j) Conclure : Au cours d'une dissolution il y a ; au cours d'une dissolution il n'y a pas

2) Exprimer la concentration d'une solution

a) On appelle concentration une grandeur qui indique la proportion en quantité de soluté présent dans la solution par rapport à la quantité de solution elle-même.

b) Il existe dans le commerce et dans l'industrie plusieurs façons d'exprimer cette concentration.

c) Comment proposeriez-vous d'exprimer cette concentration ?

SOLUTIONS AQUEUSES	
<p>Définition</p> <p>Manipuler Expérimenter</p> <p>Schéma Dessin Représentation</p>	<p>Une solution aqueuse est une solution dont le solvant est l'eau.</p> <p>I/Deux sortes de solutions aqueuses :</p> <p>1) On a réalisé le montage suivant :</p>  <p>Pour préparer la solution d'eau sucrée du montage ci-dessus, avec le matériel mis à notre disposition suivant :</p> <p>Une balance, du sucre, une éprouvette graduée, de l'eau et un bêcher.</p> <p>Nous avons établie un protocole :</p> <p>1: Sur une balance, peser 1g de sucre, que l'on verse ensuite dans un bêcher. 2: Dans une éprouvette graduée, verser 100mL d'eau, que l'on verse également dans le bêcher. 3: Remuer la solution, avec un agitateur en attendant que le sucre soit complètement dissous.</p> <p>Par la suite, nous avons allumé le générateur et avons regardé la lampe, elle est restée éteinte.</p> <p>Nous avons fait de même en remplaçant le sucre par du sel, en allumant le générateur la lampe s'est allumée.</p> <p>2) Interprétation</p> <p>Ce montage sert à démontrer si, le sel et le sucre sont, ou non, des conducteurs de courant électrique ou si au contraire se sont des isolants.</p> <p>Nous pouvons, si nous le voulons remplacer la lampe par un ampèremètre qui pourrait lui aussi remplir le même rôle.</p> <p>Par conséquent, nous pouvons en déduire que le sucre est un isolant, car la lampe ne s'est pas allumée ce qui signifie qu'elle n'a pas reçu de courant. Cette substance chimique est le Saccharose.</p> <p>Et qu'au contraire, le sel est conducteur de courant, car la lampe s'est allumée ce qui signifie que la lampe a reçu le courant nécessaire à son fonctionnement. Cette substance chimique est le Chlorure de Sodium.</p>
<p>Expliquer Manipuler</p> <p>Observer Déduire</p> <p>Interpréter</p> <p>Prouver</p>	

⁶ Texte tapé par l'élève, exceptées les formules écrites à la main.

	<p><u>3) Conclusion :</u></p> <p>Un solide moléculaire est composé de molécules ; Sa dissolution dans l'eau conduit à une solution isolante. C'est le cas du sucre.</p> <p>Un solide ionique est composé d'ions ; Sa dissolution dans l'eau conduit à une solution conductrice. C'est le cas du sel.</p>
Conclure Définition	→
Propriété	→ Pour distinguer les solutions ioniques des solutions moléculaires, il faut voir si elle sont, ou non, conductrice de courant ou isolante.
	<p>II/Préparer une solution et déterminer sa concentration en soluté</p> <p><u>1)Étude de la dissolution</u></p> <p>1 : Nous avons pesé 2 éprouvettes graduée qui était à notre disposition : La première éprouvette graduée que l'on a nommé Éprouvette A était de : 24,2 g. Et la deuxième éprouvette graduée que l'on a nommé Éprouvette B était de : 24,3 g.</p> <p>2 : Dans éprouvette A, nous avons mesuré 20mL de sucre.</p> <p>3 : Alors que dans l' éprouvette B nous avons mesurer 30mL d'eau.</p> <p>4 : D'après nous, le volume de la solution obtenue après la dissolution du sucre dans l'eau, sera le même que le volume de l'eau. C'est à dire 30mL d'eau.</p> <p>5 : Nous avons pesé chacune des éprouvettes avec son contenu : L'éprouvette A qui contient 20mL de sucre pèse 43,8 g. Alors que l'éprouvette B qui contient 30mL d'eau pèse 53,9 g.</p> <p>6 : D'après nous, la masse de la solution une fois le mélange réalisé sera aussi égale à la masse de l'eau. C'est à dire 53,9.</p> <p>7 : Pour vérifier nos hypothèses, dans un bêcher propre et sec, nous avons procédé à la dissolution du sucre dans l'eau. Et nous avons mis cette solution dans l'éprouvette B qui contenait l'eau. Nous avons mesuré le volume obtenu qui était d'environ 42 mL. Cette valeur n'est pas en accord avec notre hypothèse qui est donc fausse.</p> <p>8 : Nous avons ensuite pesé cette éprouvette contenant la solution, dont la masse était de 49,2 g. A peu près celle de l'éprouvette contenant l'eau. Ce qui confirme notre hypothèse.</p> <p><u>Nous pouvons donc en conclure :</u> Qu'au cours d'une dissolution il y a conservation de la masse. Mais qu'il n'y a pas conservation du volume.</p> <p><u>2)Exprimer la concentration d'une solution</u></p> <p>Pour exprimer cette concentration nous proposerions soit d'utilisé le pourcentage massique en soluté (en général solide) d'une solution, en %, indique la masse, en g, de soluté dissous dans 100 g de solution.</p> <p>Pourcentage massique = $\frac{\text{masse de soluté}}{\text{masse de solution}} \times 100$.</p> <p>On définit la concentration massique</p> <p>$C = \frac{M_{\text{solute}}}{V_{\text{solution}}}$</p> <p>AL Concentration aqueuse = $\frac{M_{\text{sucre}}}{V_{\text{totale de solution}}} = \frac{17,1}{46,3 \times 10^{-3}} = 36,5 \text{ g L}^{-1}$</p>
Mesurer Manipuler	→
Hypothèse	→
Observer	→
Hypothèse	→
Vérifier Réfuter	→
Interpréter Valider	→

Commentaires

Dès la première phrase du texte « une solution aqueuse est une solution dont le solvant est l'eau », une discussion s'engage sur les mots : *définition, explication, loi*. Le professeur fait relire les explications des mots : *explication* et *définition* ; il finira par convaincre les élèves d'adopter *définir* et de rejeter *loi*.

