



Options *Sciences*

Options *Démarches et Culture Scientifiques*

futures Options *Mesures et Pratiques Scientifiques*

Travaux de l'équipe Enseignement Scientifique¹ IREM de Montpellier

¹ Claude Caussidier, Hélène Hagège, Bénédicte Hausberger, Thomas Hausberger, François Henn, Grégoire Molinatti, Cécile Morro, Bernadette Rumeau, Ferial Terki
Responsable : Thomas Hausberger (thomas.hausberger@univ-montp2.fr)

Table des matières

<u>1. Introduction</u>	3
<u>2. L'option Sciences</u>	6
a) L'option Sciences au lycée de Bagnols sur Cèze.....	6
b) L'option Sciences au lycée Jules Guesde de Montpellier.....	7
<u>3. Les ressources 2004-2006 du lycée Gérard Philippe de Bagnols sur Cèze</u>	8
<u>4. Une enquête sur l'option Démarches et Culture Scientifiques</u>	13
<u>5. Les démarches en Sciences : points de vue épistémologiques et didactiques</u>	24
a) La démarche scientifique : une approche épistémologique.....	24
b) La « démarche scientifique » en mathématique.....	45
c) Point de vue de physicien sur la démarche scientifique.....	50
d) Méthodes scientifiques en chimie.....	52
e) Les démarches en sciences biologiques.....	54
f) Faire des sciences, ça aide à réfléchir.....	59
<u>6. Des ressources pour pratiquer l'épistémologie</u>	71
<u>7. Annexes</u>	77
Annexe 1 : <i>L'option Sciences : un atout pour le dialogue entre les disciplines. Repères IREM N°65, octobre 2006</i>	
Annexe 2 : <i>L'option Sciences : dossier présenté par Thomas Hausberger au Conseil de la SMF</i>	
Annexe 3 : <i>Ressource « La démonstration »</i>	
Annexe 4 : <i>Ressource « Les mirages »</i>	
Annexe 5 : <i>Ressource « Pasteur »</i>	

1. Introduction

Contexte

Dans le cadre de la promotion des sciences et des techniques et en réponse au problème de la crise des vocations scientifiques, le rectorat de Montpellier a permis l'ouverture expérimentale, en septembre 2004, d'« Options Sciences » en classe de seconde. On dénombre de nos jours une quarantaine de lycées de l'académie de Montpellier impliqués dans ce dispositif, rebaptisé option "Démarches et Culture Scientifique" (DCS).

L'objectif de ces options est de sensibiliser les élèves à la pratique de la science, dans un cadre interdisciplinaire respectueux des spécificités disciplinaires. Parmi les modalités, citons :

- Pas de programme spécifique mais un cadrage concernant les objectifs, les méthodes, les compétences à développer,
- Dispositif axé sur le questionnement, l'initiative, l'expérimentation, la culture scientifique, l'histoire des sciences, l'épistémologie, ...

Depuis 2004, le groupe de travail « Enseignement Scientifique » de l'IREM de Montpellier mène une réflexion sur la pratique de ce dispositif expérimental et offre l'appui scientifique d'enseignants-chercheurs à quelques lycées de l'académie. Ses objectifs sont les suivants :

- Evaluer l'impact des options sciences sur les élèves et les pratiques pédagogiques,
- Offrir un éclairage universitaire sur la recherche, le travail du chercheur et la vision scientifique qui en découle,
- Apporter un regard épistémologique sur les sciences et en particulier les démarches scientifiques, l'interdisciplinarité, et leurs mises en oeuvre pédagogiques en classe,
- Définir un format adapté aux ressources produites par les enseignants et facilitant leur mutualisation.

Méthodologie :

Les échanges au sein du groupe entre les enseignants du secondaire et les universitaires se font de façon directe, lors des réunions, mais aussi par l'intermédiaire d'une plate-forme en ligne (Claroline).

Le site de l'IREM, qui a évolué récemment en offrant de nouveaux outils (publication collaborative en ligne notamment pour une gestion dynamique des pages produites) permettra à terme un meilleur contact avec les équipes sur le terrain (vitrine, mutualisation, forum). Ces nouvelles technologies ne remplaçant pas les contacts humains entre élèves, enseignants en lycées et chercheurs, de tels contacts sont favorisés par la mise en place d'un parrainage.

Afin d'évaluer l'impact sur les élèves, des outils didactiques spécifiques seront employés en s'appuyant sur les compétences de membres du laboratoire LIRDEF² de l'Université Montpellier II.

Contenu de cette brochure

L'option Sciences

L'équipe IREM a essentiellement collaboré avec deux lycées de l'Académie de Montpellier : le

² Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique Education et Formation, IUFM, Montpellier

lycée Gérard Philippe de Bagnols sur Cèze et le lycée Jules Guesde de Montpellier. Cette brochure débute par un exposé des objectifs et du fonctionnement des options Sciences au sein de ces deux établissements. C'est l'occasion d'une réflexion sur cette option en tant que dispositif permettant un dialogue entre les trois disciplines scientifiques (article paru dans la revue Repères IREM).

Les ressources 2004-06 du lycée Gérard Philippe de Bagnols sur Cèze

L'équipe des enseignants de Bagnols a choisi de travailler sur les concepts plutôt que sur des thèmes. Leur travail a ainsi été découpé en cycles dont les objectifs spécifiques s'inscrivent toutefois dans une même démarche globale (voir 2. a)). Par exemple, les cycles 2004-05 se déclinent comme suit :

- [1. La démarche scientifique](#)
- [2. L'infiniment grand](#)
- [3. L'expérience de Franklin](#)
- [4. Un phénomène évolutif](#)
- [5. Négligeable ou pas ?](#)
- [6. Promenade scientifique](#)

Le travail effectué est disponible sur le site de l'IREM de Montpellier sous forme de documents téléchargeables. Un tableau au sein de cette brochure résume les différentes activités et précise leur insertion possible au sein de la future option MPS, en terme de thèmes et de compétences travaillées.

Une enquête sur l'option Démarches et Culture Scientifiques

L'option Démarches et Culture Scientifiques (DCS) est davantage focalisée sur l'enseignement de démarches d'investigation que sur celui de contenus. Un de ses buts est de donner aux élèves le goût de la science. Dans notre groupe IREM, les professeurs enseignant en option DCS rapportent que cette pratique modifie favorablement le rapport des élèves aux disciplines et favorise la motivation pour résoudre des problèmes. Il est important de pouvoir évaluer ces points scientifiquement (apprentissage de la démarche scientifique, goût pour la science, rapport à la discipline, résolution de problèmes). Au sein du groupe et également dans le cadre de ses recherches en didactique, Hélène Hagège se propose d'évaluer ces points, ainsi que l'évolution des conceptions et des valeurs associées à la science et à l'apprentissage. La méthodologie consiste en l'utilisation d'outils classiques de psychologie sociale (échelles de Likert, différenciateurs sémantiques d'Osgood et questionnaires d'opinion). Le protocole est de poser ce test en début d'année à des élèves qui vont suivre l'option DCS et à des élèves témoins négatifs appartenant à la même classe (sur 3 établissements pour neutraliser l'effet « établissement »), puis de le reposer en fin d'année. Ceci nous permettra d'évaluer les compétences, conceptions, valeurs et affects spécifiquement développés par la pratique de l'option DCS. En parallèle, un questionnaire (déjà testé à plus petite échelle) a été distribué aux équipes enseignantes afin d'analyser les modalités et stratégies pédagogiques des diverses options DCS ouvertes dans l'académie. Des résultats préliminaires sont exposés dans cette brochure.

Les démarches en Sciences : points de vue épistémologiques et didactiques

Partant de l'analyse des démarches scientifiques dans les différentes disciplines et d'une analyse épistémologique du processus d'élaboration des connaissances, nous réfléchissons à l'enseignement de ces démarches en cours de sciences, c'est-à-dire à la transposition didactique des concepts épistémologiques dans les pratiques de classe.

Nous souhaitons aider l'enseignant de sciences à mieux comprendre comment la science se construit et proposer des méthodes et des activités pour initier les élèves à une réflexion épistémologique. Les démarches d'investigation menées en classe prennent alors tout leur sens et participent à une réelle alphabétisation scientifique.

Des ressources pour pratiquer l'épistémologie

L'équipe IREM Science a entrepris un travail d'ingénierie épistémopédagogico-didactique afin de produire des ressources sur les démarches d'investigation en relation avec chaque discipline. L'accent est mis sur l'histoire des sciences de la discipline avec un questionnement épistémologique (sans pour autant donner un cours théorique d'épistémologie), ce qui conduit à une appréciation générale des points communs entre les démarches scientifiques disciplinaires. Les ressources produites ont été documentées sur un format dédié afin d'en favoriser la mutualisation. Le contenu épistémologique a été détaillé dans la fiche professeur de la ressource en présentant un scénario adapté afin que l'activité soit menée dans l'esprit d'une épistémologie moderne de type socio-constructiviste et que le professeur puisse, autant que faire se peut, tenir un discours sur la pratique de la science sans introduire de notions théoriques difficiles d'accès ou sur lesquelles il n'est pas formé. Le but est justement de sortir des travers identifiés par les didacticiens dans les manuels scolaires actuels. Cela répond à la définition de la culture scientifique telle qu'elle est donnée dans le rapport PISA 2006.

2. L'option Sciences

a) L'option Sciences au lycée de Bagnols sur Cèze

L'OPTION SCIENCES : un atout pour le dialogue entre disciplines.
Article paru dans la revue Repères IREM. Texte intégral en annexe.

Auteur(s) : Andral Luc ; Sabir Abdallah ; Soulier Fabienne ; Chaubet Christophe ; Noguès Maryse ; Henn François ; Geniet Frédéric ; Terki Férial ; Théret David

Titre : Repères. Num. 65. p. 91-103. L'OPTION SCIENCES : un atout pour le dialogue entre disciplines.

Editeur : TOPIQUES éditions Metz, 2006

Format : 16 cm x 23,7 cm, p. 91-103 Bibliogr. p. 103

ISSN : 1157-285X

Type : article de périodique ou revue *Langue :* Français *Support :* papier

Utilisation : enseignant, formateur, chercheur **Niveau :** lycée, 2^{de} *Age :* 15

Résumé :

Dans le cadre des options sciences des classes de seconde de l'Académie de Montpellier, instaurées de façon expérimentale à la rentrée 2004, se développe un travail interdisciplinaire entre les mathématiques, la physique et les sciences de la vie et de la terre. Une équipe Enseignement Scientifique a été constituée à l'IREM de Montpellier, comprenant des enseignants du lycée de Bagnols sur Cèze et des universitaires. Un des objectifs de cette équipe était d'observer et de collaborer à la mise en application de l'option sciences dans ce lycée. C'est à travers l'étude d'un des cycles proposés par les enseignants du lycée de Bagnols que nous essayerons d'observer des éléments qui permettent le dialogue entre disciplines sur un concept particulier. Ce travail scientifique interdisciplinaire est basé sur trois éléments fondamentaux qui sont : la curiosité, la démarche scientifique et l'expérimentation.

Notes : Cet article est en libre accès par le sommaire du numéro de Repères. Repères-IREM est la revue des Instituts de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques (IREM), elle a été créée en 1990.

Mots clés :

- [approximation](#)
- ["démarche scientifique"](#)
- [expérimentation](#)
- [interdisciplinarité](#)
- [interdisciplinarité](#)
- ["mathématiques et acoustique"](#)
- ["mathématiques et électricité"](#)
- ["mathématiques et optique"](#)
- ["mathématiques et physique"](#)
- ["mathématiques et Sciences de la vie et de la Terre"](#)
- [mesure](#)
- ["option sciences"](#)

b) L'option Sciences au lycée Jules Guesde de Montpellier

Sur demande de Marie-Françoise Roy, Présidente de la SMF, Thomas Hausberger a présenté au Conseil de la SMF en novembre 2006 un rapport informatif sur les options sciences.

Le dossier en question figure en annexe. Il a été rédigé sur la base de documents fournis par Jean-Pierre Richeton³ et de la réflexion menée au sein du groupe Enseignement Scientifique de l'IREM de Montpellier. Il constitue une synthèse présentant l'historique, les objectifs et les modalités de l'option telle qu'elle est pratiquée au sein du lycée Jules Guesde de Montpellier. Y figurent des exemples d'activité, des traces de travaux d'élèves et des témoignages.

La SMF a notamment apporté son soutien à la mise en place de dispositifs du type options sciences travers le collectif « Action sciences ».

³ Professeur agrégé de Mathématiques, lycée Jules Guesde de Montpellier

3. Les ressources 2004-2006 du lycée Gérard Philippe de Bagnols sur Cèze

Les ressources sont en téléchargement sur le site de l'IREM de Montpellier

<http://www.irem.univ-montp2.fr/Productions-des-classes-d-option>



Compétences visées par l'enseignement d'exploration MPS

- A : savoir utiliser et compléter ses connaissances ;
- B : s'informer, rechercher, extraire et organiser de l'information utile (écrite, orale, observable, numérique) ;
- C : raisonner, argumenter, pratiquer une démarche scientifique, démontrer ;
- D : communiquer à l'aide d'un langage et d'outils adaptés.

NOM de la RESSOURCE	MATHS	SPC	SVT	Compétences	Commentaires
<p>1démarche (démarche scientifique en Maths, SPC et SVT)</p>	<p>recherche centrée sur un problème de construction géométrique</p>	<p>discussion à partir d'un texte type dialogue de Galilée sur la couleur des objets</p>	<p>Analyse de documents sur la démarche scientifique (interrogations sur des observations faites sur des animaux)</p>	<p>A et C</p>	<p>Ces activités peuvent s'appuyer sur des documents ou des problématiques proposées dans chacun des six thèmes</p>
<p>démarchescientifique56</p>	<p>recherche centrée sur un problème de construction géométrique</p>	<p>comprendre des phénomènes optiques (introduction de la réfraction s'appuyant sur la recherche du chemin le plus rapide (prolongement de la partie math))</p>	<p>Analyse de documents sur la démarche scientifique (tremblement de terre et ondes sismiques)</p>	<p>A et C</p>	
<p><i>Mise en relation avec les thèmes de MPS</i></p>	<p>science et aliments (optimisation du conditionnement...)</p>	<p>science et œuvre d'art science et vision du monde</p>	<p>science et prévention des risques d'origine humaine</p>		

NOM de la RESSOURCE	MATHS	SPC	SVT	Compétences	Commentaires
2grandeur (travail sur les ordres de grandeur)	réalisation d'une maquette du système solaire (se rendre compte des différentes échelles et maîtriser le problème des unités et des changements d'unités)	réalisation d'une maquette du système solaire (connaissance du système solaire)		D,B et A	
<i>Mise en relation avec les thèmes de MPS</i>	science et vision du monde	science et vision du monde	science et vision du monde		

NOM de la RESSOURCE	MATHS	SPC	SVT	Compétences	Commentaires
3franklin (mesure de longueur ou de surface)	comment évaluer une aire	expérience de Franklin : mesure de la taille de petites particules	observation de l'infiniment petit avec un microscope	A,B,D	
<i>Mise en relation avec les thèmes de MPS</i>	science et prévention des risques d'origine humaine (évaluation de la surface ravagée par un incendie, recouverte par une nappe de pétrole...)	science et cosmétologie science et prévention des risques d'origine humaine (exemple de point de départ : les nanoparticules)	science et vision du monde		

NOM de la RESSOURCE	MATHS	SPC	SVT	Compétences	Commentaires
4phénomène (étude d'un phénomène évolutif)	utilisation de la calculatrice pour mettre en forme des données, modélisation	réalisation de mesures en fonction du temps	acquisition de données à l'aide d'un dispositif EXAO	C,B	Ces activités peuvent s'appuyer sur des documents ou des problématiques proposées dans chacun des six thèmes
fonction temps	'''	'''	'''	C,B	
<i>Mise en relation avec les thèmes de MPS</i>	science et aliments (suivi de la dégradation d'un aliment, conservation) science et prévention des risques d'origine humaine (radioactivité, compteur CRAB...)				

NOM de la RESSOURCE	MATHS	SPC	SVT	Compétences	Commentaires
5négligeable (quand peut on négliger des quantités)	étude de la fonction 1/x	réflexion à partir de quelques exemples simples (volumes de liquides, sons..)	les limites de l'œil	C,B	
<i>Mise en relation avec les thèmes de MPS</i>	science et investigation policière (test de dépistage, sensibilité des techniques d'analyse...) science et prévention des risques d'origine humaine (qualité de l'air, seuil d'acceptabilité)		science et vision du monde science et investigation policière (test de dépistage, sensibilité des techniques d'analyse...) science et prévention des risques d'origine humaine (qualité de l'air, seuil d'acceptabilité)		

NOM de la RESSOURCE	MATHS	SPC	SVT	Compétences	Commentaires
<u>6promenade</u>	repérage et cartographie		flore, terrain (nature et ensoleillement)	A,B,C	suit l'itinéraire choisi, peut s'adapter à tous les thèmes (sciences et aliments : chaîne alimentaire ; prévention des risques : inondations ; cosmétologie : pigments et parfums ...)
<i>Mise en relation avec les thèmes MPS</i>	tous	tous	tous		

NOM de la RESSOURCE	MATHS	SPC	SVT	Compétences	Commentaires
<u>7débat</u>	A partir d'une question qui pourrait paraître simple, il s'agit de susciter un débat dans le groupe et de favoriser les démarches qui apporteront une réponse			C,D	on peut choisir la question pour qu'elle s'intègre dans n'importe quel thème
<i>Mise en relation avec les thèmes MPS</i>	tous	tous	tous		

NOM de la RESSOURCE	MATHS	SPC	SVT	Compétences	Commentaires
<u>teinterouge et trianglecolorié</u>	coordonnées barycentriques dans le triangle	colorimétrie		A	
<i>Mise en relation avec les thèmes MPS</i>	science et art				

4. Une enquête sur l'option Démarches et Culture Scientifiques

Hélène Hagège

Objectifs de l'étude et hypothèses de travail

L'Option Démarches et Culture Scientifique (ODCS) a été proposée dans l'optique d'initier les élèves aux démarches scientifiques, de leur donner le goût des sciences en les leur faisant découvrir autrement que dans les cours traditionnels. Un objectif était notamment d'inverser la tendance actuelle à la diminution des effectifs dans les filières scientifiques universitaires. Nous avons voulu évaluer l'impact de l'ODCS sur les facteurs suivants :

- 1) Attitudes épistémiques des élèves (cf. première et deuxième parties du questionnaire en annexe).