La réalisation du montage fait apparaître les mots *expérimenter, manipuler* pour le travail fourni et *schématiser, dessin* et *représentation* pour son illustration : ici encore une discussion permettra de mieux cerner les contours des mots *dessiner* et *schématiser*.

Le professeur : « Pour moi, c'est plutôt un schéma parce que la lampe est représentée par un code (un cercle avec une croix), alors qu'un dessin représenterait une belle lampe

réelle.»

La description du protocole de préparation de la solution verra utiliser d'un commun accord les mots *expliquer, manipuler*.

Par contre une discussion s'engage lorsqu'il s'agit de nommer les actions correspondant à la phrase du compte-rendu : « Par la suite, nous avons allumé le générateur et avons regardé la lampe, elle est restée éteinte ». Elle sera un peu vite interprétée par certains élèves avec le mot *prouver*.

Sous l'incitation du professeur, les élèves regardent d'un peu plus près la phrase et formulent de nouvelles propositions.

Élève 1 : « on explique ce qu'on a fait. »

Élève 2 : « on a manipulé.»

Élève 3 : « en fait on a fait les deux.»

Le professeur reprend les propositions : « J'explique ce que je fais ; il y a deux temps : j'explique et je fais. »

Alors qu'après cet échange intense et positif entre le professeur et les élèves l'ensemble des élèves est parvenu à un consensus sur les mots *déduire, observer, conclure*, un élève reprend la parole pour le mot *conclure*.

L'élève M : « moi j'ai mis prouvé ! »

Le professeur reprend : « M. qu'est-ce qu'on voulait prouver ? »

Un élève : « Au cours de l'observation, on a vu des trucs pour amener à un résultat.»

Le professeur : « On a observé des phénomènes différents mais on n'a rien prouvé ; on a observé et on a conclu. »

Cette nouvelle discussion avec le professeur conduit donc aux mots *déduire, observer et conclure*.

La suite du compte-rendu comporte les mots *interprétation, démontrer et conclure* utilisés par l'auteur.

Le professeur : « Quand on s'appuie sur un montage, on ne peut pas dire qu'on démontre. »

Toutefois, il faudra une nouvelle discussion pour faire émerger le mot *propriété* en guise de conclusion de cette partie. Mais ce dernier mot ne fait pas partie de notre liste de vocabulaire.

La deuxième partie relate l'étude de la préparation d'une solution par dissolution d'un composé solide et la détermination de sa concentration.

Les mots suivants apparaissent : *mesurer, manipuler, observer, prouver et démontrer*.

Une *hypothèse* est mise en avant (à noter que le mot ne figure pas dans le compte-rendu de l'auteur).

Une deuxième fois, le mot *hypothèse* est proposé à bon escient alors que le mot *interpréter* est rejeté après discussion avec la classe.

Le professeur relit le texte et retrouve la partie qui contient les deux hypothèses émises par l'auteur.

Dans la partie suivante, l'auteur indique clairement « pour *vérifier* nos *hypothèses* » ; les élèves proposent le mot *réfuter* puisque « cette valeur n'est pas en accord avec notre hypothèse » pour la première hypothèse.

Enfin, une dernière *interprétation* permettra de valider la deuxième *hypothèse* (« ce qui confirme notre hypothèse »).

c- En SVT

Le document fourni aux élèves est également un compte-rendu de séance de TP rédigé par un élève. L'objectif de la séance de TP était de comprendre comment la distance de la Terre par rapport au soleil peut expliquer, en partie, ses singularités par rapport aux autres planètes du système solaire.

Fiche activités à partir de laquelle les élèves ont travaillé (SVT)

Objectif : Expliquer comment la position de la Terre par rapport au soleil peut expliquer, en partie, ses singularités.

Questions :

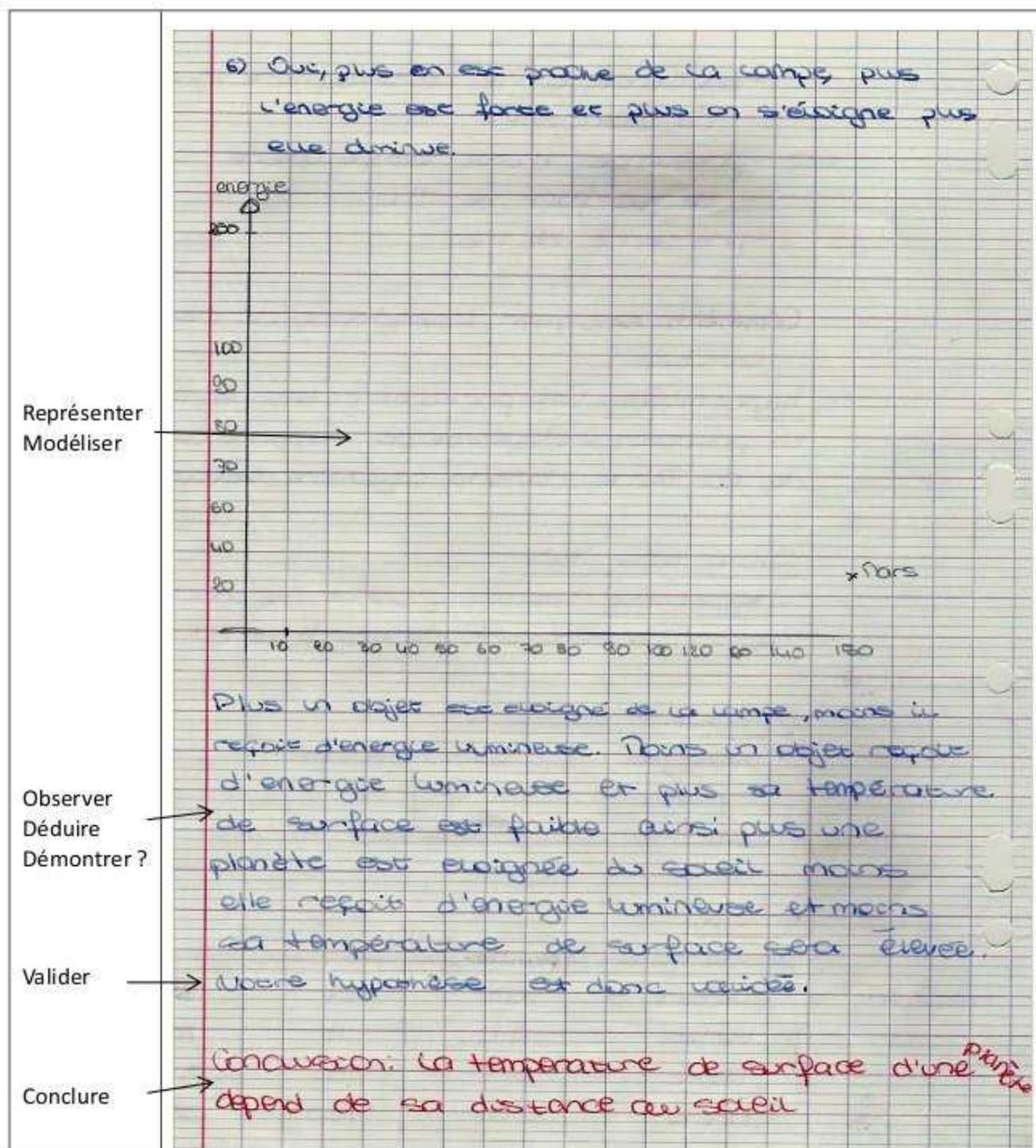
1. Émettre une (ou des) hypothèse(s) qui lie(nt) température de surface d'une planète et distance au soleil.
2. Concevoir une expérience analogique pour tester la relation proposée. Décrire et/ou schématiser le montage.