Ce que nous appelons ici « attitude épistémique » correspond aux systèmes de croyances, valeurs et affects relatifs aux processus de connaissance – particulièrement ceux qui concernent les sciences, l'enseignement et l'apprentissage. En effet, nous avons émis les hypothèses suivantes. Si les objectifs de l'ODCS étaient atteints alors :

- i) les attitudes épistémiques des élèves vis-à-vis des sciences devraient changer car ils verraient les sciences sous un jour nouveau. Il se pourrait notamment qu'ils passent d'une conception qui pourrait être qualifiée de « positiviste » (selon laquelle : la science explique le monde tel qu'il est ; les savoirs ainsi produits sont en stricte correspondance avec la réalité ; certains correspondent à des formes de vérités éternelles – des lois universelles – qui ne seront plus remises en question) à une conception qui serait plus « constructiviste » (selon laquelle : les sciences sont construites par des communautés humaines ; les savoirs sont produits par des négociations entre les « faits » et les hommes, dans un contexte culturel et historique donné, si bien que l'on ne peut pas dire ce qui viendrait des « choses en elles-mêmes » ou des hommes).
 - ii) leurs attitudes épistémiques vis-à-vis de l'enseignement, l'apprentissage, l'erreur... pourraient également évoluer car ils auraient une expérience différente en tant qu'élèves. L'hypothèse est que si, par rapport à un cours traditionnel, ils sont plus actifs (car acteurs des expérimentations et de la mise en œuvre de la démarche), qu'ils travaillent plus en groupe tel que la régulation par les pairs aie plus d'importance et qu'ils aient plus de plaisir, alors il est possible ces attitudes épistémiques évoluent significativement.
- 2) Capacité à résoudre des problèmes non routiniers (cf. troisième partie du questionnaire en annexe)

L'hypothèse est que les élèves pourraient acquérir des compétences liées aux disciplines concernées mais pas spécifiquement à un savoir. Nous leur avons donc soumis des problèmes non routiniers, c'est-à-dire des problèmes qui ne correspondent pas aux stéréotypes retrouvés dans les ouvrages scolaires et qui nécessitent la mobilisation de savoirs disciplinaires comme outils de résolution sans que ce soit explicitement apparent dans la consigne. Ils impliquent donc une capacité de réflexion qui intime de sortir du connu pour envisager des situations nouvelles.

- 3) Goût des élèves pour les sciences, orientation vers des filières scientifiques et vécu subjectif de l'ODCS (cf. dernière partie du questionnaire en annexe)

Cette partie correspond à un sondage d'opinion qui vise à évaluer l'atteinte des objectifs institutionnels énoncés en entête et les hypothèses sous-jacentes.

Principe de l'expérimentation

La procédure suivie correspond au classique pré-test/post-test avec témoin négatif. Le questionnaire présenté en annexe a été soumis aux élèves de 8 classes de 2^{nde} réparties dans 5 lycées du Languedoc Roussillon une fois début septembre 2007 (pré-test) et une seconde fois mi-mai 2008

(post-test). Sur chacune de ces 8 classes, la moitié des élèves environ suivait l'ODCS, tandis que l'autre moitié (témoin négatif) suivait une autre option.

Une fois récoltées, les réponses au questionnaire sont codées en chiffres (*e.g.* en ce qui concerne les échelles « 1 » si c'est la case la plus à gauche qui est cochée, « 2 » si c'est la suivante *etc.* quant à la réussite aux problèmes non routiniers, elle est codée en note). Ensuite, en ce qui concerne les échelles (parties où il faut cocher), pour chaque élève des moyennes (appelées « scores ») sont faites entre plusieurs items. Enfin, des tests statistiques permettent de comparer les deux populations (ODCS et témoins) ainsi que les différences entre les résultats obtenus au pré-test et au post-test pour chaque sous-population.

Il était attendu comme résultats que les élèves suivant l'ODCS aient des scores et des notes i) statistiquement similaires aux témoins au pré-test ii) statistiquement significativement différents entre le pré-test et le post-test, contrairement aux témoins. L'intérêt du groupe témoin est de pouvoir argumenter en faveur de l'idée que les changements observés soient spécifiquement dus à l'ODCS et non pas à tout autre facteur qui pourrait jouer sur les variables observées.

Résultats et interprétations préliminaires

Voici résumés les résultats que nous avons mis à jour pour l'instant. Les différences indiquées correspondent à des différences statistiquement significatives au seuil de 0,05.

1) Comparaison des deux sous populations (ODCS et témoins) au pré-test

Les ODCS par rapport aux témoins :

- sont plus jeunes
- réussissent mieux à l'exo de maths
- ont des indicateurs de « plaisir à faire des sciences » (*plai*) et de « projets d'études scientifiques » (*pro* ; >50%) supérieurs
- ont des scores indiquant qu'ils seraient plus positivistes concernant les savoirs scientifiques, plus constructivistes concernant l'enseignement et confèreraient des valeurs plus positives à l'erreur

Interprétation proposée : cette option sélectionne un public « plus doué » *i.e.* ayant plus de facilité à répondre aux attentes du système scolaire et qui apprennent mieux dans ce contexte.

Nota : le fait que les deux sous populations ne soient pas comparables au départ invalide le protocole (notamment les « témoins » ne peuvent pas constituer des témoins négatifs pour l'expérimentation).

2) Evolution des scores des témoins

Les témoins, au cours de l'année :

- diminuent leur indicateur *plai*
- réussissent mieux à l'exercice de physique
- augmentent leurs scores indiquant qu'ils confèreraient des valeurs positives à l'erreur

3) Evolution des scores des ODCS

Ceux qui ont suivi l'ODCS, au cours de l'année :

- diminuent leurs indicateurs *pro* et *plai* (ce dernier résultat étant commun aux deux groupes il pourrait être simplement dû à la proximité des vacances scolaires)
- réussissent mieux à l'exercice de physique
- augmentent leurs scores indiquant qu'ils confèreraient des valeurs et des affects positifs envers l'erreur
- augmentent leurs scores indiquant qu'ils seraient constructiviste envers la science

Interprétation : cette option pourrait permettre de changer le rapport à l'erreur et aux savoirs scientifiques. Concernant les autres indicateurs, des études plus poussées (notamment de corrélation entre variables) doivent être effectuées avant de proposer une interprétation.

Annexe : questionnaire correspondant au post-test (identique à celui passé au pré-test à l'exception près que le post-test contient en plus : l'exercice n°4 de la troisième partie et les dernières questions M9 à 11)

Date :

Etablissement :

Classe :

NUMÉRO D'ANONYMAT

Jour de naissance de ma mère : Jour de naissance de mon père :

Début du prénom de ma mère : Début du prénom de mon père :

RENSEIGNEMENTS PERSONNELS

P1. Age : _____ ans

P2. Sexe : Féminin Masculin

P3. Domaine d'activité professionnelle de mes parents (actuel ou passé) : Je coche la ou les case(s) pertinente(s) :

Education scientifique Recherche scientifique Agriculture Industrie Santé Commerce

Services Autre

Ce questionnaire est divisé en plusieurs parties. Il est important que je réponde à toutes les questions, de façon spontanée.

Première partie : Propositions

Je mets une croix (et une seule) par ligne, plus ou moins proche de « d'accord », en fonction de mon degré d'accord avec la phrase qui précède.

A. A propos de la science							
1	Le savoir scientifique est construit par les scientifiques.	D'accord	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pas d'accord
2	Le savoir scientifique est découvert par les scientifiques.	D'accord	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pas d'accord
3	Le savoir scientifique dépend en partie des préjugés et des opinions des scientifiques.	D'accord	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pas d'accord
4	La science produit des connaissances qui s'accumulent toujours progressivement.	D'accord	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pas d'accord
5	On ne peut pas faire d'observation scientifique sans une théorie qui guide l'observation.	D'accord	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pas d'accord
6	Le progrès de la science consiste en une accumulation graduelle de connaissances.	D'accord	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pas d'accord
7	Tous les chercheurs d'un domaine sont égaux face à une expérience.	D'accord	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pas d'accord
8	Tous les chercheurs d'un domaine sont égaux face à une théorie.	D'accord	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pas d'accord
9	Quelque chose est dit « scientifique » uniquement parce que les scientifiques en ont décidé ainsi.	D'accord	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pas d'accord

10	Toute observation scientifique est neutre.	D'accord							Pas d'accord
11	Un chercheur isolé peut faire de la science.	D'accord							Pas d'accord
12	Dans la phase d'observation, un scientifique n'interprète en rien ce qu'il voit.	D'accord							Pas d'accord
13	Observer, c'est recevoir passivement de « l'information » de ce que l'on regarde.	D'accord							Pas d'accord
14	Il y a des connaissances scientifiques qui sont considérées comme acquises et sur lesquelles on ne reviendra jamais.	D'accord							Pas d'accord
15	Les chercheurs n'utilisent pas leurs croyances pour faire de la science.	D'accord							Pas d'accord
16	L'erreur est toujours évitée en science.	D'accord							Pas d'accord
17	Parfois, je ne crois pas les faits relatés dans des livres écrits par des experts.	D'accord							Pas d'accord
18	En fait quand on dit qu'une loi est « vraie », ça veut seulement dire qu'on n'a pas (encore) trouvé de cas où elle ne marchait pas.	D'accord							Pas d'accord
19	C'est l'addition des travaux individuels des chercheurs qui augmente le savoir scientifique.	D'accord							Pas d'accord
20	C'est à partir des confrontations au sein de la communauté scientifique que naît le savoir scientifique.	D'accord							Pas d'accord
21	Même un chercheur isolé peut décider si une connaissance donnée peut être ajoutée au savoir scientifique.	D'accord							Pas d'accord
R1	Trop de théories ne fait que compliquer les choses.	D'accord							Pas d'accord
22	Seul un groupe de chercheurs peut décider si une connaissance donnée peut être ajoutée au savoir scientifique.	D'accord							Pas d'accord
B. A propos de l'enseignement									
23	Un enseignant en sciences a comme but premier de transmettre des savoirs scientifiques	D'accord							Pas d'accord
24	Un enseignant en science ne peut pas atteindre ses objectifs sans une participation active des élèves	D'accord							Pas d'accord
25	Un enseignant, lorsqu'il donne un cours de science, doit expliquer, puis donner des exercices d'application, puis poser des questions.	D'accord							Pas d'accord
26	En enseignant doit s'efforcer de mettre en relation le nouveau savoir qu'il expose avec les connaissances que l'élève a déjà.	D'accord							Pas d'accord
27	Si l'élève a déjà une idée sur une notion, qui est incohérente avec ce que l'enseignant veut exposer, il s'agit d'un simple malentendu que l'enseignant doit dissiper.	D'accord							Pas d'accord
28	Si l'élève a déjà une idée sur une notion, qui est incohérente avec ce que l'enseignant veut exposer, il s'agit d'une idée qui a autant de valeur que celle de l'enseignant.	D'accord							Pas d'accord
29	Enseigner en biologie, c'est énoncer et expliquer un ensemble de faits.	D'accord							Pas d'accord
30	Les élèves reçoivent passivement ce que l'enseignant dit.	D'accord							Pas d'accord
31	Les enseignants sont responsables de l'apprentissage des élèves.	D'accord							Pas d'accord
32	Pendant une leçon, il est important de garder les élèves concentrés sur leurs livres et leur cahier.	D'accord							Pas d'accord
33	Apprendre dans la classe implique que les élèves aient de larges opportunités pour explorer, discuter et exprimer leurs idées.	D'accord							Pas d'accord
34	Les bons élèves restent calmes et suivent les instructions de l'enseignant dans la classe.	D'accord							Pas d'accord
35	Un bon enseignant favorise les confrontations d'idées entre élèves plutôt que les cours magistraux.	D'accord							Pas d'accord

36	Un bon enseignant commence toujours une nouvelle leçon d'un thème jamais abordé dans le cursus scolaire en faisant un sondage de ce que les élèves ont à dire sur le thème de la leçon.	D'accord							Pas d'accord
37	Si un élève n'est pas d'accord avec l'enseignant de science sur un problème scientifique, c'est que l'élève est dans l'erreur.	D'accord							Pas d'accord
38	L'enseignant en sciences détient le savoir. Il n'a qu'à le transmettre avec pédagogie.	D'accord							Pas d'accord
R2	Les enseignants devraient insister plus sur les faits que sur les théories.	D'accord							Pas d'accord
39	L'enseignant doit prendre en compte ce que les élèves ont imaginé sur une notion, avant même de l'avoir vue en cours.	D'accord							Pas d'accord
40	Un bon enseignant prend le savoir tel quel et le transmet sans le remettre en question.	D'accord							Pas d'accord
41	Un enseignement est bon lorsque c'est majoritairement l'enseignant qui parle dans la classe.	D'accord							Pas d'accord
42	Les bons enseignants encouragent toujours les élèves à réfléchir aux réponses par eux-mêmes.	D'accord							Pas d'accord
43	Il est important pour un enseignant de comprendre les sentiments de ses élèves.	D'accord							Pas d'accord
C. A propos de l'apprentissage									
44	On ne peut pas faire grand-chose pour augmenter son intelligence, car les capacités de chacun sont fixées à la naissance.	D'accord							Pas d'accord
45	Les capacités innées limitent ce que l'on peut apprendre.	D'accord							Pas d'accord
46	Si quelqu'un n'arrive pas à comprendre quelque chose tout de suite, il devrait continuer d'essayer.	D'accord							Pas d'accord
47	Chaque enfant est unique ou spécial et mérite une éducation adaptée à ses besoins particuliers.	D'accord							Pas d'accord
48	La connaissance et les stratégies d'apprentissage sont construites par l'élève.	D'accord							Pas d'accord
49	L'apprentissage implique une restructuration de ce qu'il y a dans la tête de l'élève.	D'accord							Pas d'accord
50	Les élèves sont actifs dans leur apprentissage et ils en sont les premiers responsables.	D'accord							Pas d'accord
51	L'apprentissage correspond à une simple accumulation de nouvelle information dans la mémoire.	D'accord							Pas d'accord
R3	La plupart des choses qui méritent d'être connues sont faciles à comprendre.	D'accord							Pas d'accord
52	Les émotions n'interviennent pas dans l'apprentissage des sciences.	D'accord							Pas d'accord
53	Pour apprendre une notion scientifique quand on a les bases suffisantes, il suffit de se concentrer et de retenir l'information.	D'accord							Pas d'accord
54	Quand il n'a jamais vu une notion scientifique en cours, l'élève est vierge d'idées par rapport à cette notion.	D'accord							Pas d'accord
55	Quand il n'a jamais vu une notion scientifique en cours, l'élève peut l'assimiler directement.	D'accord							Pas d'accord
56	L'élève construit son propre savoir.	D'accord							Pas d'accord
57	Quand il n'a jamais vu une notion scientifique en cours, l'élève a quand même une idée personnelle de la notion.	D'accord							Pas d'accord
58	Quand on apprend, on accumule des informations.	D'accord							Pas d'accord
59	On peut apprendre sur un sujet sans se poser des questions dessus.	D'accord							Pas d'accord
60	L'élève est comme un réceptacle vide que l'enseignant n'a qu'à remplir en lui apportant des informations.	D'accord							Pas d'accord
61	L'élève apprend des notions scientifiques de façon parcellaire, les unes après les autres.	D'accord							Pas d'accord

Deuxième partie : adjectifs

Comment est-ce que **je** perçois « le savoir scientifique », « l'erreur », « l'apprentissage » et « la preuve »?