Matériel proposé : lampe, thermomètre, luxmètre (= appareil mesurant la quantité d'énergie reçue par un objet), support pour les maintenir à la même hauteur, mètre.

3. Réaliser les mesures et consigner les résultats dans un tableau.
4. Construire le graphique de l'énergie lumineuse mesurée en fonction de la distance à la lampe **OU** celui de l'évolution de la température en fonction de la distance à la lampe.
5. Décrire ensuite cette variation par une phrase simple.
6. Cette modélisation valide-t-elle l'hypothèse ?

Cahier de l'élève avec les mots proposés par la classe (SVT) :

Expliquer		Comment expliquer la distance de ces particules?																				
Problème		laubes?																				
Hypothèse		<u>hypothèses</u> : Ces particularités sont liées à la position (distance par rapport au soleil) de la Terre dans le système solaire.																				
		<u>Fiche activités</u> :																				
		1) <u>hypothèse</u> : Plus une planète est proche du soleil plus sa température de surface est élevée.																				
Schéma Représentation		2) <u>Schéma</u>																				
Simuler Expérimenter Manipuler		lampe-soleil luxmètre-planète																				
Calculer		<u>échelle</u> :																				
Mesurer	10cm = 1UA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>planète</th> <th>distance (UA)</th> <th>distance (cm)</th> <th>énergie reçue (lux)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mercure</td> <td>0,38</td> <td>38</td> <td>128 lux</td> </tr> <tr> <td>Vénus</td> <td>0,72</td> <td>72</td> <td>60 lux</td> </tr> <tr> <td>Terre</td> <td>1</td> <td>100</td> <td>38 lux</td> </tr> <tr> <td>Mars</td> <td>1,5</td> <td>150</td> <td>22 lux</td> </tr> </tbody> </table>	planète	distance (UA)	distance (cm)	énergie reçue (lux)	Mercure	0,38	38	128 lux	Vénus	0,72	72	60 lux	Terre	1	100	38 lux	Mars	1,5	150	22 lux
planète	distance (UA)	distance (cm)	énergie reçue (lux)																			
Mercure	0,38	38	128 lux																			
Vénus	0,72	72	60 lux																			
Terre	1	100	38 lux																			
Mars	1,5	150	22 lux																			
Représenter		3) <u>Graphique</u>																				
Observer Dédire		5) La courbe diminue alors que la distance augmente elle est décroissante.																				



Commentaires

Le compte-rendu de l'auteur commence clairement par une question (« comment expliquer l'existence de ces particularités ? ») et met en avant des hypothèses. Les élèves proposent alors : *expliquer, problème, question à résoudre, hypothèse* et hypothèse plus précise.

Pour statuer entre ces différentes propositions et notamment celle concernant « l'explication » ou le « problème à résoudre », une discussion s'engage :

Un élève : « C'est un problème car il y a un point d'interrogation. »

D'autres élèves : « Face au problème, on a fait des hypothèses. » ; « et une hypothèse un peu plus précise aussi ».

Un schéma est présenté dans le texte qui fait apparaître dans la classe les mots :

représentation, schéma, simuler, expérimenter et manipuler.

Le professeur explique à un groupe d'élèves la distinction entre schéma et dessin, puis tente de faire émerger l'idée de modèle / modéliser (le soleil est modélisé par la lampe).

Suit un tableau de résultats avec les distances réelles planète tellurique - soleil, les distances calculées lampe - luxmètre et l'éclairement mesuré. Les élèves proposent les mots : *représenter, calculer, mesurer.*

Un élève : « On a mesuré la distance entre la lampe et le luxmètre. »

Un autre élève : « On a calculé l'échelle ; on a comparé. »

Une autre : « On a fait un tableau, c'est représenter. »

Une représentation graphique suit ; les élèves proposent : *représenter, modéliser.*

Une phrase « La courbe diminue alors que la distance augmente ; elle est décroissante » et un paragraphe débutant par « Plus un objet est éloigné de la lampe, moins il reçoit d'énergie lumineuse » commentent la représentation graphique. Les élèves proposent : *observer, déduire.*

Un élève propose *conclure*, mot vite rejeté par d'autres.

Un autre élève propose *définir*. Il lit l'explicitation du mot.

Un autre élève : « Non, on n'a pas donné de définition ; moi par contre j'avais mis *démontrer* »

Le professeur demande de relire l'explicitation du mot et propose d'accepter, pourquoi pas, le mot *démontrer*.

La phrase « Notre hypothèse est donc validée » ainsi que le mot conclusion qui figurent dans le texte feront proposer sans surprise les mots *conclure* et *valider*.

4- Synthèse

Après décompte des mots, il s'avère que sur les 30 mots de la liste établie dans la phase 1, 26 ont été proposés par les élèves au moins une fois. Le repérage du vocabulaire scientifique par cette classe est assez satisfaisant et la plupart des mots, en définitive, ont fait consensus. Cette remarque doit particulièrement retenir notre attention car cette expérimentation a été menée dans une classe de seconde dont le niveau est globalement faible, avec des élèves peu motivés ; ces derniers, de manière assez inattendue, ont bien joué le jeu malgré la durée de deux heures de la séquence. On peut toutefois noter que les discussions qui se sont tenues en dernier (autour de la séance de SVT) se sont révélées moins riches que les précédentes (mathématiques et SPC). Nous faisons l'hypothèse que les principales interrogations suscitées avaient déjà été abordées. Lors d'une prochaine expérimentation, nous inverserons l'ordre des séances.