Pour chaque paire d'adjectif (c'est-à-dire pour chaque ligne), je coche une case sur les 5 possibles. En fonction de mon avis, cette case sera plus ou moins proche de l'adjectif qui, pour moi, caractérise le mieux ce qui est indiqué en gras.

le savoir scientifique

beau					laid
exact					approximatif
faux					vrai
agréable					douloureux
individuel					collectif
me rend triste					me rend joyeux(se)
bon					mauvais
définitif					temporaire
relatif					absolu
me fait peur					me fait envie
abstrait					concret
intéressant					inintéressant
précis					imprécis
négatif					positif
expérimental					théorique
m'apaise					me met en colère

l'erreur

belle					laide
exacte					approximative
fausse					vraie
agréable					douloureuse
individuelle					collective
me rend triste					me rend joyeux(se)
bonne					mauvaise
définitive					temporaire
relative					absolue
me fait peur					me fait envie
abstraite					concrète
intéressante					inintéressante
précise					imprécise
négative					positive
expérimentale					théorique
m'apaise					me met en colère

l'apprentissage

beau					laid
exact					approximatif
faux					vrai
agréable					douloureux
individuel					collectif
me rend triste					me rend joyeux(se)
bon					mauvais
définitif					temporaire
relatif					absolu
me fait peur					me fait envie
abstrait					concret
intéressant					inintéressant
précis					imprécis
négatif					positif
expérimental					théorique
m'apaise					me met en colère

la preuve	
belle	laide
exacte	approximative
fausse	vraie
agréable	douloureuse
individuelle	collective
me rend triste	me rend joyeux(se)
bonne	mauvaise
définitive	temporaire
relative	absolue
me fait peur	me fait envie
abstraite	concrète
intéressante	inintéressante
précise	imprécise
négative	positive
expérimentale	théorique
m'apaise	me met en colère

Troisième partie : Problèmes non routiniers

1) Cette situation a lieu dans une société imaginaire. Vous êtes chercheur dans une communauté scientifique. La proposition A est admise par la communauté scientifique, car elle a été confirmée de nombreuses fois. Un début de recherche vous a apporté les résultats B et C.

NB : La mistonite est un animal.

A. Toutes les mistonites sont noires.

B1. Des mistonites ont été découvertes à Trumus-les-Eaux.

B2. Elles sont marron clair.

B3. Par hasard, vous avez découvert qu'elles sont infectées par le virus CP (qui ne semble pas affecter leur longévité).

C1. Les mistonites de Rocheblais sont noires.

C2. Elles ne sont pas infectées par le virus CP

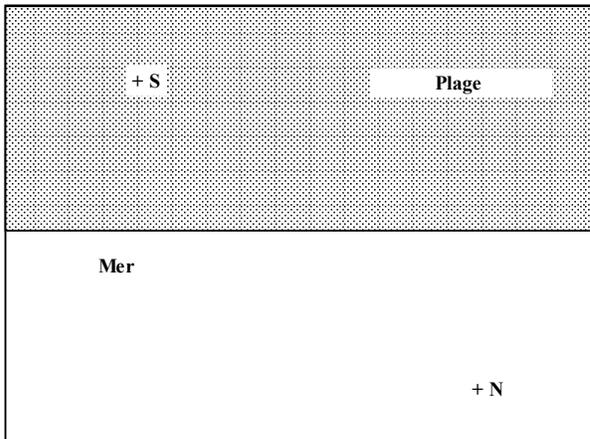
a) Comment expliquez-vous l'existence de mistonites marron clair ?

b) Vos découvertes remettent-elles en question la proposition A ?

c) Comment envisagez-vous, précisément, de poursuivre vos recherches pour faire progresser la science dans ce domaine ? Justifiez.

2) Un nageur imprudent (N) est en train de se noyer, heureusement le sauveteur (S) l'a repéré.

Représenter l'allure du trajet suivi par le sauveteur pour secourir le nageur au plus vite. Argumenter votre proposition.

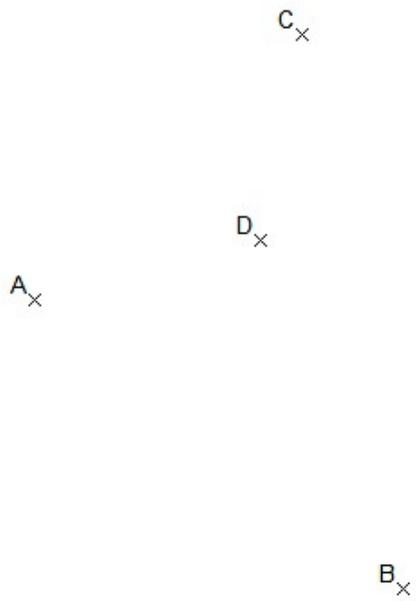


3) Les 4 points ABCD ont été placés dans un repère orthonormé qui a disparu (voir page suivante).

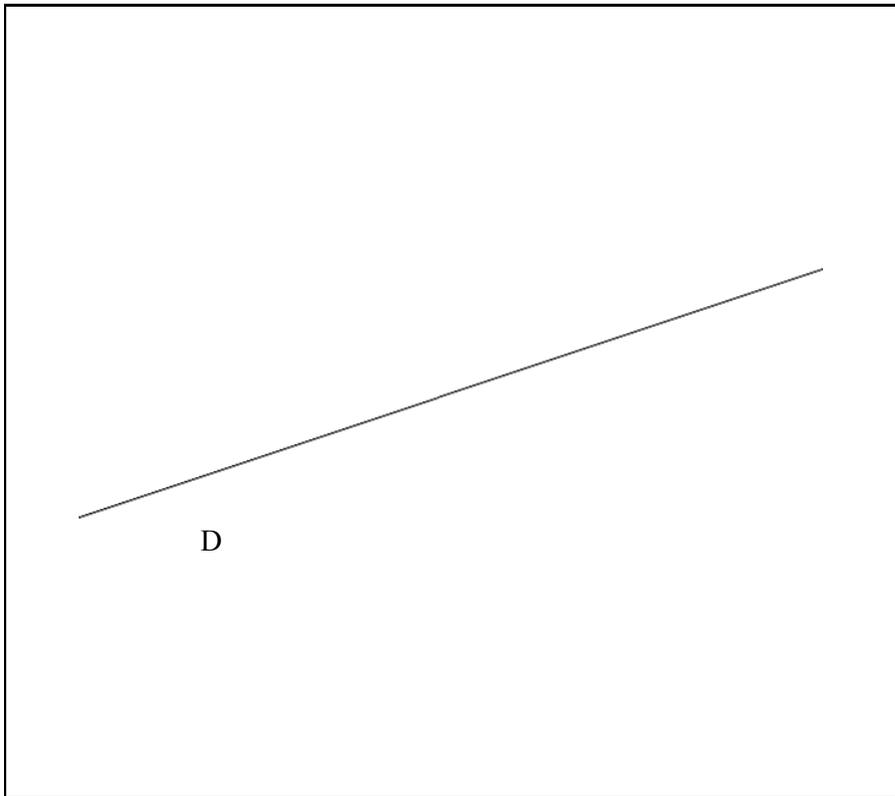
Retrouvez le à partir de la donnée des coordonnées dans ce repère des points,

A (-4 ; 2) , B (2 ; -6) , C (3 ; 6) , D (1 ; 2)

En justifiant votre construction et la méthode suivie.



4) Retrouvez dans le cadre ci-dessous un repère orthonormé dans lequel la droite (D) a pour équation $3x + y - 4 = 0$. Vous pouvez commentez votre réflexion sur le côté du cadre.



Dernière partie : Moi et la science

1) Quand on me propose un problème scientifique que j'ai des difficultés à résoudre :

- a) cela attise ma curiosité
 D'accord Pas d'accord
- b) cela me laisse indifférent(e)
 D'accord Pas d'accord
- c) j'ai très envie de le résoudre et j'essaie jusqu'à ce que j'y arrive
 D'accord Pas d'accord
- d) cela m'énerve rapidement et je préfère attendre la solution ou passer à autre chose
 D'accord Pas d'accord
- e) j'ai du plaisir à essayer de trouver seul(e) la solution
 D'accord Pas d'accord

2) Quand je ne comprends pas quelque chose en cours de sciences :

- cela attise ma curiosité
 D'accord Pas d'accord
- cela m'énerve
 D'accord Pas d'accord
- cela me laisse indifférent(e)
 D'accord Pas d'accord
- je n'essaie même pas de comprendre, de toutes façons je ne suis pas doué(e)
 D'accord Pas d'accord

- je demande tout de suite de l'aide pour que l'on m'explique
D'accord Pas d'accord
- je préfère essayer de comprendre tout seul avant de demander de l'aide
D'accord Pas d'accord
- j'ai du plaisir à essayer de comprendre
D'accord Pas d'accord

3) Quand je dois apprendre mes leçons de sciences et faire des exercices à la maison :

- 1) même si c'est une contrainte, j'ai du plaisir à essayer de comprendre, de retenir et de faire les exercices
D'accord Pas d'accord
- 2) cela me laisse indifférent(e), je le fais parce que j'y suis obligé(e)
D'accord Pas d'accord
- 3) je me décourage rapidement devant les difficultés
D'accord Pas d'accord
- 4) c'est vraiment une corvée pour moi ; je n'y prends aucun plaisir
D'accord Pas d'accord
- 5) je ne suis satisfait(e) que lorsque j'ai tout compris (la leçon et les exercices)
D'accord Pas d'accord

Mon intérêt pour la science en dehors du cadre scolaire :

- je lis des articles ou des magazines scientifiques
Régulièrement Jamais
- je regarde ou j'écoute des émissions scientifiques
Régulièrement Jamais
- je joue à des jeux basés sur la science
Régulièrement Jamais
- autre (je précise) :
Régulièrement Jamais

M5 J'aimerais bien, plus tard, faire des études de sciences à l'université

D'accord Pas d'accord

M6 Je prends plus de plaisir en cours de science qu'en cours d'histoire-géographie, de langues ou de français

D'accord Pas d'accord

M7 L'année prochaine, j'aimerais aller en 1^{ère} : S, ES, L, autre : _____

M8 L'option que j'ai suivie m'a aidé à me déterminer dans mon choix de 1^{ère}

D'accord Pas d'accord

ODCS J'ai suivi l'Option Démarches et Culture Scientifique cette année : Oui Non

Si non, j'indique le nom de l'option suivie :

Si oui :

M9 J'ai pris plus de plaisir pendant l'ODCS qu'en cours de science traditionnel

D'accord Pas d'accord

M10 Cette année, j'ai parlé avec mon entourage familial des notions ou expériences évoquées pendant l'ODCS

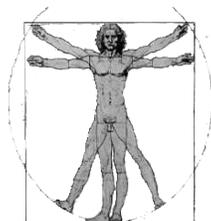
D'accord Pas d'accord

M11 J'ai refait chez moi des expériences vues en ODCS

D'accord Pas d'accord

5. Les démarches en Sciences : points de vue épistémologiques et didactiques

a) La démarche scientifique : une approche épistémologique



Hélène Hagege⁴

Plan du document

1 De la démarche scientifique antique à la démarche scientifique moderne

- 1.1 La démarche scientifique antique chez les Grecs : l'amour de la raison
- 1.2 La démarche scientifique au Moyen-Âge : la théorie toute puissante
- 1.3 La démarche scientifique moderne à la Renaissance : la primauté de l'expérience
- 1.4 Des points communs aux démarches scientifiques

2 Des idéalizations de la démarche scientifique moderne relevant toutes de l'inductivisme

- 2.1 L'empirisme
- 2.2 Le positivisme

3. Des descriptions plus réalistes de la démarche scientifique moderne

- 3.1 La dimension subjective de la démarche scientifique
- 3.2 La dimension logique de la démarche scientifique
- 3.3 Les dimensions sociale et rationnelle de la démarche scientifique
- 3.4 La dimension politique de la démarche scientifique

4. Des approches épistémologiques actuelles de « la démarche scientifique »

- 4.1 Les approches constructivistes et les *sciences studies*
- 4.2 Le mythe de « la » démarche scientifique
- 4.3 Objectivité, observation et fait : démarche en l'absence de raison pure
- 4.4 Création et rejet de modèle : établissement de preuves dans les sciences « dures »
- 4.5 La communauté scientifique : un élément de « la démarche scientifique »

5. Conclusion générale - De l'enseignement de « la démarche scientifique » : intérêts didactiques de l'épistémologie.

Bibliographie

⁴ LIRDEF (Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique, Education et Formation)
UM2 - CC 077 - Place Bataillon – 34095 Montpellier Cedex 5
Tél: (33) 467 143 695 – email: hhagege@univ-montp2.fr

Introduction

Les sciences dites dures (mathématiques, physique, chimie, sciences de la vie, de la terre ou de l'univers) jouissent d'un statut privilégié dans nos sociétés occidentales. Elles produisent des connaissances auxquelles on accorde une valeur particulière. D'où vient cette particularité ? En quoi ces connaissances sont-elles différentes des autres connaissances issues de l'activité humaine (sciences humaines, religions, cuisine,...)? Comment sont-elles élaborées ?

D'aucuns pensent que la science est caractérisée par la mise en œuvre d'une démarche particulière, « la démarche scientifique ». Selon l'image populaire, une telle démarche aurait pour but de *découvrir*, de comprendre et d'expliquer le monde *tel qu'il est*. Elle serait constituée d'*étapes bien déterminées*, respectées de manière rigoureuse. Elle consisterait en l'exercice d'une raison *pure*, la confrontation avec des expériences et des observations *neutres*, qui conduiraient à l'élaboration de théories en stricte correspondance avec la *réalité*. Ainsi, les connaissances *objectives* qui en émanent *s'ajouteraient progressivement* de manière à tendre asymptotiquement vers la *vérité*, *i.e.* une description du monde *tel qu'il est* (même si l'histoire nous a montré que la science avance parfois par tâtonnement, les erreurs seraient éliminées au fur et à mesure, de telle manière que les connaissances conservées au bout du compte répondraient à ce schéma).

Notre premier objectif est ici est de questionner cette vision spontanée de la démarche scientifique (particulièrement les termes en italique), en la confrontant à l'éclairage critique qu'y apportent les épistémologues.

Cette vision populaire des sciences correspond à ce qui est véhiculé implicitement par les institutions : souvent *via* les scientifiques eux-mêmes et également par le système scolaire. Connaître l'épistémologie de son domaine fait partie des compétences demandées aux professeurs et cette discipline figure désormais au programme des nouveaux concours de recrutement des professeurs. Quel en sont l'intérêt et la pertinence ? Les programmes scolaires actuels privilégient de plus en plus l'acquisition de compétences plutôt que celle de connaissances. En ce qui concerne les matières scientifiques, on se demande donc comment mieux articuler connaissances et compétences (Romainville, 2006). Enseigner la "démarche scientifique" serait-il un moyen qui permettrait de répondre à cette difficulté ?

Nous proposerons des éléments de réponse à ces questions dans la dernière partie de ce document.

Encart 1 – Qu'est-ce que l'épistémologie ?

Le terme « *epistemology* » apparaît pour la première fois en 1854. Il est composé de racines grecques qui signifient ensemble « discours rationnel (*logos*) sur le savoir (*épistémé*) ». Il est introduit en français en 1901 comme un équivalent de « philosophie des sciences ». Aujourd'hui, « épistémologie » et « philosophie des sciences » sont distinguées. La première correspond à la science qui étudie comment fonctionne la science. Elle consiste donc en l'analyse rigoureuse des discours scientifiques et de leurs modalités de production. Contrairement à ce qui est appelé « philosophie des sciences », l'épistémologie exclue le plus souvent une réflexion sur le sens des concepts (elle se concentre sur leur rôle). Elle tente de répondre aux questions suivantes : « D'où viennent les savoirs scientifiques? Qu'ont-ils de particulier par rapport aux autres savoirs ? Comment sont-ils validés ? Quelle est leur portée explicative ? »

1 De la démarche scientifique antique à la démarche scientifique moderne

Afin de comprendre comment s'est constituée une démarche particulière aux sciences, il nous faut envisager comment, historiquement, une telle démarche s'est individualisée. Ainsi nous vous invitons à replonger dans le passé, à imaginer ce qui s'est mis en place dans des sociétés qui étaient bien différentes de celle qui est la nôtre aujourd'hui.

1.1 La démarche scientifique antique chez les grecs : l'amour de la raison

La naissance de l'activité scientifique est située en Grèce, au VI^{ème} siècle avant notre ère. Les mathématiques sont en fait nées bien avant, avec les échanges commerciaux et les nécessités coïncidentes de dénombrer des objets et de calculer des surfaces cultivables⁵. Elles étaient alors des outils permettant de résoudre des problèmes pragmatiques. On utilisait par exemple des « π » approximatifs pour calculer l'aire des cercles. Ce sont les grecs qui ont posé les premiers fondements solides des mathématiques, qui en ont fait une véritable discipline théorique, avec des énoncés généraux plutôt que relatifs à tel ou tel cas particulier, et qui leur ont imprimé un style viable aujourd'hui encore. Cette nouvelle démarche aurait été mise en place grâce à la nouvelle société de citoyens relativement libres et souverains : elle a donné une place privilégiée à la discussion et au débat public, favorisant ainsi le développement de la pensée abstraite et argumentée – la philosophie –, et des considérations mathématiques fondées sur des raisonnements rigoureux, donc persuasifs. Ainsi, les historiens considèrent que c'est dans cette société que sont nées les véritables démonstrations mathématiques.

C'est à Pythagore (570-480) que l'on doit les termes *philosophia* « amour de la sagesse » et *mathèma* (mathématique) « ce qui est appris ». C'est lui et son école qui auraient détaché les mathématiques des préoccupations utilitaires. Leur devise, « tout est nombre », signifie que les nombres entiers sont l'essence du monde et de sa connaissance. Ainsi, ils associent à chaque nombre entier un principe métaphysique qui lui confère une signification mystique.



Avec son prédécesseur et maître supposé Thalès (625-547), ils sont les premiers connus à tenir un discours rationnel sur la nature. C'est-à-dire qu'ils cherchent à expliquer les phénomènes naturels par des causes naturelles (et non par l'action des Dieux). Par exemple, selon Thalès, un seul principe actif – l'eau – peut expliquer les mouvements et transformations que le monde subit. Tandis que pour son disciple Anaximène (585-525), il s'agit de l'air. Ils procèdent par confrontation d'arguments. Leur but est d'élaborer une connaissance vraie. Cette attitude est appelée rationalisme : la connaissance viendrait de l'exercice de la raison.