Parmi les mots qui ont davantage prêté à discussion, on peut noter la différenciation pas toujours évidente entre *représenter, dessiner* ou *schématiser*, mots largement présents dans les travaux des trois disciplines.

Certains mots sont encore mal identifiés : *modéliser, loi, propriété, démontrer, prouver*, mais les autres sont bien identifiés et correspondent au sens commun. Il faudrait cependant s'assurer qu'ils sont alors bien utilisés par les élèves. Pour cela le travail mériterait d'être repris au cours d'une séquence de travail dans chaque discipline en demandant aux élèves de donner le mot utilisé lors de l'action elle-même (en direct) et non pas d'identifier les mots a posteriori sur un écrit.

IV- Analyse des résultats

Rappelons le triple objectif de l'activité qui a fait l'objet du compte-rendu ci-dessus :

- vérifier l'acquisition du vocabulaire scientifique usuel par les élèves,
- amener les élèves à expliciter par eux-mêmes la nature des démarches qu'ils mènent en MPS ou en cours de sciences en général,
- enfin, par l'explicitation croisée des démarches, promouvoir un dialogue entre les trois disciplines scientifiques à même de faciliter des pratiques interdisciplinaires futures.

Une évaluation de l'activité n'a pas été menée à ce jour (elle sera évoquée dans les perspectives, voir paragraphe V. 1 ci-dessous). Par contre, nous disposons d'enregistrements du travail de certains groupes d'élèves ainsi que des temps de mise en commun lors de la phase 2 de l'activité. A l'aide de ces données, en partie retranscrites dans le compte-rendu ci-dessus, nous sommes à même de porter des conclusions sur :

- les conceptions relatives aux démarches d'investigation, à travers les relations repérées ou pas par les élèves, entre les termes du lexique et les actions qu'impliquent ces démarches,
- les difficultés que cette activité a permis de mettre en évidence, difficultés liées à certains concepts épistémologiques délicats ou prêtant à confusion, bien qu'ils soient courants et centraux dans les pratiques scientifiques,
- les difficultés inhérentes à ce type d'activité de métacognition, encore peu fréquent en contexte scolaire.

1- Les conceptions des élèves relatives aux démarches d'investigation

Nous dressons dans ce paragraphe quelques conclusions qui nous paraissent importantes en nous basant sur les étapes que nous avons décrites dans la figure 1 et sur le tableau 1.

a- La prise en main du problème. Le problème est bien repéré dans les trois disciplines, en partie grâce aux consignes données par les enseignants⁷. En SVT, le problème est donné par l'enseignant qui pose une question et incite à la formulation d'une hypothèse. En mathématiques, la tradition de la situation-problème fait que le mot lui-même figure dans l'énoncé. En SPC, le protocole est donné et l'activité est centrée sur l'interprétation des résultats issus de l'expérimentation. Le mot hypothèse apparaît plusieurs fois.

b- La mise en œuvre et le pôle d'investigation. Les aspects expérimentaux (observer, manipuler) sont bien repérés en mathématiques, les pédagogies actuelles ayant réussi à « relativiser » leur épistémologie de science formelle.

c- La mise en œuvre et le pôle de formalisation. Les aspects relatifs à la dimension de représentation, modélisation, sont bien représentés par de fortes occurrences mais la retranscription des échanges en classe montre un certain flou dans leur conceptualisation (distinction entre schématiser et dessiner par exemple, notion de modèle, voir 2-d ci-dessous).

En ce qui concerne les dimensions de preuve, l'emploi à mauvais escient du mot démontrer en sciences expérimentales (voir 2-b ci-dessous) n'est pas étonnant : une phrase du type « cette expérience montre que ... » est courante (même dans les manuels), alors qu'une expérience ne pourra jamais que corroborer une hypothèse ou conforter l'idée que tel modèle est pertinent

⁷ Notre but, dans cette expérimentation, n'est pas axé sur l'élaboration de situations problèmes mais sur les démarches qui en découlent.

pour décrire tel élément de réalité. De façon connexe, le problème de l'induction en sciences expérimentales passe totalement inaperçu : le mot généraliser n'apparaît qu'en mathématiques alors qu'un raisonnement inductif est mené plusieurs fois en SPC (voir 2-c). En définitive, le travail d'explicitation des démarches fait apparaître un déficit de conceptualisation de l'épistémologie propre aux sciences expérimentales. Une remédiation à ce point d'achoppement serait éventuellement de réitérer un tel travail d'explicitation en pointant cette fois les concepts dans l'action.

d- L'étape de finalisation est représentée uniquement par les mots conclure et valider. Le mot critiquer n'est jamais mentionné : ce fait s'explique d'une part par les consignes données de ne pas faire apparaître de fausses pistes dans les traces analysées, à la différence de narrations de recherche. D'autre part, les limites d'un modèle sont parfois discutées à l'oral mais des traces de cette réflexion sont rarement consignées par écrit, la phase d'institutionnalisation présentant plutôt par nature une tendance au dogmatisme qu'au relativisme. Ce fait symptomatique suggère qu'une réflexion serait à mener pour promouvoir davantage d'esprit critique tout en ne fragilisant pas la posture de l'enseignant. Ces analyses mettent en évidence une fois de plus les liens forts entre les conceptions des élèves et les pratiques enseignantes.

e- L'étape de communication. Le mot communiquer est également absent et témoigne peut-être d'une faible prise en charge en contexte scolaire des aspects sociaux relatifs à la science.

2- Des concepts épistémologiques à travailler

a- Notion de loi

Le terme loi a fait débat là où on ne l'attendait pas a priori : dans la partie mathématique à propos de règles de calcul dans la manipulation des expressions algébriques. Le dialogue entre élèves montre que ces derniers sont sensibles à des aspects d'ordre législatif : « une loi, c'est une règle que l'on doit respecter ». L'élève reprend en fait la première explicitation, celle du mot croisé, et non la seconde qui se rapporte aux sciences. La fiche élève N°2 a été remaniée suite à de telles imprécisions⁸. Ces activités réflexives sont des occasions d'apporter à l'élève des éclairages sur la terminologie : ainsi le terme loi, en sciences, provient de l'époque où l'on considérait la régularité du monde que ces dernières expriment comme provenant de lois édictées par Dieu ; ensuite, on parla de lois de la nature. De nos jours, l'usage de ce mot est peu fréquent dans le contexte de la recherche scientifique (on parle plutôt de modèle) et il reste limité aux contextes anciens : lois de la pesanteur, lois de Mendel,... En mathématiques, une « loi de composition » traduit un point de vue très abstrait sur les opérations algébriques (introduit au XIX^{ème} siècle et enseigné de nos jours à l'entrée de l'Université). On y retrouve un aspect prescriptif, le mathématicien étant libre de poser ses axiomes, de prescrire ses règles opératoires. On parle également de lois de probabilités (de Gauss, binomiale, etc.). C'est en partie dû à l'épistémologie particulière des probabilités et statistiques qui visent à modéliser les phénomènes aléatoires, les régularités associées au hasard s'apparentant en première instance à des lois de la nature.

b- Différence entre montrer, prouver et démontrer⁹

⁸ La version actualisée est disponible à l'adresse <http://www.irem.univ-montp2.fr/Ressource-interdisciplinaire>

⁹ Montrer est le terme le plus général : il a une extension qui va de l'empirique le plus général où montrer a son sens propre de « donner à voir », éventuellement sans aucune intention de preuve, au rationnel le plus élaboré, par exemple au sein de la démonstration, où montrer a un sens

La distance entre montrer et démontrer est effleurée au cours de l'annotation de la partie mathématique. Ce n'est pas étonnant car l'exigence démonstrative imprègne la pratique mathématique et passe par la discussion des arguments qui ont valeur de preuve. La nécessité d'une démonstration par des « enchaînements de raisons » peut être discutée grâce à des situations de doute visuel ou autres situations qui mettent en question la valeur des preuves. Le lecteur pourra consulter la ressource IREM « la démonstration » disponible à l'adresse : <http://www.irem.univ-montp2.fr/Ressource-math-La-demonstration>

Par contre, le mot démontrer est employé à mauvais escient par les élèves en SPC à plusieurs reprises. L'enseignant n'arrive manifestement pas à convaincre les élèves qu'une expérience ne suffit pas à *démontrer* un fait général (« avec un montage, on ne démontre pas »). Il n'est pas étonnant que la difficulté de la restriction de l'emploi du terme démonstration à son contexte d'application légitime, essentiellement les mathématiques, ne soit toujours pas surmontée. D'une part, les énoncés mathématiques demandent souvent de montrer une propriété alors que c'est une démonstration qui est attendue, entretenant la confusion entre les notions. D'autre part, la comparaison entre preuves expérimentales et démonstrations formelles ne peut se faire que dans un contexte approprié (interdisciplinaire, mais surtout un contexte impliquant un recul réflexif). Il nous apparaît comme fondamental pour comprendre la démarche expérimentale que l'enseignant explicite que la mise à l'épreuve d'une hypothèse ou d'un modèle par des tests expérimentaux permet de valider ou de réfuter, mais pas de démontrer, ni même de prouver dans son sens strict ; vérifier est par contre correct. Un énoncé général du type « la masse est conservée dans une dissolution » ne peut être prouvé : il faudrait une infinité de tests expérimentaux.

métaphorique. Prouver est plus général que démontrer : par exemple, il existe des preuves analogiques de style très différent de la démonstration, au sens précis du terme, tels que les Grecs en ont déterminé la forme. Une véritable preuve convainc l'esprit de la vérité de ce qu'elle affirme, en excluant toute possibilité de douter. Certaines preuves n'établissent la vérité qu'au terme d'une mise à l'épreuve, comme c'est le cas par les tests empiriques dans la démarche des sciences expérimentales. La démonstration est une démarche rationnelle qui, à partir de points de départ déterminés, établit la certitude du résultat qui en découle. Etymologiquement, démonstration vient du latin « de - monstratio », en grec « apo - deixis », ce qui signifie « montrer, indiquer - hors de, à partir de ».

c- Dédution-induction

Le mot déduire apparaît plusieurs fois. A l'inverse, l'induction en tant que mode de raisonnement courant en sciences de la nature (et fondamental sans lequel aucun résultat général se saurait être établi) n'est pas repérée. Le mot induction (ou le verbe induire) n'a pas été intégré volontairement à la liste de mots scientifiques, étant probablement inconnu des élèves. Par contre, le verbe généraliser est présent et était une réponse attendue pour noter ce que les épistémologues appellent induction.

Ainsi en SPC, les propriétés énoncées des deux types de solution¹⁰ correspondent en fait à un processus de généralisation du cas d'un solide moléculaire particulier qui s'avère conducteur à toute solution moléculaire et idem pour un solide ionique. De même, pour l'énoncé général de conservation de la masse lors de la dissolution. A chaque fois, le processus d'induction passe totalement inaperçu !

Bien entendu, nous ne soutenons pas une vision inductiviste des sciences expérimentales. Il s'agit que l'élève soit à même de repérer une induction, même si la validation de cette dernière par la communauté scientifique sera plus complexe, incluant également de la déduction à partir de principes. Le lecteur trouvera à l'adresse <http://www.irem.univ-montp2.fr/La-demarche-scientifique-une> une synthèse de la littérature épistémologique classique sur le sujet, discutant en particulier la question de l'induction dans les sciences expérimentales.

d- Notion de modèle, de représentation et ses avatars

Il est important de faire comprendre à l'élève qu'un modèle est une représentation/simplification/interprétation d'une partie du monde qui nous entoure, en vue d'un but : comprendre le monde qui nous entoure, communiquer et agir.

D'un certain point de vue, un schéma est déjà un modèle, à la différence du dessin. Cette nuance pose problème lors de la séquence de mathématiques : l'idée de représentation simplifiée de la réalité n'émerge pas et, en l'absence de critère de démarcation fourni par l'enseignant, les deux mots sont adoptés. L'idée qu'un objet mathématique, un parallélépipède, modélise la boîte n'apparaît pas.

La différence entre schéma et dessin est reprise dans la séquence de SVT, le professeur de sciences expérimentales étant plus à l'aise sur ce point que le mathématicien : le dessin d'observation se réfère en effet à une pratique assez codifiée dans cette discipline.