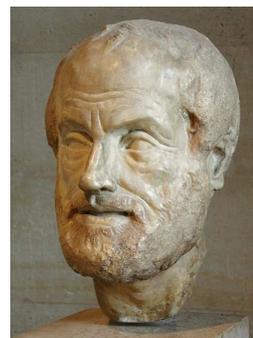
Contrairement aux Pythagoriciens, Platon (428-348) pense que le monde en soi n'est pas connaissable ; il est idéaliste. C'est-à-dire que la connaissance ne porterait pas sur le monde réel, mais sur un monde idéal, où les objets sont parfaits – le monde des Idées. Par exemple, la connaissance qui consiste à penser le cercle et les propriétés mathématiques qui en découlent ne concerne pas ce qui se passe dans le réel où aucun cercle – *i.e.* une infinité d'entités unidimensionnelles, les points, parfaitement équidistantes d'un centre – n'existe.

Aristote (384-322), élève de Platon, s'oppose à l'idéalisme de son maître ; il est réaliste. En effet, pour lui, le monde « d'en bas » est connaissable, il a une logique propre qui est accessible à notre raison. Ainsi, c'est le premier qui propose l'idée d'une physique (*phusikè*), qu'il nomme également « philosophie seconde » (la philosophie première correspondant à la métaphysique). Selon lui, la vérité ne peut venir que de l'argumentation logique et de l'observation du monde. Par

⁵ « calcul » vient du latin *calculus*, « caillou » ; à l'origine, les bergers avaient un pot à l'entrée de la bergerie où ils jetaient autant de cailloux que de moutons qui sortaient afin de vérifier leur nombre au moment de les rentrer.

exemple, il disséquait les êtres vivants et les classait selon deux critères : la morphologie et la fécondité intraspécifique. Ainsi, la faculté suprême de l'homme, la raison (*nous*), nous permet la contemplation (*theoria*) du monde tel qu'il est.

Aristote appelle *épistémé* la nature de la connaissance, qu'il croit venir de la logique, modalité de raisonnement qui du général au particulier, de l'abstrait au concret. C'est la démarche scientifique qu'il prône. Il a analysé les conditions d'établissement d'une preuve par l'argumentation déductive. La démarche déductive va du général au particulier : en partant de principes généraux, on fait des déductions sur les cas particuliers (elle s'oppose à la démarche inductive, qui consiste à dégager des principes généraux à partir de l'étude de cas particuliers). Ainsi Aristote élabore une métaphysique, selon laquelle la variété et les transformations des objets réels à la combinaison de quatre éléments : terre, air, feu, eau. Le monde céleste est de plus régi par une substance plus noble : l'*aithèr*. Les proportions des quatre ou cinq éléments déterminent les qualités des objets selon une série d'échelles, du chaud au froid, du sec à l'humide, du haut au bas, *etc.* Il propose donc un système théorique plus vaste et plus riche que ceux de ses prédécesseurs.



Ainsi, pratiquant l'observation, recherchant les causes et classant les phénomènes, il se lance dans l'entreprise de mettre à jour l'ordre inhérent à la nature.

1.2 La démarche scientifique au Moyen-Âge : la théorie toute puissante

On doit à Aristote des contributions majeures, qui, aujourd'hui encore, sont prégnantes. Des siècles après lui, Thomas-d'Aquin (1225-1274) entreprend de transférer au christianisme la science aristotélicienne en l'arrangeant pour la concilier aux thèses de l'église. Il introduit donc une physique finaliste et une cosmologie géocentriste. Il réussit une synthèse entre la « vérité révélée » et la science aristotélicienne, rendant à l'étude de la nature une légitimité nouvelle. Cette synthèse – la scolastique⁶ – devient *in fine* la position officielle de l'église et la base d'un mouvement philosophique et théologique. Elle est enseignée dans les écoles et universités européennes (Durkheim, 1938). Son but ultime est d'intégrer en un système ordonné la sagesse naturelle de l'antiquité gréco-romaine et la foi chrétienne. Les scolastiques se conformaient étroitement aux exigences de la démonstration scientifique telles que les avait définies Aristote mais, loin d'essayer de produire des œuvres originales, ils se contentaient d'étudier et de citer les auteurs anciens. Pour étudier un texte, on étudiait plutôt le commentaire qu'avait composé sur ce texte une autorité reconnue, qu'on enrichissait ensuite de son propre commentaire et de ses réflexions personnelles, quitte à tenter de démontrer que le commentateur précédent s'était trompé au niveau de l'interprétation du texte original.

La logique formelle ou aristotélicienne a été conservée jusqu'à la fin du Moyen –Age. Elle perdure en mathématiques où elle a quand même ses limites (*e.g.* les propositions indécidables⁷). Elle devient coupée de la réalité. On va la critiquer à l'époque avec un syllogisme devenu célèbre : « *Un cheval bon marché est rare. Or tout ce qui est rare est cher. Donc un cheval bon marché est cher.* »

6 La scolastique est d'une part une méthode fondée sur l'étude et le commentaire des textes religieux et profanes fondamentaux et autorisés et, d'autre part, une philosophie développée et enseignée dans les universités du Moyen Âge visant à réconcilier la philosophie antique, et en particulier l'enseignement d'Aristote, avec la théologie chrétienne.

7 Un résultat d'impossibilité mathématique est celui de l'indécidabilité obtenu par Kurt Gödel en 1930. Ce logicien autrichien a démontré que si l'on se donne un ensemble d'axiomes permettant de développer l'arithmétique des entiers, alors il existe des propriétés vraies des nombres qui sont indécidables, c'est-à-dire des propriétés vraies mais impossibles à prouver en utilisant l'ensemble initial d'axiomes.

1.3 La démarche scientifique moderne à la Renaissance : la primauté de l'expérience

À la Renaissance, un élan de retour à la nature exalte la société. On comprend alors que la raison n'a de valeur scientifique que si elle est confrontée à l'expérience et c'est Galilée qui assiera cette nouveauté dans la démarche scientifique (et en fera les frais).



Galileo Galilei (1564-1642), dit Galilée, est mathématicien et physicien. Il arrive dans un monde où la scolastique est de rigueur et l'inquisition une autorité juridique toute puissante. Depuis plusieurs siècles, la scolastique impose une vision du monde qui conforte nos sens (et notre morale) : comme on le voit tous les jours, le soleil tourne autour de la terre – il *se couche* le soir – et les étoiles sont fixes dans le ciel, accrochées au dôme céleste. Nicolas Copernic (1473-1543), scientifique polonais, auteur de la théorie héliocentrique est alors mort. Il publia sa théorie le jour de sa mort afin d'éviter les représailles de l'église et en la présentant comme une

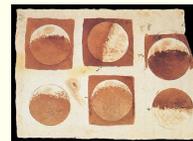
hypothèse accommodante pour ses calculs, pas comme une assertion véritable (il se présentait donc comme un idéaliste).

Galilée étudie la cycloïde et formule les lois de la chute des corps, montrant que la trajectoire d'un projectile est une parabole. Il réalise l'un des premiers microscopes et effectue les premières observations du ciel à la lunette. Il soumet ses hypothèses au verdict de l'expérience et les choisit selon leur capacité à prédire (et non pas selon évidence). Il introduit notamment la notion de pesanteur (=accélération constante) et le concept de vitesse instantanée pour expliquer la chute des corps pesants. Son originalité est de substituer au fatras de considérations qualitatives de ses prédécesseurs des concepts clairs, univoques – position, inertie, vitesse instantanée, accélération –, puis de confronter les résultats au raisonnement, explicité sous forme mathématique, à des données expérimentales bien définies, et non à des prétendues évidences logiques.

Encart 2 - Galilée contre la théorie aristotélicienne : une lutte historique contre un obstacle épistémologique⁸.

En 1600, le philosophe et théologien italien Giordano Bruno (1548-1600) est brûlé vif après huit années de procès par l'inquisition. Il s'était basé sur les travaux de Nicolas Copernic et Nicolas de Cuse pour montrer, d'un point de vue philosophique, la pertinence d'un Univers infini, peuplé d'une quantité innombrable de mondes identiques au nôtre.

En 1604, Galilée débute son observation d'une [nova](#) grâce à la performante lunette astronomique qu'il a mise au point. Bien que l'apparition d'une nouvelle étoile, et sa disparition soudaine, entre en totale contradiction avec la théorie établie de l'inaltérabilité des cieux, Galilée reste encore aristotélicien en public, mais il est déjà fermement copernicien en privé. Il attend la preuve irréfutable sur laquelle s'appuyer pour dénoncer l'aristotélisme.



Pendant l'automne 1609, Galilée continue à développer sa lunette. En novembre, il fabrique un instrument qui grandit une vingtaine de fois. Il prend

⁸ Un obstacle épistémologique est une connaissance, une représentation mentale, qui fait obstacle à une autre connaissance. Ici le géocentrisme fait obstacle à l'héliocentrisme. Si on envisage les connaissances contradictoires comme étant en compétition dans un cerveau, la connaissance première est, au début, toujours plus compétitive que la nouvelle : elle occupe déjà le terrain et elle a déjà fait ses preuves comme ayant une certaine opérationnalité. Ainsi, changer de représentation, surmonter un obstacle épistémologique, nécessite une remise en cause de croyances, d'outils intellectuels dont on s'est déjà servi à de nombreuses reprises par le passé. Cela consiste donc en une déstabilisation, qui n'est, en général, ni agréable ni rassurante.

le temps de tourner sa lunette vers le ciel. Très vite, en observant les phases de la [Lune](#), il découvre que cet astre n'est pas parfait comme le voulait la théorie aristotélicienne.

La physique aristotélicienne, qui faisait autorité à l'époque, distinguait deux mondes :

- le monde « sublunaire », comprenant la Terre et tout ce qui se trouve entre la Terre et la Lune ; dans ce monde tout est imparfait et changeant ;
- le monde « supralunaire », qui part de la Lune et s'étend au-delà. Dans cette zone, il n'existait plus que des formes géométriques parfaites (des sphères) et des mouvements réguliers immuables (circulaires).

Le 7 janvier 1610, Galilée fait une découverte capitale : il remarque 3 petites étoiles dans la périphérie de Jupiter. Après quelques nuits d'observation, il découvre qu'elles sont quatre et tournent autour de la planète. Ce sont les satellites de Jupiter, qu'il nomme Callisto, Europe, Ganymède et Io, (aujourd'hui baptisés « lunes galiléennes »). Pour lui, Jupiter et ses satellites sont un modèle du système solaire. Grâce à eux, il pense pouvoir démontrer que les orbites de cristal d'Aristote n'existent pas et que tous les corps célestes ne tournent pas autour de la Terre. C'est un coup très rude porté aux aristotéliens. Il corrige aussi certains coperniciens qui prétendent que tous les corps célestes tournent autour du Soleil.

Le cardinal Bellarmine, qui a fait brûler Giordano Bruno, ordonne qu'une enquête discrète soit menée sur Galilée par l'Inquisition dès juin 1611. En effet, l'héliocentrisme s'oppose notamment à deux passages de la bible :

- le psaume 93 (92) « Tu as fixé la terre ferme et immobile. »
- Josué 10, 12-14 dans lequel [Josué](#) arrête la course du Soleil et de la lune.

Le pape Urbain VIII, qui protège Galilée, lui demande un livre où les deux systèmes, ptoléméens⁹ et coperniciens, seraient confrontés et présentés sur un pied d'égalité. Le 21 février 1632, Galilée fait paraître à Florence son *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* (*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*), où il raille implicitement le géocentrisme de Ptolémée. Le *Dialogue* est à la fois une révolution et un vrai scandale. Le livre est en effet ouvertement pro-copernicien, bafouant hardiment l'interdit de 1616 (qui ne sera levé qu'en 1757).

Le pape lui-même se range vite à l'avis des adversaires de Galilée : il lui avait demandé une présentation objective des deux théories, pas un plaidoyer pour Copernic. Galilée est donc à nouveau convoqué par le Saint-Office, le 1^{er} octobre 1632. Malade, il ne peut se rendre à Rome qu'en février 1633. Les interrogatoires se poursuivent jusqu'au 21 juin où la menace de torture est évoquée sur ordre du pape ; Galilée cède.

⁹ Ptolémée (90-168), scientifique grec, est l'auteur d'un traité d'astronomie connu sous le nom de l'*Almageste*. Dans ce travail, il a proposé un modèle géocentrique du système solaire, qui fut accepté comme modèle dans les mondes occidentaux et arabes pendant plus de mille trois cent ans.

Le 22 juin 1633, au couvent dominicain de Santa-Maria, la sentence est rendue : Galilée est condamné à la prison à vie (peine immédiatement commuée en résidence à vie par Urbain VIII) et l'ouvrage est interdit. Il prononce également la formule d'abjuration que le Saint-Office avait préparée.

Quatre caractéristiques majeures de la démarche scientifique moderne peuvent être relevées d'après les travaux de Galilée :

- i) La mathématisation des problèmes physiques. « La philosophie est écrite dans ce livre immense [qu'est] l'univers (...). Ce livre est écrit dans la langue mathématique » écrivit Galilée.
- ii) La création d'instruments au service de la théorie, permettant de confirmer ou d'infirmer des prédictions que cette théorie permet. Ainsi, ce qui apparaît central dans la démarche scientifique moderne, devenue ainsi démarche expérimentale, n'est plus la raison seule, mais la relation entre ses produits (les théories) et l'observation du monde (issue de l'expérimentation).
- iii) Le rôle prédictif de la théorie (et plus seulement explicatif). Comme nous le développerons, c'est ainsi que la démarche inductive détrônera dans l'idéal scientifique la démarche déductive.
- iv) L'opposition avec le sens commun. Ce ne sont plus la cohérence des théories avec l'immédiateté de nos sens, ni la cohérence interne aux théories, mais une cohérence entre théorie, observations, et prédictions, validée par les applications mathématiques, qui est prônée.

Le projet sous-tendant cette nouvelle démarche consiste donc en le détachement de la subjectivité humaine pour aspirer à une objectivité, c'est-à-dire à l'*énonciation de discours* qui auraient une valeur *indépendamment de notre condition humaine* (selon le Petit Robert) et pourraient représenter des propriétés intrinsèques aux objets – la réalité telle qu'elle est (Galilée était réaliste). Nous reviendrons sur cette notion d'objectivité. Veuillez noter pour l'instant la contradiction entre les deux précédents termes en italique.

Au 17^{ème} siècle, les bouleversements initiés par Galilée ont été tels que les historiens des sciences appellent cette période de transition la « révolution scientifique ». Cette révolution est caractérisée par le développement de la démarche expérimentale, la mathématisation de l'astronomie et de la physique, et l'épanouissement des mathématiques. C'est avec les travaux de Galilée, Descartes (1596-1650) et Newton (1642-1727) que la vision scientifique s'émancipe de l'hégémonie religieuse et de la philosophie aristotélicienne. Galilée et plus encore Christiaan Huygens (1629-1695) initient aussi le début de la méthode expérimentale.¹⁰

La révolution scientifique annonce une transformation des modes de travail des scientifiques (notamment concernant la divulgation des travaux). A partir de la deuxième moitié du 17^{ème} siècle, les premières académies et sociétés scientifiques sont créées (par exemple: la Royal Society de Londres en 1660 et l'Académie des Sciences Françaises en 1666). Les scientifiques vont se spécialiser de plus en plus dans l'étude de domaines particuliers du monde en précisant leur démarche et en délimitant les objets d'étude auxquels une démarche donnée s'applique. Ainsi naîtront la chimie au 18^{ème} siècle avec Lavoisier et la biologie au 19^{ème}.

1.4 Des points communs aux démarches scientifiques

1. L'influence du contexte socio-politique : chez les grecs anciens, la pratique de l'argumentation pour aboutir à des choix communs est donnée comme norme par le régime politique de la démocratie. Dans l'Italie de la Renaissance, l'élan vers l'observation fidèle de la nature est caractéristique (naissance de la perspective dans les arts picturaux...). Ainsi, les nouvelles démarches sont empreintes de particularités fonctionnelles du contexte dans lequel elles prennent place.

¹⁰ Michel de Pracontal, L'imposture scientifique en 10 leçons, 2005, Points Sciences.

2. L'intrication de la « démarche scientifique » avec le projet humain qui la sous-tend : généraliser les explications, abstraire d'une diversité apparente une unité de fonctionnement sous-jacente. Par exemple, nous avons vu que, chez les grecs anciens, les mathématiques, la philosophie, l'astronomie, puis la physique avec Aristote, participaient toutes d'une même activité : penser le monde. Au milieu du changement constant des choses et des êtres, la pensée peut-elle saisir quelque chose de stable ? De même Galilée, bien que « découpant » un domaine du réel pour pouvoir l'étudier, tentait de répondre à des interrogations du même ordre.
3. L'invention de termes langagiers : la définition de la démarche scientifique comprend la désignation d'objets légitimes d'études (ex : la physique aristotélicienne) et l'invention de termes pour les désigner. Des objets d'études abstraits - des outils intellectuels, les concepts – sont inventés (e.g. le concept de vitesse instantanée). Ces objets ne sont pas donnés par la nature, mais créés pour répondre à des besoins (celui de mathématisation chez Galilée notamment).
4. La dépendance vis-à-vis de choix humains : des choix opérés par des individus dans certains contextes et mus par des intentions particulières conduisent à définir les règles de démonstration (déduction vs. induction par exemple), les questionnements légitimes, ainsi que les bases métaphysiques sur lesquelles repose tout le reste. Ces choix sont affaire de conviction, et nous développerons plus tard l'idée que la Nature ne peut pas s'y placer en arbitre ; ils seraient plutôt de l'ordre de l'adhésion à des croyances.