Pour autant, l'omniprésence des modèles dans les sciences expérimentales n'est pas intégrée par les élèves : l'expérience de la lampe et du globe n'est pas identifiée d'emblée comme une modélisation par les élèves, sans aide de l'enseignant.

¹⁰Le compte-rendu énonce en guise de conclusion, après interprétation des expériences avec le sel et le sucre :

- un *solide moléculaire* est composé de molécules ; sa dissolution dans l'eau conduit à une solution isolante. C'est le cas du sucre.
- Un solide ionique est composé d'ions ; sa dissolution dans l'eau conduit à une solution conductrice. C'est le cas du sel.

Pour distinguer les solutions ioniques des solutions moléculaires, il faut voir si elles sont, ou pas, conductrices de courant ou isolantes.

3- Compléments : analyse de quelques phénomènes inattendus apparus lors de la mise en œuvre

Nous analysons ici deux passages du compte-rendu qui illustrent certains questionnements que l'on peut rencontrer lors de séances de métacognition, menées selon notre méthodologie.

a- Déduire, observer ou conclure ?

A l'évidence, ces trois verbes sont très différents. Les hésitations qu'expriment, dans la partie SPC, les élèves et qui n'ont d'ailleurs pas été tranchées par l'enseignant sont donc à expliquer sur un autre plan que la stricte définition de ces notions.

La difficulté provient du fait qu'il y a une ambiguïté sur le niveau auquel on se place :

- le niveau de l'action : observer/manipuler,
- celui de l'explicitation de l'action : communiquer (il manque peut-être le mot décrire),
- celui de l'intention derrière l'action : vérifier si la solution est conductrice ou non.

Pour le travail demandé, il aurait fallu se placer strictement au niveau de l'action.

b- Observer, déduire, définir ou démontrer ?

La confusion, qui apparaît ici au sein de la partie SVT, provient en partie du fait que le paragraphe annoté du compte-rendu de TP¹¹ regroupe deux phases, qui auraient dû être séparées :

- phase 1 : interpréter un graphique (celui de l'énergie mesurée en fonction de la distance à la lampe), ce qui nécessite au préalable sa lecture, d'où le mot observer.
- phase 2 : conclure sur l'hypothèse de départ, c'est-à-dire la valider (en admettant implicitement la validité du modèle soleil = lampe). On aurait pu également noter *déduire* (car on tire les conséquences logiques du modèle admis soleil = lampe). Cela nécessite de faire le lien entre température de surface et mesure d'énergie. Le contexte mathématique (variation de fonction) explique peut-être que la classe dévie vers le mot démonstration bien qu'il soit inapproprié.

V- Perspectives

Nous envisageons dans ce paragraphe différents prolongements possibles au présent travail. Du point de vue didactique, nous précisons notre visée qui est celle d'un décloisonnement des disciplines. Du point de vue pédagogique, il s'agit de suggestions d'activités destinées à compléter et enrichir le scénario pédagogique.

1- Evaluation de l'activité

En ce qui concerne les enseignants, notre premier objectif, qui était d'engager un dialogue interdisciplinaire et de leur donner un point d'ancrage durable pour l'élaboration de séquences interdisciplinaires futures, semble atteint. L'expérimentation serait à réitérer en tout début d'année scolaire afin de le vérifier dans les faits.

¹¹« Plus un objet est éloigné de la lampe, moins il reçoit d'énergie lumineuse. Moins un objet reçoit de l'énergie lumineuse et plus sa température de surface est faible, ainsi plus une planète est éloignée du soleil moins elle reçoit d'énergie lumineuse et moins sa température de surface sera élevée. Notre hypothèse est donc validée. »

En ce qui concerne les élèves, l'évaluation de ce que peut apporter de telles séances réflexives sur leur compréhension de ce qu'est une démarche d'investigation et de ce qui est attendu d'eux lors des différentes phases d'une telle démarche, nécessiterait une méthodologie très fine qui reste à discuter.

2- Améliorations possibles de l'activité

En ce qui concerne les explicitations des termes, des définitions plus précises pourraient être fournies aux élèves, de façon à servir pleinement de référence lors des discussions autour de l'annotation des comptes-rendus. Pour autant, il faut veiller à ce que ces définitions restent concises et abordables.

De plus, afin de faire ressortir davantage le côté investigation de l'activité, il serait peut-être plus judicieux de faire travailler les élèves sur des extraits de cahiers de recherches, qui portent davantage la trace des questionnements, plutôt que sur des compte-rendus finalisés.

3- Prolongements du scénario pédagogique

a- Une phase 3 qui révélera pleinement le potentiel interdisciplinaire de l'activité

L'examen comparatif des différents mots (notamment ceux qui n'apparaissent jamais ou à l'inverse ceux qui sont mentionnés très fréquemment), ainsi que la discussion du sens éventuellement différent de ces notions selon les disciplines, doit conduire à un dialogue entre les trois disciplines scientifiques et favoriser ainsi des pratiques interdisciplinaires ultérieures sur des thèmes communs. S'il s'agit là d'une des hypothèses mises en avant au sein du cadre théorique, cette dernière ne peut être testée sans que ne soit poursuivi en amont le travail d'ingénierie. Une difficulté significative consiste à organiser le travail d'épistémologie comparative sur des bases modestes (sachant que l'on ne peut exiger de l'enseignant une formation approfondie en épistémologie), mais cependant suffisantes pour éviter un discours vague et à peu de portée. Cela nécessite de clarifier les objectifs et probablement de produire des supports pédagogiques complémentaires appropriés.

b- Conceptualisation des démarches d'investigation

Alors que les démarches d'investigation sont généralement menées sans regard réflexif, ce dernier s'avère d'autant plus pertinent que l'institution tend actuellement à requérir de l'élève une prise d'autonomie accrue à travers la formulation de ses propres hypothèses et l'élaboration de ses propres protocoles. Dans ce but de regard réflexif, on pourrait demander aux élèves d'identifier, à l'issue du travail d'annotation, les différentes phases des démarches d'investigation sous forme d'un schéma. On peut imaginer qu'ils produisent une forme simplifiée de la figure 1.

c- Des activités pour clarifier les concepts épistémologiques mal identifiés par les élèves

Nous avons constaté dans l'analyse de la phase 2 que certains concepts épistémologiques posent problème : ils sont employés à mauvais escient par les élèves ou bien sont mal repérés. Ces séquences pourraient donc se prolonger par des activités disciplinaires ou interdisciplinaires visant à expliciter :

- les processus de vérification en sciences (démonstration en mathématiques, validation et réfutation d'hypothèses et de modèles, induction et déduction,...)
- la notion de modèle (comme simplification/représentation/interprétation d'une portion de réalité dans un but donné) et de démarche de modélisation, laquelle permet d'articuler les apports des différentes disciplines et de discuter les complémentarités et les synergies des différents champs lors d'un travail en interdisciplinarité.

Un travail sur les modèles nous apparaît comme particulièrement pertinent. Les modèles ou « technologies intellectuelles » sont, selon Fourez (2002), des représentations de notre champ d'action possible dans le monde en fonction d'un contexte et d'un projet donné. Ainsi la démarche de modélisation se situe à l'interface entre monde réel et monde des théories.

Pour autant il existe des acceptions différentes de ce que peut être un modèle selon les différentes disciplines scientifiques. Ainsi, en mathématiques appliquées, un modèle mathématique est une traduction de la réalité pour pouvoir lui appliquer les outils, les techniques et les théories mathématiques, puis généralement, en sens inverse, la traduction des résultats mathématiques obtenus en prédictions ou opérations dans le monde réel. Dans toute modélisation, il y a un choix a priori de l'espace mathématique servant à repérer l'ensemble des phénomènes. On peut aussi argumenter qu'il existe des modèles intra-mathématiques : par exemple, les racines n -ième de l'unité constituent un modèle de groupe cyclique d'ordre n (cette acception est proche de l'idée, due à Tarski, de modèle d'un système axiomatique, au sein d'un domaine d'interprétations), ou encore l'idée de dérivée d'une fonction en un point peut être vu comme une application du « modèle linéaire », ...

En sciences expérimentales, un modèle doit permettre de poser certaines questions et d'y répondre par l'expérience : il a une efficacité pratique.

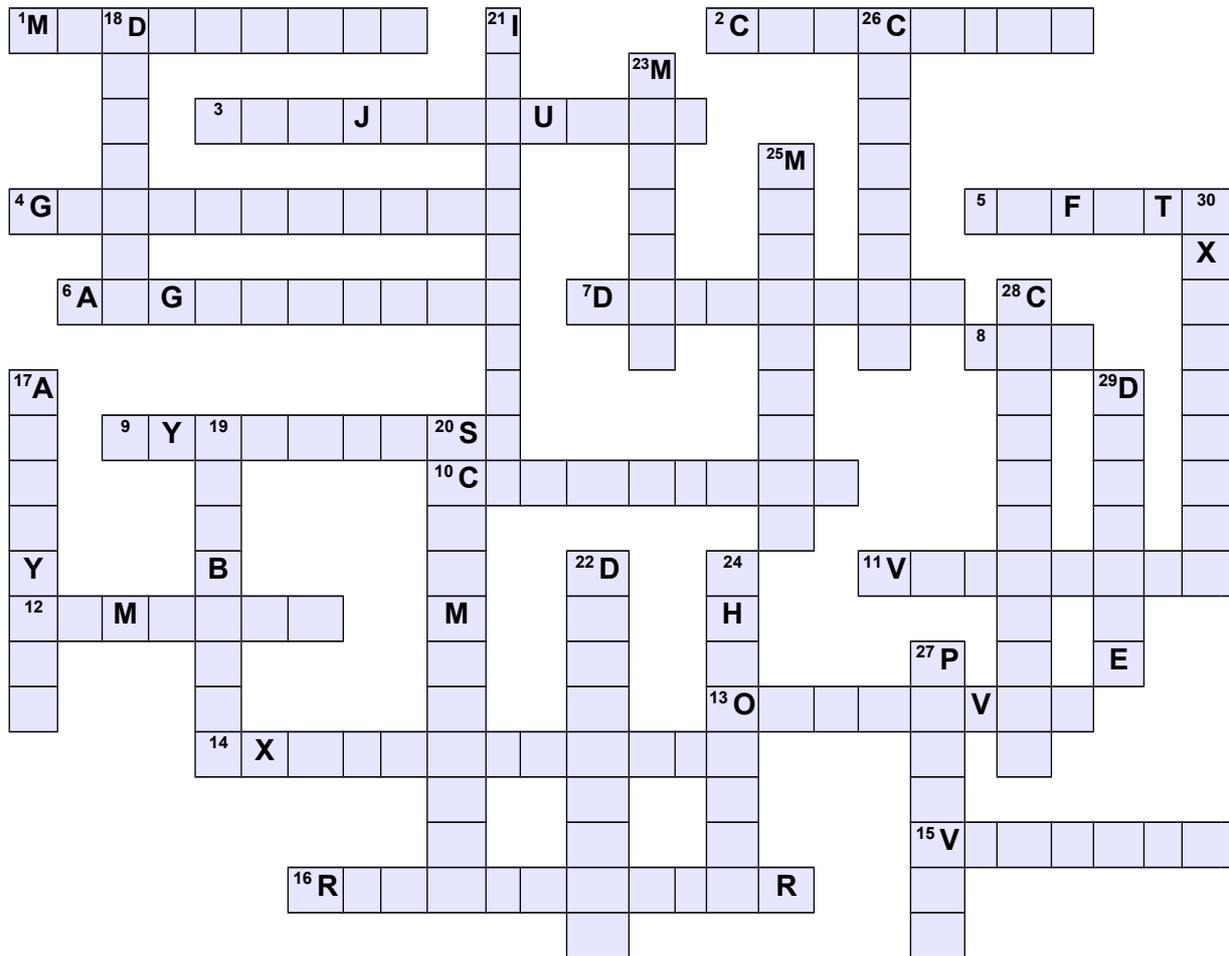
En physique, la modélisation d'un processus complexe revient à identifier les grandeurs, variables ou paramètres pertinents, à justifier les paramètres négligés ou négligeables à partir d'analogies, de calculs d'ordres de grandeurs ou d'approximations quantifiables (rôle de l'intuition et de l'imagination). La modélisation permet alors de définir l'incertitude de mesure ou une limite de validité.

Ainsi l'examen de la notion de modèle et de modélisation montre d'emblée une richesse de points de vue et un rôle élaborateur dans toutes les démarches scientifiques.