2 Des idéalizations de la démarche scientifique moderne relevant toutes de l'inductivisme

Nous avons esquissé la façon dont les sciences occidentales et « la démarche scientifique » moderne sont nées et proposé des interprétations quant à leurs caractéristiques. Nous allons à présent présenter comment quelques grandes figures, philosophes, scientifiques ou épistémologues, ont pensé cette démarche. Ils ont tenté de répondre à deux types de questions : « Comment la science devrait-elle fonctionner ? » et « Comment la science fonctionne-t-elle effectivement ? ».

Comme évoqué précédemment, la détermination de Galilée et son combat contre la scolastique ont bouleversé la société de l'époque. Ainsi, certains s'en inspirent pour repenser la manière dont il faudrait « faire de la science ».

2.1 L'empirisme

Francis Bacon (1561-1621), homme d'Etat et philosophe anglais, signe la naissance de l'empirisme, qu'il propose comme règle première de la recherche. C'est-à-dire qu'il ne faudrait pas trop s'éloigner des expériences et des observations, en bâtissant des théories très prudemment et en étant toujours prêt à les remettre en question. Il est réaliste (« *veracitas naturae* ») et pense donc que pour révéler cette vérité cachée dans la nature, il ne faut pas faire de théories trop prématurées, en effectuant un va-et-vient constant entre observation/expérience et théorie. Il est connu pour être le philosophe qui a rompu avec la scolastique. Il s'insurge en effet contre l'enseignement propre au Moyen-Âge et fondé sur la tradition aristotélicienne interprétée par les théologiens. Il prône au contraire un enseignement articulé autour de



l'exploration et de l'étude de la nature. Attaché à la séparation des sciences et de la religion, il a contribué à constituer l'espace des sciences, qu'il a doté d'une juridiction autonome.

Sous l'impulsion des mêmes bouleversements, René Descartes (1596-1650), philosophe, mathématicien, et physicien français, prône une nouvelle méthode scientifique que l'on peut qualifier d'empirisme rationaliste dans son « Discours de la méthode » (1637). Comme Francis Bacon, il défend une méthode qui se défait de l'obstacle constitué par une connaissance antérieure qui peut être fausse. Cependant, il insiste sur la nécessité de douter de ce qui est considéré comme acquis, de toutes les croyances antérieures, en faisant table rase (*tabula rasa*), de manière à reconstruire un savoir sur des bases entièrement neuves. Dans son élan de douter de tout ce dont il croyait être sûr, il en vient à se demander s'il doit douter de sa propre existence, en concluant par la négative : *cogito, ergo sum* (« je pense donc je suis »). Descartes est considéré comme l'inventeur de la philosophie moderne.



Claude Bernard (1813-1878), médecin et physiologiste français, est considéré comme le fondateur de la physiologie moderne. Il insiste sur les deux aspects développés par Descartes et Bacon : douter des théories antérieures et considérer faits (issus d'observations ou d'expériences) comme les arbitres suprêmes. Sa physiologie expérimentale entre en rupture avec la médecine de son époque qui était avant tout descriptive. Dans « *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* » (1865), annonce vouloir faire de cette discipline « une science indépendante ayant ses méthodes et son but ».



les

il

Il y propose les étapes qui devraient constituer toute démarche expérimentale (le fameux « OHERIC ») :

- Observation sans préjugé
- élaboration d'une Hypothèse réaliste, fondée et vérifiable
- Expérience avec un témoin (*e.g.* cas normal vs pathologique) et une contre-épreuve (si on enlève « A » et que « B » est alors supprimé, on peut en déduire que « A » est la cause de « B »)
- le Résultat produit un fait qui consiste en l'arbitre suprême des théories : elles sont rectifiées en fonction, et de manière à avoir des théories les plus générales possibles. Ainsi, l'Interprétation conduit à la Conclusion « qui s'impose ».

Or il a avoué lui-même avoir privilégié sa théorie à des faits en certaines circonstances. Ses idées reposent sur une interprétation déterministe telle que chaque phénomène trouve à son origine un ensemble fini de causes. En isolant toutes les causes, le phénomène doit être entièrement accessible à la raison.

2.2 Le positivisme



Le philosophe français Auguste Comte (1798-1857) est le propagateur du mouvement appelé positivisme. Il reprend certaines idées de Bacon sur l'antériorité des observations sur la connaissance et entre en rupture avec les thèses de Claude Bernard, en défendant qu'il faut rechercher des lois et non des causes, en se basant sur l'évaluation de quantités et non de qualités. La distinction entre lois et causes est que les premières répondent à un « comment », tandis que les secondes répondent à un « pourquoi ». Ainsi, il est

idéaliste et non réaliste¹¹. Il prône la démarche inductiviste : les théories ne doivent pas se faire *a priori* ; on doit seulement interpréter *a posteriori*. Or on a besoin d'une quelconque théorie pour aborder les faits. Il décrit donc la marche progressive de l'esprit humain (chaque branche de nos connaissances passerait invariablement par 3 états):

- état théologique (perfection atteinte avec Dieu unique)
- état métaphysique (forces abstraites : nature intime et finalité de l'univers)
- état scientifique ou positif : recherche de relations invariables, de successions et de similitudes à partir de faits observés.

Il est à l'origine de la maxime « ordre et progrès » que l'on trouve sur le drapeau brésilien et de « science d'où prévoyance, prévoyance d'où action ». Ce terme de « positivisme » est emprunt de valeurs, car Comte a confiance dans le progrès de l'humanité par les sciences et croit en les bienfaits de la rationalité scientifique.

Le positivisme d'Auguste Comte a inspiré un groupe de savants et philosophes européens connus sous le nom de « cercle de Vienne » (créé aux alentours de 1929 en Autriche). Ce groupe est considéré aujourd'hui comme une dérive d'idéalistes guidés par la chimère de pouvoir instaurer *de novo* une démarche scientifique qui unifierait toutes les sciences et conduirait à la Vérité Universelle. Il se réclame d'un positivisme logique ou empirisme logique basé sur un critère de vérification / signification. Pour qu'un énoncé ait un sens, il faut qu'il porte sur un donné empirique observable. S'il n'y a aucun moyen de dire s'il est vrai ou faux, alors il n'a aucun sens (et n'est pas scientifique : il relève de la métaphysique ou de la pseudoscience). Il y aurait des énoncés de base, primitifs, ne devant pas être soumis à vérification, car faisant appel directement à nos sens. Les énoncés qui nous apprennent quelque chose sur le réel doivent pouvoir être mis en relation avec un donné empirique immédiat. Tous les énoncés devraient être formulés dans un langage universel. En fait la méthode de vérification repose dans certains cas sur l'induction (qui va du particulier au général). En logique, l'induction est une démarche intellectuelle familière qui consiste à procéder par inférence probable c'est-à-dire, à déduire des lois par généralisation des observations. Ainsi plus un phénomène est observé de manière répétée, plus sa généralisation devient probablement vraie. Le positivisme logique représente donc un style de pensée philosophique qui entend éradiquer tout énoncé métaphysique du langage scientifique, en se basant sur la logique mathématique fondée par Bertrand Russell, Alfred North Whitehead, Gottlob Frege et Ludwig Wittgenstein. Cette démarche scientifique conduirait à la construction, sur une base logique, d'un « idiome formel » à vocation universelle qui sera à la base de l'unité de la science. Du jour où les philosophes emploieront tous cet idiome, les divergences doctrinales cesseront, et de ce fait se développera la compréhension mutuelle entre les nations (selon un esprit analogue à celui du mouvement espérantiste).

3. Des descriptions plus réalistes de la démarche scientifique moderne

3.1 La dimension subjective de la démarche scientifique

En étudiant l'histoire des sciences, Gaston Bachelard (1884-1962) réalise, en quelque sorte, la psychanalyse de la connaissance et définit un nouveau concept : la notion d'obstacle épistémologique. Les obstacles épistémologiques correspondent à des notions enracinées dans la subjectivité du scientifique. Selon Bachelard (1971), tant qu'ils ne sont pas pris en compte ; l'esprit reste « préscientifique ». Il distingue plusieurs types d'obstacles:

¹¹ De fait, les idéalistes prétendent que la science permet seulement de proposer des mécanismes expliquant les phénomènes (réponses à un « comment »). Au contraire des réalistes pensent qu'elle permet d'accéder à la nature intime du réel : d'identifier des causes en répondant à un pourquoi.

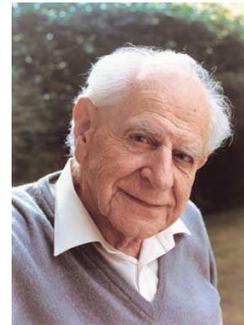
- Des obstacles dus à l'imagination. Dans sa lecture des faits, le scientifique utilise des images familières qui ne s'appliquent pas aux faits scientifiques (ex: Descartes décrit le cerveau comme une éponge et, actuellement, on représente l'atome sous une forme planétaire).
- Des obstacles dus à l'abstraction. Le scientifique généralise de façon abusive les connaissances acquises sans déterminer les limites adéquates à leur usage.
- Des obstacles liés à la finalité envisagée. Les phénomènes scientifiques sont interprétés comme ayant des buts utilitaires.
- Des obstacles substantialistes. Le concept scientifique est reconstruit et réifié (transformé en chose, ex: le gène).
- Des obstacles animistes. Cet obstacle consiste à étendre à de nombreux domaines l'intuition d'un principe de vie, c'est l'expression d'une philosophie vitaliste de l'univers (ex: électricité).

Outre le concept d'obstacle épistémologique, Bachelard avance d'autres concepts fondamentaux qui vont changer la conception de l'activité scientifique :

- celui de coupure épistémologique, rupture méthodologique, changement de concepts et de méthodes à l'intérieur d'une science ;
- celui de psychanalyse de l'esprit scientifique, recherche et détection des valeurs et projections inconscientes du sujet entravant le savoir ;
- celui de "rationalisme appliqué", conçu comme centre actif où s'échangent les vérités de la raison et les vérités d'expérience : la raison se construit en dialoguant avec l'expérience et en s'appliquant à elle.

3.2 La dimension logique de la démarche scientifique

Karl Popper (1902-1994) s'est quant à lui intéressé aux compromis opérés entre les subjectivités individuelles. Il écrit « *Logique de la découverte scientifique* » (1934) en pleine crise de la physique. Il s'oppose aux théories du cercle de Vienne et à leur notion de savoir probable. Il montre que l'induction n'est pas une pratique heuristique¹² que non seulement elle n'est pas mise en pratique par les scientifiques, mais qu'elle ne pourrait pas l'être. Il propose qu'une loi est une construction intellectuelle et en cela n'est donc pas objective. Seule la réfutation est objective. Il propose ainsi le critère de scientificité¹³, autrement appelé critère de démarcation entre science et pseudoscience, comme étant la réfutabilité (et non la vérification comme une



et

signification). Un énoncé non réfutable est sans intérêt (et ne peut être qualifié de « scientifique ») car il n'est ni prédictif, ni explicatif. En conséquence, il n'existerait pas de connaissance ultime, puisque celle-ci devrait être réfutable. C'est donc le premier à avancer l'idée fondamentale qu'on ne peut pas prouver que quelque chose est vrai, on peut seulement prouver qu'il est faux. La science ne produirait ainsi pas de vérité, mais elle progresserait en définissant, en restreignant les domaines de validité de ses modèles et théories, voire en en changeant pour des plus appropriées. La science s'organiserait autour de conjectures et de réfutations. On souscrit aux conjectures lorsque les tentatives de réfutation n'ont pas abouti. Il apporte ainsi son fondamental principe de naissance intersubjective de l'objectivité : l'objectivité naît des confrontations qui se font au sein de la communauté scientifique. Ainsi, l'objectivité apparaît comme étant issue d'un consensus social autour d'une proposition initialement subjective. La réfutabilité introduit la dimension sociale de la preuve. D'autres auteurs vont ensuite nuancer les propos de Popper.

Contrairement à l'élan que nous avons annoncé suite à Galilée, la notion d'objectivité ne serait pas le contraire de celle de subjectivité et ne correspondrait pas non plus à une propriété que l'on

¹² « heuristique » signifie « qui sert à la découverte ».

¹³ La scientificité est la propriété de quelque chose qui est considéré comme scientifique

pourrait détacher de l'activité humaine ; elle correspondrait à un construit social.

3.3 Les dimensions sociale et rationnelle de la démarche scientifique



D'autres auteurs vont ensuite nuancer les propos de Popper. Thomas Kuhn (1922-1994) s'oppose à Popper sur i) la conception linéaire et continuiste de la marche des idées scientifiques et sur ii) l'idée qu'une « contre-preuve » conduit nécessairement à la réfutation de la théorie en question. Il se base sur une analyse sociologique et historique des sciences. Il propose que dans le cadre de la science normale, les chercheurs adhèrent à des normes et à des règles de la pratique scientifique et que c'est cela qui fait la différence avec une pseudoscience. Leur recherche est cadrée par un paradigme, qui fournit un moule d'interprétation du réel et les méthodes et questions légitimes qui guident les recherches. Le paradigme repose également sur des impératifs métaphysiques (ainsi il ne repose pas uniquement sur des propositions réfutables). Les scientifiques ont l'illusion de savoir comment est constitué le monde. Ainsi, les résultats attendus appartiennent à une gamme restreinte et le travail du chercheur consiste à savoir comment y parvenir. Si un résultat n'appartient pas à la gamme de ce qui est attendu, il est ignoré au lieu de réfuter la théorie de base. Dans la science normale, les publications sont courtes, pointues et adressées à des spécialistes. Elles commencent là où les livres s'arrêtent. Avant la première période de science normale, la période préparadigmatique (ou préscientifique) est caractérisée par l'absence d'acquis communs. C'est le cas de la physique avant Newton, de la chimie avant Lavoisier ou de la biologie avant la théorie cellulaire. Les théories sont alors puisées dans la métaphysique et les publications sont des livres généraux adressés à tous. Pendant une période de science normale, le paradigme grossit, accumule progressivement du savoir mais également des anomalies. Ces anomalies sont des faits soit qui rentrent en contradiction avec le paradigme, soit dont l'explication résiste à la méthodologie paradigmatique. Elles sont mises de côté, mais à un moment, lorsqu'elles deviennent trop importantes, on peut entrer dans une période de crise (qui s'oppose à la science normale). Là, les bases du paradigme sont remises en question. La crise peut se résoudre avec l'adhésion à un nouveau paradigme, ce qui signe une révolution scientifique. C'est ce qui s'est passé lors du passage du paradigme newtonien au paradigme einsteinien.

Imre Lakatos (1922-1974), recruté par Popper, est en désaccord avec Kuhn, qui laisse croire que le choix d'un paradigme neuf est arbitraire, ou relatif à des préférences culturelles extrascientifiques. De fait, il prône une épistémologie rationaliste, c'est-à-dire une approche étudie la science seulement du point de vue rationnel et pas sociologique. Il nuance les propos de Popper en réfutant l'idée d'expérience cruciale qui réfuterait systématiquement une théorie. En fait, il y aurait des programmes de recherche en concurrence. A chaque programme son heuristique (un ensemble de techniques admises pour la solution des problèmes). La contrainte négative, qui caractérise « l'heuristique négative », est qu'on ne peut changer les hypothèses de base de la théorie. Ces hypothèses non modifiables, qui sous-tendent le programme de recherche, constituent le noyau dur de la théorie. Ce noyau dur est entouré d'une ceinture protectrice, dans laquelle se trouvent des hypothèses auxiliaires et des conditions initiales, qui elles peuvent être modifiées pour mieux coller avec les observations, et maintiennent ainsi l'intégrité du noyau dur – admis comme non réfutable sans quoi tout le programme de recherche devrait être abandonné. La



qui

contrainte positive, qui caractérise « l'heuristique positive », est la direction donnée par le programme de recherche dans le but de compléter le noyau dur. Cette heuristique indique comment enrichir le noyau dur afin d'être à même d'expliquer et de prédire des phénomènes. Un programme progressif permet des prédictions inédites et la découverte de faits inattendus, au contraire d'un programme dégénéré qui se borne à fabriquer des hypothèses *ad hoc* pour sauver son noyau dur face aux anomalies.

Notons que si l'on suit le critère de réfutabilité de Popper, les mathématiques sont un système théorique non scientifique car non réfutable expérimentalement. Selon Lakatos (1977), l'exposition de la démonstration formelle ne reflète pas l'approche qui y a conduit, celle-ci consistant à partir d'énoncés dont on précise par la suite le domaine de validité, au fur et à mesure que les objets et concepts pertinents sont dégagés ainsi que leurs liens avec les théories existantes. C'est ce cheminement, entre preuves et réfutations, qui constitue alors la démarche scientifique en mathématiques.

3.4 La dimension politique de la démarche scientifique

Paul Feyerabend (1924-1994) a été élève de Popper dans les années 1950. Il se veut « anarchiste », « dadaïste » épistémologique. Il a écrit « *Against method* » (1975). Il pense que les catégories maniées par les méthodologies en usage (faits, observations, expériences...) ont changé de sens au cours de l'histoire et que le brandissement d'une méthodologie est instrument d'oppression qui va à l'encontre des libertés, d'autant que la découverte scientifique n'obéit à aucune loi (« *Anything goes* » : « tout est bon »). En analysant particulièrement l'histoire de la physique, il a pu montrer que personne n'utilise une démarche qui serait utilisée à la manière d'une recette de cuisine et qu'on ne peut pas non plus reconstituer de recette suivie *a posteriori*. Les scientifiques utilisent tous les moyens et tous les types de théories pour arriver à leurs fins. Partant du principe qu'il n'y a pas de démarche scientifique universelle, Feyerabend a affirmé que la science ne méritait pas son statut privilégié dans les sociétés occidentales. Puisque les scientifiques ne peuvent parvenir à adopter un point de vue universel qui garantirait la qualité de leurs observations, il n'y a pas pour lui de raison que les assertions de la science soient privilégiées par rapports à celles d'autres idéologies comme les religions. On ne peut donc juger les autres idéologies à partir des préjugés de la science. En se basant sur cette argumentation, Feyerabend a alors prôné la séparation de la science et de l'État, de la même façon que la religion et la société sont séparées dans les sociétés modernes séculières. Selon Feyerabend, la science devrait également être soumise à un contrôle démocratique: non seulement les domaines de recherche devraient être déterminés par des élections populaires, mais les suppositions et les conclusions de la science devraient également être supervisées par des comités populaires.



4 Des approches épistémologiques actuelles de « la démarche scientifique »

4.1 Les approches constructivistes et les *science studies*

Bachelard, Popper, Kuhn et Lakatos ont largement influencé les domaines de la philosophie des sciences, de l'épistémologie et de la didactique. Ils ont permis de remettre en question la vision initiale de la démarche scientifique. Une synthèse, à laquelle adhère la majorité des épistémologues

actuels, est connue aujourd'hui sous le nom de constructivisme, théorie de l'apprentissage développée, entre autres, par Jean Piaget (1896-1980) dont les points principaux sont exposés ci-après :

- Toute connaissance est liée au sujet qui connaît. Ainsi, l'opinion, la conviction, le point de vue, les croyances participent à la démarche scientifique.
- Toute connaissance est issue d'un processus de construction, processus qui consiste en une réorganisation qualitative de la structure initiale des connaissances, et pas seulement en un accroissement quantitatif.
- Avant d'aboutir à une "révolution" théorique, on procède par ajustements successifs des modèles et théories disponibles, consistant souvent à définir ou préciser leurs domaines de validité. Les révolutions correspondent à l'abandon complet d'un modèle ancien ou la redéfinition d'un concept (tel que le temps en relativité). En effet, selon Kuhn, les mondes conceptuels de deux paradigmes successifs sont incommensurables, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas de mesure commune, et que les scientifiques d'avant et après une révolution scientifique habitent des mondes différents (ex : mécanique classique/mécanique quantique et relativité, optique/électromagnétisme/théorie des champs). Toutefois, il semble que les scientifiques eux-mêmes ne soient pas convaincus de la pertinence de la notion de révolution scientifique (de Pracontal, 2005). Il semble plutôt que la découverte scientifique consiste souvent plus qu'à introduire une idée "révolutionnaire", à penser autrement les concepts existants.

La vision constructiviste, dont Edgar Morin est un des fers de lance en France, est applicable à l'ensemble des processus d'apprentissage et, par extension, à toutes les activités humaines. Piaget avait de fait défini le terme « épistémologie » au sens large comme « en première approximation, l'étude de la constitution des connaissances valides » regroupant donc connaissances communes et scientifiques. Selon Jean-Louis Le Moigne (Le Moigne, 1995), les épistémologies constructivistes reposent sur deux principes fondamentaux. Premièrement, « l'inséparabilité entre l'acte de connaître un « objet » et l'acte de « se » connaître » implique que la connaissance ne porte pas sur une réalité ou un monde « en soi ». La réalité connaissable correspond à celle que le sujet peut expérimenter. Les processus d'apprentissage ne sont plus envisagés dans une dualité entre le sujet connaissant et l'environnement mais comme une co-construction des deux pôles de l'interaction (autrement dit une co-construction du sujet et de l'objet). Deuxièmement, comme nous l'avons déjà évoqué, chaque acte de connaissance est sous-tendu par un projet, une intentionnalité.

Ces trente dernières années, l'histoire et la philosophie des sciences ont connu un renouveau. Cherchant à répondre aux questions que nous nous sommes posées en introduction, des scientifiques (anthropologues, sociologues, psychologues...) ont mené des investigations dans les laboratoires avec leurs techniques d'observation spécifiques. La science est maintenant abordée non plus comme un savoir mais comme une institution (Pestre, 2006) au sein de laquelle les controverses scientifiques sont considérées comme un reflet de son fonctionnement (Lemieux, 2007). A travers ces études, la science apparaît comme un ensemble de pratiques et de faire, au laboratoire ou sur le terrain, et plus seulement comme un ensemble conceptuel (ibid.). Ainsi, les assertions générales sur « la » science et « la » démarche scientifique semblent parfois vides de sens au regard de ces données. Ainsi, le pluriel est préféré aujourd'hui pour parler de ces pratiques (« les sciences »). Les significations données à ces domaines de l'activité humaine sont liées au contexte et aux acteurs singuliers impliqués et elles pourraient être construites et revues, encore et encore, selon le contexte duquel nous les donnons (Pestre, 2006).

Contre l'idée du caractère universel des résultats et démonstrations, elle met aujourd'hui au cœur de ses préoccupations la question de ce qui emporte la conviction, de ce qui fait preuve ici et là (ibid.). Les scientifiques sont en interaction constante avec le monde matériel pour établir les faits, et ils produisent des résultats laissant toujours place à la controverse et au débat (ibid.). Dans le champ de contraintes fortes qu'impose l'interaction du sujet avec le monde matériel dans l'acte

expérimental, une grande liberté de lecture est laissée à celui qui fait parler la nature (Pestre, 2006). C'est ainsi que Pestre (à paraître) évoque pour la période contemporaine un nouveau « régime » de production, d'appropriation et de régulation des sciences en société, en rupture profonde avec l'histoire du siècle qui précède. Gilbert Hottois consacre le terme de « technosciences » à ce nouveau régime, indiquant les intrications de plus en plus ténues des fonctionnements scientifiques avec ceux des autres dimensions de la société (économique, environnementale, politique, juridique, médicale...).

Bien que tout discours général sur les sciences semble limité et désuet, nous proposons ci-après quelques explications concernant ces récentes considérations épistémologiques, en nous inspirant essentiellement de l'ouvrage de Fourez sur le sujet (Fourez, 2002).

4.2 Le mythe de « la » démarche scientifique

La croyance populaire en l'existence d'une démarche, constituée d'*étapes bien déterminées*, se déroulant dans un ordre précis est prégnante, particulièrement en biologie, car elle fait partie de ces mythes qui sont enseignés à l'école. Quel enseignant de SVT ne connaît pas la démarche OHERIC de Claude Bernard ? Il est attendu des candidats au CAPES SVT qu'ils la mettent en œuvre, ce qui entretient cet artifice didactique. Nous ne nous étendons pas sur ce point et vous invitons à lire Paul Feyerabend ou encore Bruno Latour pour vous convaincre que chaque scientifique procède à sa manière, et qu'il est difficile d'extraire une unité dans cette procédure. Selon Fourez, les chercheurs « utilisent l'ingéniosité des artisans et des diplomates pour arriver à leur fin ». Ainsi si « quelque chose » guide l'activité des scientifiques, c'est plus un projet, une intention, qu'une manière établie d'y parvenir. Si la démarche scientifique n'existe pas au sens où on l'entend habituellement, que peut-on en dire ?

Ce mot « démarche » fait référence à une manière de marcher, à une manière propre d'action, à une manière de progresser (de la raison, de la pensée) ou à une tentative auprès de quelqu'un pour réussir une entreprise. Quant au qualificatif « scientifique », il fait référence à une activité identifiée et reconnue de façon interne (par les scientifiques) et externe (par les groupes dominants de la société). Nous allons reprendre ci-après ce que les constructivistes ont dégagé sur la façon dont s'y prennent les scientifiques pour faire progresser les connaissances.

4.3 Objectivité, observation et fait : démarche en l'absence de raison pure

Il en va de même pour les scientifiques. Ainsi, l'observation n'est pas une perception passive du monde au travers de laquelle le scientifique n'aurait qu'à recevoir de l'information. Une personne observe avec ses intérêts et ses passions. Dans ce sens l'observation est subjective, ce qui ne veut pas dire que les interprétations peuvent être totalement libres (particulièrement au sein d'un paradigme, le non respect des conventions socialement instituées peut faire passer l'observateur pour un fou). Pour observer « quelque chose », il faut toujours « le » décrire, au moins en pensée. Or la pensée est indissociable du langage. Il faut donc disposer de termes qui désignent les objets et permettent la distinction entre ce qui est semblable ou différent. Ces termes font référence à des représentations théoriques, souvent implicites, et qui en tous cas – ce point est fondamental – préexistent à l'observation et sont inscrites dans un tissu culturel et social. Si j'observe « une plante » ou que je dis que « deux plantes sont les mêmes », j'établis, au nom d'un modèle et de critères théoriques, des relations d'équivalence entre ce que je pourrais aussi considérer comme différent. La « similitude » n'est donc pas reçue passivement de l'observation, mais est décidée suite à l'adoption d'une vue théorique que l'on trouve pratique (en fonction d'un projet et d'un intérêt). Ainsi, pour parler d'un objet, il faut se donner les éléments de langage suffisants, communs

et conventionnels, pour être compris. Parler d'un objet, c'est se situer dans un univers conventionnel de langage.

De même, dire que « quelque chose » est objectif, c'est situer « quelque chose » dans un univers commun de perception et de communication, dans un univers conventionnel, institué par une culture. L'objectivité ne serait donc pas absolue, mais relative à une culture.

Il en va exactement de même pour les faits. C'était un fait au Moyen-Âge que le soleil tournait autour de la terre. Aujourd'hui, le contraire est également un fait. Un fait n'est pas perçu passivement, il est construit socialement en utilisant les notions qui paraissent utiles en vue d'avoir une observation adéquate, c'est-à-dire qui répond au projet que l'on a. Un fait est quelque chose que personne ne remet en question (*i.e.* une interprétation du monde standardisée). Ce n'est pas une proposition descriptive, c'est un jugement de valeur sur une proposition.

Ainsi ces termes « objectivité », « observation » et « fait » n'indiquent pas des vérités, ni des éléments de description de la réalité en soi, ni d'ailleurs des éléments entièrement subjectifs. Ils font référence à des interprétations théoriques non contestées (qui ne sont ni questionnées, ni remises en question), car faisant l'objet d'un consensus social. En fait, l'idée est qu'on ne peut dissocier ce qui viendrait des choses de ce qui viendrait des institutions sociales. Une fois institué, on peut considérer qu'un objet théorique existe vraiment, parce que cela n'interfère plus avec la réponse à une question qui concerne l'objet.

Notons que la tendance à l'effacement du sujet par rapport aux faits, l'idée de penser qu'observer c'est se situer passivement par rapport au monde est naturelle. Le fait de gommer la notion que tout cela est inscrit dans un projet humain permet de donner une image d'objectivation absolue à l'activité scientifique. Cela participe de la valeur particulière accordée aux sciences dures.

Cette remarque nous fait rebondir sur le vocabulaire usuel, selon lequel la science conduit à des *découvertes*. Ce terme de « découverte » est ancré dans une vision réaliste où le scientifique n'aurait qu'à révéler le monde *tel qu'il est*. Or, si on admet ce qui a été énoncé précédemment à propos des observations, de l'objectivité et des faits, on est bien obligé d'admettre que l'activité scientifique ne conduit pas à des découvertes, mais que ces objets socialement institués sont plutôt issus d'un processus d'invention : leur « création » correspond à une standardisation socioculturelle inscrite dans un projet et dans une histoire humaine. En fait, on parle de « sous-détermination des théories par rapport aux données expérimentales », c'est-à-dire que pour un résultat, un fait donné, il existe une infinité d'interprétations possibles qui pourraient le décrire. Ainsi, on ne peut pas dire que les résultats nous obligent à voir le monde d'une manière ou d'une autre. Une interprétation n'est pas une constatation, mais un coup de force par lequel on décide de voir les choses d'une certaine manière. La notion de « découverte » implique une existence antérieure. Dans ce sens, on peut parler de découverte lorsque quelqu'un, utilisant un découpage antérieur du monde, rencontre un objet que ce découpage a déjà socialement institué.

4.4 Création et rejet de modèle : établissement de preuves dans les sciences « dures »

Si les connaissances produites par la science ne sont pas des vérités, quel statut ont-elles ? Comment sont-elles produites ? En quoi sont-elles prouvées ? Que peut-on encore extraire de commun « aux démarches scientifiques » (nous dirons plutôt « dans la façon dont les scientifiques procèdent ») ?

Ce que l'on appelle un fait est déjà un modèle théorique d'interprétation qu'il faudra d'ailleurs parfois établir ou prouver. La preuve consiste en une relecture du monde utilisant le modèle qu'on a posé. « Prouver » consiste donc à montrer l'intérêt du modèle théorique en question. Un tel intérêt correspond à la façon dont cette manière de représenter le monde peut être

féconde par rapport à nos projets. C'est ce qui conduit Fourrez à appeler ces modèles des « technologies intellectuelles » : il n'y a pas de modèle meilleur qu'un autre (ni plus vrai), il y a des modèles plus ou moins adaptés à un projet particulier et selon les contraintes liées au contexte (d'un point de vue matériel, social, financier, institutionnel, éthique,...). Ils ne seraient donc pas une représentation du monde mais une représentation de notre champ d'action possible dans le monde. On peut comparer un modèle avec une carte géographique : il ne s'agit pas d'une représentation dont la propriété est qu'elle soit vraie, mais qu'elle dépende d'un projet ; elle devient objective lorsque l'on sait s'en servir, que l'on connaît les symboles, *etc.* : lorsqu'elle a prouvé son efficacité. La preuve d'un modèle ne concerne pas sa véracité ou sa représentation exacte du monde réel, mais son utilité, son efficacité, en termes de cohérence et de prédiction. Lorsqu'il s'agit de sciences expérimentales, ce modèle doit permettre de poser certaines questions et d'y répondre par l'expérience : il a une efficacité pratique.

La limite du critère de réfutation de Popper est d'une part que l'abandon d'un modèle entraîne l'abandon de tout le réseau conceptuel avec lequel il est cohérent et lorsque l'on a l'intime conviction que ce réseau peut encore être utile, on préfère souvent faire des hypothèses *ad hoc* pour expliquer les incompatibilités que d'abandonner toute la trame théorique. La direction est poursuivie aussi longtemps qu'elle paraît prometteuse. Ceci conduit à envisager l'expérience cruciale comme relative ; une expérience est cruciale seulement si elle a été faite pour cela. L'histoire des sciences recèle d'exemples où l'incompatibilité d'un modèle face à une expérience n'a pas conduit au rejet du modèle. A l'échelle d'une discipline, il en va de même pour les présupposés (qui peuvent être métaphysiques) contenus dans le paradigme de Kuhn ou le noyau dur de Lakatos : ils sont implicitement posés comme inattaquables. Leur remise en question nécessite un processus extraordinaire et difficile : une « révolution scientifique ». A l'intérieur d'un paradigme, un modèle est rejeté pour des raisons non entièrement rationalisables ; cette décision, collective, dépend également de critères économiques, techniques, affectifs, politiques, *etc.* Il s'agit donc plus d'un sentiment – *i.e.* si on y voit trop d'inconvénients – que d'une « raison pure ».

D'autre part, certains concepts peuvent être très utiles, tout en restant non réfutables, comme la conservation de l'énergie en physique ou l'existence d'information dans les gènes en biologie. Ces concepts non réfutables, que l'on pourrait alors qualifier de « métaphysiques », ont un rôle particulier dans la science¹⁴. C'est sur eux que se basent certains scientifiques pour prétendre qu'on a résolu des problèmes « dans l'absolu » (comme l'hérédité ou l'attraction des corps), ce qu'on ne dirait jamais à propos d'une technologie matérielle. C'est ce qu'Isabelle Stengers appelle des concepts durcis. Bien souvent, ce sont des concepts importés d'autres disciplines ou de la vie courante (il s'agit alors, au départ, d'une simple métaphore) qui ont été reconnus capables d'organiser l'étude d'un champ phénoménal. Le concept, propagé dans ce nouveau champ, y montre alors fécondité, puissance explicative, adéquation et puissance intrinsèque d'organisation et finit par atteindre un statut d'objectivité. Cela passe donc par une intégration sémantique au langage préexistant et débouche souvent sur la création d'un nouveau lexique cohérent. C'est ce qui s'est passé en biologie : suite à l'introduction du terme « information » pour parler de l'essence du matériel héréditaire, toute une vision informationnelle a embrasé la biologie cellulaire. Le vocabulaire, emprunté à la science des télécommunications et au langage commun, a organisé le nouveau paradigme : « communication », « récepteur », « message », « signal », *etc.* Ainsi, en même temps que ces concepts se sont durcis, c'est-à-dire qu'ils peuvent être pensés comme « purs », détachés de leur source et qu'ils se définissent à partir du formalisme de la science qu'ils organisent, la biologie a connu son premier durcissement de l'histoire. C'est en cela que les

14 Ainsi, certaines théories fondamentales de la physique ne peuvent être encore que des suites d'équations, aucune validation expérimentale n'étant encore possible dans l'état actuel des techniques (de Pracontal, 2005). Cependant la non-réfutabilité de ces théories ne correspond pas à une impossibilité de principe et on peut concevoir des expériences pour les tester (de Pracontal, 2005).

sciences « dures » se distinguent des sciences « molles ». Ces dernières ne se développent pas de façon autonome, ne sont pas à l'abri des influences idéologiques et culturelles, ni à l'abri surtout d'une demande de compte extérieure quant à la pertinence de leurs définitions et à l'intérêt de leur démarche. Ce durcissement, qui consiste en la création d'une organisation conceptuelle incontestée, fait partie intégrante de la démarche des champs disciplinaires concernés.