En conclusion, l'activité que nous proposons a suscité beaucoup d'intérêt de la part des élèves et elle ouvre de larges pistes. Nous invitons nos collègues à les explorer avec nous.

VI. Annexes

Annexe 1 : fiche élève n°1



Horizontalement

1. Construire, proposer un modèle
2. Synthétiser les résultats ; arriver à une fin
3. En mathématiques, proposer une idée à examiner
4. Donner une portée générale à un résultat
5. Ne pas valider
6. Dire, expliquer le pourquoi des choses, défendre une idée
7. Faire un dessin
8. Une règle que l'on doit respecter
9. Point de départ d'un raisonnement en maths, elle est validée ou non en SPC et SVT
10. Discuter les défauts et qualités
11. Regarder si un résultat est juste
12. Imiter un dispositif, par exemple à l'aide d'un ordinateur
13. Regarder scientifiquement
14. Faire une expérience
15. Accepter comme vrai
16. Présenter sous une forme adaptée

Verticalement

17. Découper un problème ou un objet en petits morceaux pour mieux le comprendre
18. Donner la signification
19. Question à résoudre
20. Représenter ou expliquer de manière simplifiée
21. Expliquer, traduire, donner du sens
22. Établir une vérité par un raisonnement
23. Utiliser un instrument pour évaluer une grandeur
24. En maths, propriété établie par une démonstration
25. Prendre et utiliser des objets pour réaliser une expérience
26. Faire des opérations avec des nombres pour arriver à un résultat
27. Amener des éléments pour établir un résultat
28. Transmettre des informations à l'oral ou par écrit
29. Tirer des conséquences
30. Rendre un sujet plus compréhensible

Les principaux mots du langage scientifique en 2de

Analyser :	Découper un problème ou un objet en petits morceaux pour mieux le comprendre
Argumenter :	Dire, expliquer le pourquoi des choses, défendre une idée ; justifier une affirmation par une preuve, une raison. Présenter des raisons, des preuves pour prouver ou réfuter une proposition
Calculer :	Faire des opérations avec des nombres pour arriver à un résultat
Communiquer :	Transmettre des informations à l'oral ou par écrit
Conclure :	Synthétiser les résultats ; arriver à une fin
Conjecturer :	En mathématiques, proposer une idée à examiner
Critiquer :	Discuter les défauts et qualités
Déduire :	Tirer des conséquences
Définir :	Donner la signification ; énoncer ou (déclarer) déterminer les caractéristiques
Démontrer :	Établir une vérité par un raisonnement
Dessiner :	Faire un dessin
Expérimenter :	Faire une expérience
Expliquer :	Rendre un sujet plus compréhensible
Généraliser :	Donner une portée générale à un résultat
Hypothèse :	Point de départ d'un raisonnement en maths, elle est validée ou non en SPC et SVT
Interpréter :	Expliquer, traduire, donner du sens
Loi :	Une règle que l'on doit respecter ; (principe fondamental) formule générale énonçant les rapports entre phénomènes (physiques) scientifiques
Manipuler :	Prendre et utiliser des objets pour réaliser une expérience
Mesurer :	Utiliser un instrument pour évaluer une grandeur
Modéliser :	Construire, proposer un modèle
Observer :	Regarder scientifiquement ; examiner attentivement un phénomène, un objet pour l'étudier
Problème :	Question à résoudre
Prouver :	Amener des éléments pour établir un résultat
Réfuter :	Ne pas valider; démontrer qu'une affirmation est fausse par des preuves contraires
Représenter :	Présenter sous une forme adaptée
Schématiser :	Représenter ou expliquer de manière simplifiée un phénomène pour mieux le faire comprendre
Simuler :	Imiter un dispositif, par exemple à l'aide d'un ordinateur ; représenter par un modèle un phénomène
Théorème :	En maths, propriété établie par une démonstration
Valider :	Accepter comme vrai
Vérifier :	Regarder si un résultat est juste ; confronter un résultat avec des faits

Bibliographie

- CAUSSIDIER C., PONS, S., REYNAUD C. ET FAVRE D., La construction de liens entre structures anatomiques et fonctions du cerveau par les étudiants de psychologie, *Didaskalia* n°34, p.9-29, 2009.
- CORDIER F. et TIBERGHIEA A., Connaissances "naïves" sur le monde matériel du bébé à l'adulte. Synthèse commandée par le programme "Ecole et sciences cognitives" : des connaissances naïves au savoir scientifique (responsable A. Tiberghien), p.9-30, 2002. Disponible sur : <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/00/17/89/PDF/Tiberghien.pdf>
- DELVOLVE N., Métacognition et réussite des élèves. *Les Cahiers pédagogiques*, Décembre 2006. <http://www.cahiers-pedagogiques.com/-Chroniques-du-metier-.html>
- FANG L., LAMME L.L. et PRINGLER. R.M., *Language and Literacy in Inquiry-Based Science Classrooms, Grades 3–8*. Zihui Fang (ed.) Corwin/NSTA Press, Thousand Oaks, CA, USA, 150 pp., 2010. ISBN 978-1-4129-8842-1.
- FOUREZ G., MAINGAIN A. et DUFOUR B., *Approches didactiques de l'interdisciplinarité*. De Boeck Université, 2002.
- FOUREZ G., ENGLEBERT-LECOMTE V., MATHY P., *Nos savoirs sur nos savoirs. Un lexique d'épistémologie pour l'enseignement*, Bruxelles, De Boeck Université, 1997.
- FOUREZ G., *La construction des sciences, 2° version revue et augmentée*, Bruxelles, De Boeck Université, 2002.
- IFE, « Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie », *Rapport d'enquête IFE-ENS de Lyon*, Décembre 2011.
- IREM- Équipe Enseignement Scientifique, « Options Sciences, Options DCS, futurs enseignements d'explorations Méthodes et Pratiques Scientifiques : travaux de l'équipe IREM Enseignement Scientifique », brochure de l'IREM de Montpellier, 2012.
- LENOIR Y., *Some interdisciplinary instructional models used in primary grades in Quebec. Issues in Integrative Studies*, n°15, p.77-112, 1997.
- MATHY, P. *Donner du sens au cours de sciences. Des outils pour la formation éthique et épistémologique des enseignants*. De Boeck, 1997.
- MONOD-ANSALDI R. et PRIEUR M. (coordinateurs), 2011. *Rapport d'enquête IFE – ENS de Lyon (2011) Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentation des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie*. 151pp.