En conclusion, tandis que la science a tendance à afficher qu'elle peut résoudre des problèmes hors de tout contexte socio-historique, nous insistons sur le fait que les technologies intellectuelles qu'elle produit ne prennent leur sens que dans leur contexte humain. Elles produisent des représentations fiables et adéquates de notre monde. C'est-à-dire celui dans lequel nous inscrivons notre histoire. Nous avons déjà mentionné que la société a impulsé des changements dans la science. En retour, et notamment *via* les technologies matérielles qui en découlent, la science fait évoluer la société. Ainsi, par exemple, l'avènement de l'informatique a créé le secteur tertiaire et une centration sur l'information qui s'est propagée à la biologie et aujourd'hui, avec le développement d'internet, les biologistes cellulaires ne pensent plus qu'en termes de réseaux de gènes et de protéines.

4.5 La communauté scientifique : un élément de « la démarche scientifique »

Les scientifiques font partie de la société. Leurs manières de penser sont influencées par ce lieu social qui est le leur. Ils appartiennent à une communauté qui peut s'assimiler à une confrérie où les individus se reconnaissent comme étant membres du même corps. Elle jouit d'une reconnaissance interne et externe par les groupes dominants. Elle peut manier un certain type de connaissances et jouit aussi d'une reconnaissance sociale telle que leurs membres sont appelés pour trancher des questions de société en tant qu'experts.

Elle a des alliés, notamment le complexe militaro-industriel. Elle est partiellement structurée par des intérêts déterminés par les organisations sociales auxquelles elle s'allie et par les structures économiques nécessaires à son fonctionnement. Mais cette corporation a ses intérêts propres. La méthode de production des sciences passe par les processus sociaux permettant la constitution d'équipes stables et efficaces.

Indépendamment de toutes les contributions externes à cette communauté, son fonctionnement passe par son auto-entretien : des scientifiques viennent grossir ses rangs chaque année. Le processus de formation des scientifiques passe par leur adhésion au paradigme, à ses connaissances, ses questions légitimes, les moyens d'y répondre et son fonctionnement social. Ainsi, l'enseignement universitaire doit conduire à l'admission de ce que contiennent les manuels, c'est-à-dire les énoncés de base du paradigme (ou du noyau dur) qui font l'objet d'un consensus et ne doivent pas être remis en question. La recherche commence là où les manuels s'arrêtent. Fourez compare ce processus à un lavage de cerveau : l'étudiant a vécu avec sa propre conception du monde, qu'il s'est forgée dans son quotidien dès son plus jeune âge, et on doit lui faire admettre en quelques années une vision de la réalité qui est le résultat d'une (très) longue histoire. Souvent, on enseigne ce qui fait partie du paradigme sans mentionner les égarements ou tâtonnements passés. Il faut qu'il se rende à cette vision de manière à ce qu'à la fin il s'agisse d'une évidence : qu'il y trouve un sentiment de réalité. Il s'agit d'un sentiment subjectif et affectif qui fait que nous avons confiance dans le monde tel que nous le voyons. Si les autres ne pensent pas comme nous, on a un sentiment d'irréalité. Des chercheurs peuvent abandonner des observations qu'ils sont seuls à faire. Lors d'un lavage de cerveau par la force, les gens changent de vision du monde par une altération du sentiment de réalité. Il s'agirait pour la formation des scientifiques d'un lavage de cerveau opérant de manière plus humaine, mais utilisant les mêmes procédés : séparation du reste du monde et socialisation à un groupe nouveau, délégitimation des manières antérieures de voir, accompagnement des personnes à qui on est appelé à s'identifier, nouveaux systèmes de

légitimations ou de preuves, *etc.*

C'est donc par un tel « enrôlement » que les scientifiques trouvent leur place au sein de la communauté et peuvent à leur tour enrichir le paradigme.

Pour conclure, nous voulons insister sur l'idée que les différentes manières possibles de considérer les sciences, de les voir au travers de nos épistémologies singulières, engagent chacune une vision du monde culturellement et subjectivement teintée. Elles ne nous paraissent exemptes ni d'idéologie ni de valeur. Ainsi, qu'elles ressemblent plus à un scientisme Cartésien, à du positivisme ou à du constructivisme, aucune n'est neutre en terme de choix d'avenir pour la société. Autant donc, que ce soit choix soit conscient plutôt qu'inculqué à notre insu dans nos habitus.

5. Conclusion générale - De l'enseignement de « la démarche scientifique » : intérêts didactiques de l'épistémologie.

La didactique des disciplines scientifiques est une science qui étudie comment s'élabore la connaissance dans un contexte institutionnel (*i.e.* dans la classe). Elle est à l'interface entre l'histoire des sciences, l'épistémologie, la sociologie et la psychologie.

L'épistémologie est donc un outil pour la didactique ; elle définit par exemple ce qu'est un concept, quelle est sa portée, *etc.* et le didacticien s'en sert pour étudier comment ces concepts sont présentés dans les manuels, abordés par l'enseignant et compris par l'apprenant.

De plus, à partir d'auteurs essentiellement issus de la psychologie (notamment Jean Piaget), les didacticiens ont établi, comme les épistémologues, un consensus pour admettre le constructivisme comme théorie de base. Cet accord, n'ayant pas réellement d'origine commune, résulte donc d'un processus de convergence. Ainsi, l'épistémologie renforce la portée explicative de la didactique en lui permettant de s'inscrire dans un tout plus large et cohérent.

Cette vision constructiviste commune comprend deux points essentiels. D'une part, toute connaissance, qu'elle s'élabore au sein de la communauté scientifique ou chez un individu, est avant tout liée au sujet qui connaît. Dès lors, l'opinion, la conviction, le point de vue, les croyances jouent un rôle fondamental dans la science et dans l'apprentissage. D'autre part, comme le nom « constructivisme » l'indique, toute connaissance est issue d'un processus de construction, processus qui consiste en une réorganisation qualitative de la structure initiale des connaissances et qui peut s'assimiler à un changement de conceptions – ce qui implique une vision du progrès et de l'apprentissage en rupture avec la vision commune des connaissances, dans laquelle ces dernières s'ajouteraient régulièrement sans être qualitativement modifiées. Ainsi, les connaissances et leur compréhension apparaissent indissociables de leurs dimensions historique, sociale et psychologique et ne sauraient dès lors prétendre qu'à un statut provisoire et approximatif (au lieu de définitif et exact).

La convergence de cette vision entre épistémologie et didactique a conduit à l'établissement de parallèles tout à fait saisissants entre la construction des savoirs scientifiques dans l'histoire humaine et celle qui a lieu chez un apprenant. Notamment, les conceptions spontanées retrouvées chez les élèves sont souvent similaires à celles qu'ont eut historiquement des chercheurs en phase préparadigmatique. Ceci implique qu'une approche pédagogique centrée sur l'histoire et sur la façon dont historiquement les scientifiques ont tranché différentes questions apparaît tout à fait intéressante.

De plus, cette vision met à jour l'énorme difficulté d'un enseignement des sciences en milieu scolaire. Fourez évoque cette difficulté ainsi : « On peut comprendre la résistance de bien des gens à s'empêtrer dans des modèles dont ils ne voient pas l'utilité. Quel sens ont par exemple, pour la plupart des gens, les modèles qui distinguent, en physique, poids et masse ? Cette distinction est sûrement une connaissance appropriée dans certaines situations ; mais est-elle « intéressante » dans toutes les situations ? Ce que l'on sait, en tout cas, c'est que beaucoup d'élèves du secondaire estiment que les modèles qui amalgament les concepts de masse et poids sont plus opérationnels pour eux. Ont-ils tout à fait tort ? Enseigne-t-on les sciences comme des vérités absolues ou comme des technologies intellectuelles appropriées ? ». De fait l'enseignement des sciences en France aujourd'hui est plus centré sur les contenus que sur la démarche. Or, le premier type d'enseignement vise à faire adhérer les élèves au paradigme dominant de la discipline sans qu'ils ne le remettent en cause, tandis que le second viserait à montrer la relativité du paradigme et la connaissance comme n'ayant pas un statut de vérité, mais d'utilité relative au contexte de l'usage qu'on en fait. Ainsi, bien qu'officiellement les enseignants soient sensés enseigner les deux aspects, la contradiction sous jacente n'est pas explicitée. De plus, devant leur manque probable de formation en épistémologie, « la démarche scientifique » évoque sans doute pour eux cette démarche mythique, qui est un pur artéfact didactique¹⁵, qu'on leur a enseignée dans leur propre formation.

Concernant l'enseignement des contenus, l'épistémologie nous indique que les connaissances scientifiques, loin de correspondre à des évidences, sont le résultat d'une longue histoire et de controverses et qu'elles ne prennent leur sens que comme produit de cette histoire d'une part et dans un contexte particulier d'autre part. Or, les connaissances sont souvent enseignées comme ayant une valeur intrinsèque, indépendamment de toute histoire humaine et de tout contexte. Au-delà de cette lacune, la difficulté d'insérer en « cours de route » des apprenants dans un réseau de connaissances si vaste et si vieux est extraordinairement difficile. Nous avons évoqué avec Galilée que la science moderne s'est construite contre le sens commun. Un tel apprentissage demande donc aux élèves d'abandonner les certitudes, qu'ils se sont forgés seuls avec leur expérience quotidienne, avec lesquelles ils ont efficacement expliqué ce monde et agit en lui jusqu'à présent pour adopter de nouvelles certitudes qui ne sont en général pas opérationnelles pour eux (ce qui serait extrêmement déstabilisant). Autant dire que le « choix » est vite fait. Les études des didacticiens ont conduit à la conclusion qu'un remplacement effectif des conceptions spontanées par les connaissances scientifiques n'aurait lieu qu'à partir de bac+3 voire +4. En quoi, donc, est-il utile d'enseigner des contenus scientifiques à une majorité d'élèves qui conservera ses conceptions spontanées après un passage en lycée ?

D'après le présent exposé, l'enseignement des démarches consisterait, quant à lui, à montrer que des théories antagonistes peuvent être appropriées à différents contextes, sans qu'aucune soit ni mieux ni plus vraie que l'autre. Une telle approche permettrait de développer des compétences chez les élèves telles que l'esprit d'analyse, l'esprit critique, la prise de position : compétences qui sont celles d'un citoyen responsable. Notons que de telles compétences pourraient être développées par d'autres enseignements que celui des sciences. Cependant, il va sans dire qu'un tel enseignement ne serait pas *a priori* très efficace pour former des scientifiques, qui doivent être moulés pour le paradigme dominant, comme le décrit bien Kuhn.

Ainsi, les enseignements des contenus et des démarches scientifiques apparaissent antagonistes dans leurs modalités de mise en place et dans leurs objectifs. Nous pensons qu'il est important d'être conscient de cette divergence. Nous entendons toutefois nuancer cette conclusion

15 « Artéfact didactique » signifie que l'objet d'enseignement (ici la démarche scientifique) est un objet créé dans le contexte scolaire, par l'usage de l'enseignement, et n'existe pas en dehors. Sa création et son existence sont purement intrinsèques au milieu scolaire ; il n'a pas de rapport avec la réalité de la science telle que nous la comprenons.

manichéenne, en proposant qu'un enseignement secondaire centré sur les démarches (notamment sur le rôle régulateur de la communauté de chercheurs, comme dans un débat socio-cognitif¹⁶), non sur leur analyse critique, pourrait peut-être développer des compétences à la fois intéressantes pour le citoyen et pour le scientifique, sans nécessairement entraver la formation universitaire des scientifiques.

Bibliographie

CHALMERS A.F. 1976 *Qu'est-ce que la science ?* Editions la Découverte Paris 1987 Le Livre de Poche.

DE LA COTARDIÈRE. 2004. *Histoire des sciences.* Editions Tallandier

FOUREZ G. 2002 *La construction des sciences. Les logiques des inventions scientifiques.* Editions DeBoeckUniversité (Coll. Sciences éthiques sociétés)

GIORDAN A. et DE VECCHI G. 1994 (première édition 1987). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques.* Editions Delachaux et Niestlé (actualités pédagogiques et psychologiques)

KUHN T. 1972. *La structure des révolutions scientifiques.* Editions Champs Flammarion.

LECOURT D. 2001. *La philosophie des sciences.* Editions Puf Que sais-je ?

LEMIEUX C. 2007. À quoi sert l'analyse des controverses ? /Mil neuf cent. Revue d'histoire intellectuelle/ 1/2007 (n° 25), p.191-212.

LE MOIGNE J.-L. 1995. *Les épistémologies constructivistes.* Paris: Puf, Que sais-je ?

PESTRE D. 2006. *Introduction aux Sciences Studies.* Ed. La Découverte, Paris.

STENGERS I. (sous la direction de). 1987. *D'une science à l'autre. Des concepts nomades.* Editions Seuil.

WIKIPEDIA (encyclopédie libre sur le web) <http://fr.wikipedia.org/wiki/Accueil> voir différents articles

16 cf. « L'animation des débats socio-cognitifs : les règles à respecter et les capacités à développer pour être animateur ». C.Reynaud et D.Favre. *in les XX^{èmes} journées internationales de Chamonix sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et industrielles - formation à la médiation et à l'enseignement – Enjeux, pratiques, acteurs.* 1998 édit : G.Giordan, J.-L.Martinand et D.Raichvarg

b) La « démarche scientifique » en mathématique

Thomas Hausberger

- **Conjecturer et démontrer**

Quelle est la méthode en mathématique ? Si l'on faisait un sondage, peut-être obtiendrait-on comme réponse majoritaire « c'est la démonstration », comme le physicien répondrait « c'est l'expérimentation ». Or on ne démontre pas tout en mathématique : il y a des axiomes qui servent à fonder une théorie (parenthèse historique : naissance des mathématiques en -3000 en Mésopotamie, avec celle du nombre ; première démonstration attribuée à Pythagore vers -500 ; on trouve des axiomes chez Euclide en -300). De plus, le problème des mathématiques n'est pas seulement « comment démontrer ? » mais aussi « que démontrer ? » ; c'est là qu'apparaît la conjecture.

Il est d'usage d'appeler en mathématique « conjecture » un énoncé que l'on pense être vrai mais qui n'est pas démontré. En physique et en biologie, on parle plutôt d'« hypothèse », cependant une hypothèse requiert d'être confirmée ou infirmée par l'expérience, alors qu'une conjecture mathématique se doit d'être démontrée formellement. En mathématique, on aimerait également distinguer la « bonne conjecture », profonde (comme « l'hypothèse de Riemann »¹⁷), du simple problème non résolu. L'esthétique (simplicité, ...), la fécondité (les développements suscités, les liens avec les autres théories, y compris dans les éventuelles démonstrations), les intuitions mises en œuvre, sont difficiles à formaliser et à évaluer, surtout a priori. Mais la conjecture demeure un des moteurs de l'activité mathématique. Une attention particulière est apportée à sa formulation (hypothèses minimales,...) ; elle peut servir d'hypothèse de travail pour démontrer d'autres conjectures.

Qu'elle soit par l'absurde ou par des étapes constructives, toute démonstration se décrit comme une chaîne d'identités reliant des propositions et suppose une base axiomatique en logique. On peut alors, par exemple, définir et exprimer en langage formel les syllogismes d'Aristote. Bernard Bolzano (1781-1848) et Gottlob Frege (1848-1925) ont formalisé le calcul propositionnel ; le principe de la démonstration par récurrence figure parmi les axiomes, ce qui explique peut-être la difficulté didactique de cette notion. Les définitions, les axiomes et les théorèmes déjà démontrés sont les ingrédients de la démonstration. De nature formelle, elle repose néanmoins sur des intuitions, des représentations géométriques, dont on souhaiterait mieux pouvoir rendre compte. Une critique traditionnelle du « logicisme » de Bertrand Russell (1872-1970) est de produire des mathématiques non créatrices, c'est-à-dire sans faculté d'intuition d'après la critique d'Henri Poincaré (1854-1912, [POI68]), et de vouloir réduire les mathématiques à la logique (en sacrifiant cependant le caractère synthétique des mathématiques). De nos jours, des logiciens continuent de développer une « théorie de la démonstration ».

La donnée des axiomes suppose des critères (choix, évidence, constructibilité) et engage des attitudes épistémologiques par rapport aux démonstrations qui vont s'en suivre. Par exemple, les intuitionnistes qui n'admettent pas le principe du tiers-exclu (P ou non P est vrai) refusent toute démonstration d'existence n'aboutissant pas à la production de l'entité en question. C'est aussi une réponse à la découverte de résultats indécidables (Gödel, 1931). De nos jours, certains mathématiciens refusent les démonstrations achevées par ordinateur (théorème des quatre couleurs, par exemple).

- **Axiomatiser et formaliser**

Dans l'exigence de clarté et de rigueur des mathématiques, on ne peut faire l'économie d'une réflexion sur les axiomes (notamment la cohérence de la théorie, c'est à dire sa non-contradiction),

¹⁷ Historiquement qualifiée d'hypothèse ; on dirait conjecture de nos jours.

sur les éventuels indécidables (complétude de la théorie) et les règles de déduction qui fondent le processus de vérification. Bolzano distingue la démonstration de l'indémontrabilité des axiomes (qui tient de la vérification, légitimation) d'une démonstration ordinaire. On élimine ainsi les pseudo-axiomes qui peuvent se déduire des autres. C'est d'ailleurs cette démarche qui a conduit à la découverte des géométries non euclidiennes en s'interrogeant sur le fameux postulat d'Euclide (ce qui oblige à sortir de l'intuition géométrique classique). La logique a été axiomatisée, aux environs de 1900, afin de se prémunir des paradoxes (et donc éviter des intuitions trompeuses et les ambiguïtés du langage naturel), puis l'arithmétique par Giuseppe Péano (1858-1932). Le rêve de David Hilbert (1862-1943) est de fonder l'ensemble du corpus mathématique (la géométrie, les nombres réels,...) sur une base axiomatique garantissant la solidité de l'édifice et unifiant l'ensemble des mathématiques. Apparaît aussi l'universalité des mathématiques en tant que langage, à travers ce symbolisme capable de représenter toutes les idées (de la logique et des autres sciences quitte à introduire des symboles pour de nouveaux objets).

La logique devenant une branche à part entière des mathématiques, apparaissent les résultats d'indécidabilité et d'incomplétude : Kurt Gödel (1906-1978, indécidabilité de la consistance de l'arithmétique qui est donc incomplète), Paul Cohen (1934-2007, axiome du choix indécidable dans l'axiomatisation de Zermelo-Frankel des ensembles), ainsi que des versions effectives : Alan Turing (1912-1954, il existe des nombres incalculables) et récemment Gregory Chaitin (1947-, il existe un nombre de « complexité » infinie) qui redonne de l'actualité à la « crise des fondements ». Pour autant, la majorité des mathématiciens se sentent éloignés de ces préoccupations.

L'axiomatisation se traduit aussi à travers l'apparition des structures algébriques (groupe, anneau, corps) : il ne s'agit pas de fonder et décrire de manière économique et complète, mais de structurer et permettre des analogies. Un résultat de théorie des groupes est valable pour tout objet vérifiant les axiomes de groupe. Les structures abstraites permettent aussi de rapprocher des domaines auparavant séparés (par exemple les corps de nombres et de fonctions), en transportant des méthodes et des intuitions propres à chacun. Cela permet le développement de la topologie algébrique, de la géométrie algébrique et arithmétique, etc. ... Le groupe Bourbaki est l'emblème en France de ce courant formaliste et structuraliste (~1950) qui s'est traduit jusque dans les programmes (maths modernes). Certains lui reprochent son « dogmatisme » (recherche systématique de la plus grande généralité et des hypothèses minimales,...) et un manque d'ouverture sur la phénoménalité du monde (les courbes sont essentiellement réduites à leurs équations algébriques, ...). En réponse est apparu le constructivisme ou intuitionnisme (Brouwer, Kronecker, Poincaré, Weyl) dont nous avons déjà mentionné les choix axiomatiques et méthodes démonstratives particulières. De nos jours, le point de vue structuraliste a été adopté et l'axiome du choix, par exemple, est utilisé par une vaste majorité de mathématiciens. A la fin de l'apogée de Bourbaki, Alexander Grothendieck (1928-) a eu à cœur de développer des structures incorporant des intuitions géométriques (topoi, ...), « mathématiques plus yin ouvertes à la phénoménalité du monde » (selon son témoignage).

En conclusion, si le travail sur les fondements relève principalement de la logique, dégager des structures et exploiter les analogies structurales fait partie de la démarche mise en œuvre par tout mathématicien.

- **Mathématique, science formelle et non expérimentale ?**

La démarche démonstrative des mathématiciens, basée sur un formalisme et des règles rigoureuses de vérification fondées sur la logique semble se distinguer d'emblée de celle des sciences expérimentales. De plus, les rapports des mathématiques à l'expérience apparaissent limités par la nature même, abstraite, des objets mathématiques.

On distingue traditionnellement trois principales conceptions de la nature des objets mathématiques : les platoniciens (Frege, Bolzano, Cantor, Russel) affirment la réalité suprasensible

des êtres mathématiques, les empiristes soutiennent que ces derniers sont uniquement tirés de l'expérience par abstraction, et les nominalistes pensent que les mathématiques se réduisent à des jeux de symboles vides de toute réalité. Cependant, une conception apparaît aux alentours de 1970 : le quasi-empirisme de Lakatos et de Putman qui souligne le rôle de « l'expérience mathématique » et l'importance du succès des théories comme critère de vérité, se rapprochant ainsi des sciences de l'empirie sans pour autant traduire une volonté d'ancrer les mathématiques dans les données des sens ni substituer une vérification expérimentale à la notion de preuve.

Imre Lakatos (1922-1974, [LAK84]) distingue deux sortes de théories scientifiques : d'une part les théories « euclidiennes » organisées en système déductif où la « vérité » circule depuis les axiomes vers les théorèmes et, d'autre part, les théories « quasi-empiristes » où la « fausseté » se propage depuis certaines propositions jusqu'aux hypothèses. Dans le premier type, les axiomes sont choisis sur des critères tels que l'évidence et la suffisance alors que l'on recherche davantage le pouvoir explicatif et la puissance heuristique dans le second.

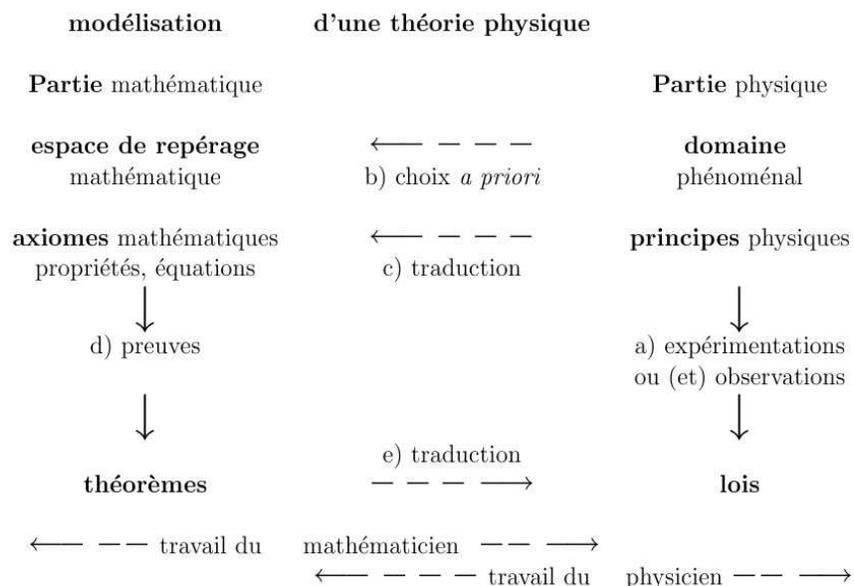
Pour Putnam (1926-, [PUT75]), les différences entre les mathématiques et les sciences de l'empirie ont été largement exagérées : bien que les mathématiques soient davantage « a priori » que la physique, il existe en mathématique des tests quasi-empiriques et des révolutions conceptuelles en résultant qui conduisent à des changements de paradigme. Par exemple, l'adoption de l'axiome du choix était une expérience mathématique. Il se demande s'il existe une raison autre que sociologique pour que les méthodes quasi-empiriques (aboutissant à des « vérités » relatives et non absolues) ne puissent obtenir un statut reconnu au sein de la communauté mathématique. Par exemple, on pourrait dire que l'hypothèse de Riemann a été vérifiée quasi-empiriquement par le fait qu'aucun contre-exemple n'a été trouvé sur ordinateur et que les conséquences sont plausibles et d'une portée considérable (mais pas la conjecture de Goldbach où la « vérification » repose uniquement sur l'absence de contre-exemple). C'est aussi une réponse au problème des indécidables dont certains peuvent accéder au statut de « vérité quasi-empirique ».

Avec l'accroissement de la puissance de calcul, nous assistons à un regain de l'expérimentation en mathématique, l'ordinateur jouant le rôle d'outil de laboratoire, outil de découverte et de création, de vérification et parfois de démonstration. Les mathématiques expérimentales possèdent leur revue destinée à publier « des résultats inspirés par l'expérimentation, des conjectures suggérées par l'expérience, des descriptions d'algorithmes et de logiciels dédiés à l'exploration mathématique ». Citons une réalisation : le « calculateur symbolique inverse » qui permet de postuler des identités algébriques à partir d'approximations numériques. Certains pensent que la « théorie élémentaire des nombres » devrait être pratiquée davantage dans l'esprit des sciences expérimentales. On peut imaginer un article qui serait publié avec un titre « nous montrons, dans un certain sens précis, que la conjecture de Goldbach est vraie avec une probabilité plus grande que 0,99999 et que la démonstration complète pourrait être déterminée avec un budget de 10 milliards de dollars ».

- **Mathématiques appliquées et modélisation**

La dichotomie mathématiques pures/mathématiques appliquées, artificielle mais institutionnelle, est d'une part le résultat de la spécialisation des activités humaines (la classification des sciences repose sur celle des situations qu'elle étudie) et traduit aussi des goûts et des attitudes différentes des mathématiciens pour leur discipline : d'un extrême de rigueur sans concession et d'une beauté non souillée par des vues applicatives conçues d'ailleurs comme inutiles, à un extrême où l'objectif pratique et l'ancrage dans le monde phénoménologique sous-tend toute investigation. Certains, comme Jacques-Louis Lions (1928-2001), ont déclaré être passés de l'un à l'autre sans avoir vu la différence. Exception faite des éventuelles concessions (partielles et provisoires) sur la rigueur, les méthodes sont les mêmes. Certains affirment que les mathématiques pures sont la branche des mathématiques dont les faits sont les résultats que l'on peut rendre totalement rigoureux. De nos jours, on y verra du moins la place relative de l'une et de l'autre des deux branches.

Au sein des mathématiques appliquées, en interaction avec les autres disciplines, la notion de modélisation est fondamentale (en mathématiques pures, la notion de « modèle » revêt un autre sens, par exemple, différentes réalisations d'un groupe abstrait en constituant des modèles). Michel Mizony ([MIZ05]) définit la modélisation d'une théorie physique comme suit :



Les questions épistémologiques proviennent des flèches b) c) et e). Gilles-Gaston Granger a mis en évidence la nécessité d'un espace de repérages, Kant a montré qu'espace et temps sont des cadres *a priori*, et Poincaré a souligné le « pluralisme théorique ». Avec cette définition, il existe une infinité de modélisations d'un même domaine phénoménal ; elles sont mathématiquement équivalentes et expérimentalement indiscernables mais conceptuellement très différentes et elles s'éclairent l'une l'autre. Choisir une modélisation, c'est choisir un éther, c'est-à-dire un support à l'intuition scientifique. Par exemple, il existe une modélisation continue et une modélisation discrète de la radioactivité. La validation du modèle (justesse, pertinence, ...) est basée sur l'exactitude de la preuve mathématique, l'absence d'expérience invalidant la flèche principes-lois (principe de Popper), ainsi que la justesse des traductions (qui peuvent contenir beaucoup d'implicites ; c'est là où la collaboration entre mathématiciens et physiciens est essentielle).

- **Questionnement didactique**

On trouvera dans [DIA05] un compte-rendu de la place de l'expérimentation en mathématique dans les programmes d'enseignement ainsi que différentes expériences (maths en jeans, main à la pâte ; nous incluons les options sciences) qui placent la démarche d'investigation raisonnée (résolution de problèmes dans un contexte délimité) au cœur de l'activité mathématique. Il s'agit de développer des activités (adidactiques) s'appuyant moins sur la certitude des théorèmes et davantage sur la formulation de conjectures où apparaît le doute. La question du statut des objets mathématiques et du rapport entre mathématique et réalité réapparaît au cours des activités pédagogiques. Les exemples empruntés aux autres sciences et au rapport avec le réel mettent l'accent sur la modélisation et la construction du savoir comme va et vient entre modèle et théorisation (ce qui est réducteur : la construction des savoirs mathématiques est plus complexe, voir plus haut). La résolution de problèmes se fait souvent selon une structure classique du type : mise en situation, conjecture, démonstration. Certains élèves ont du mal à concevoir qu'il existe des énoncés que l'on ne démontre pas (les axiomes). Comme dans les autres disciplines, le recours expérimental facilite la démarche d'appropriation des savoirs ; il s'agit de débattre sur le rôle de l'expérience comme

médiateur nécessaire au dialogue du sujet avec les objets.

Références pertinentes (non explicitement citées) : [GRA92], [GRA93], [LEC99], [RAO04], [REV02]

Bibliographie

POI68: Henri Poincaré, La science et l'hypothèse, Flammarion, 1968

LAK84: Imre Lakatos, Preuves et réfutations, Hermann, 1984

PUT75: Hilary Putnam, Qu'est-ce que la vérité mathématique ?, dans « Mathematics, Matter and Method », Philosophical papers, Cambridge University Press, pp. 60-78, 1975

MIZ05: Michel Mizony, Relations entre physique et mathématiques, un problème épistémologique, Repère IREM N°64, pp. 91-111, 2005

DIA05: Thierry Dias, La dimension expérimentale en mathématique : mythe ou réalité ? , 4èmes rencontres de l'ARDIST, 2005

GRA92: Gilles-Gaston Granger, La vérification, Odile Jacob, 1992

GRA93: Gilles-Gaston Granger, La science et les sciences, Que sais-je ?, PUF, 1993

LEC99: Dominique Lecourt, Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences, PUF, 1999

RAO04: CREM (J.P. Raoult), La modélisation, publication de l'IREM de Paris 7, 2004

REV02: *André Revuz, Y a-t-il une méthode en mathématique ? , dans Michel Serfati « de la méthode », PuFC, 2002*

c) Point de vue de physicien sur la démarche scientifique

Férial Terki et Jacques Pelous

La démarche scientifique possède un socle de pratiques communes à l'ensemble des trois disciplines scientifiques que sont la physique, la chimie et les mathématiques. Ce socle est composé d'invariants parmi lesquels nous pouvons citer :

- l'exigence de vérifiabilité et de reproductibilité,
- le bon sens ou la logique,
- l'objectivité au sens de la neutralité du raisonnement et son indépendance vis-à-vis d'une perspective individuelle ou d'éléments d'influence liés à des circonstances locales,
- la confrontation des résultats, le débat d'idées, la polémique et la critique,
- le besoin de validation scientifique et l'établissement de preuves : vérité scientifique.
- la recherche d'un comportement universel : calcul de « master curve » (courbe maîtresse) et découverte des lois universelles.

C'est une démarche rationnelle basée sur un fait, une enquête, un constat, une observation expérimentale ou un calcul théorique et qui s'oppose à tout comportement dogmatique ainsi qu'à toute démarche mystique ou métaphysique.

Pour répondre à une problématique donnée, chacune des disciplines scientifiques va utiliser une démarche dont le fil conducteur est somme toute identique mais avec des variantes propres aux méthodes utilisées dans ces disciplines. Plus spécifiquement, chaque discipline va répondre en fonction du lien de cette science avec son histoire passée, sa place actuelle dans la société et l'intérêt de la problématique abordée et de ses enjeux futurs : « L'activité scientifique intègre une forme de polémique et de rivalité, elle promeut un engagement qui lie intérêt, vérité et histoire » (I. Stengers).

Plus spécifiquement en physique, les champs d'investigation en cours d'exploration concernent essentiellement, l'infiniment petit, l'infiniment grand, l'unification de théories existantes ainsi que les interfaces avec les disciplines transverses telles que la biologie, la chimie....

Les développements technologiques des décennies passées ont ouvert de nouveaux champs de recherche et de connaissances. Par exemple, la construction de nouveaux instruments d'observation et de mesure dédiés à la recherche des ondes gravitationnelles, la microscopie à champ proche et les nanosciences, les grands accélérateurs de particules, les observations à partir de l'espace, l'accès à de plus basses ou plus hautes températures, pressions, champs magnétiques, les nouveaux matériaux, etc. De nombreuses technologies de notre vie quotidienne (lasers, imageries médicales, écrans plats,...) sont des purs produits d'une recherche fondamentale plus ancienne qui répondait alors à sa logique propre. Nous voyons par là le lien étroit entre des développements technologiques aboutis et les développements théoriques « recherche fondamentale » effectués en amont.

Une des spécificités de la physique, concerne une phase d'observation « expérience » suivie de l'élaboration du processus de modélisation qui 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. Cette étape dite de simplification du modèle complexe pour pouvoir résoudre la problématique étudiée est une étape clé où l'intuition, l'imagination, et le sens physique «proche de la réalité» jouent un rôle déterminant. Par ailleurs, en physique, l'analyse d'un résultat d'expérience nécessite toujours - plus ou moins explicitement - une réflexion sur l'incertitude de mesure (de plus en plus en terme probabiliste ou statistique). Cette réflexion déterminera alors le domaine de validité du modèle ainsi développé.

L'abandon d'un modèle (théorie) revient tout d'abord à définir ou préciser son domaine de validité (exemples : mécanique classique ou mécanique quantique et relativité, optique ou électromagnétisme ou théorie des champs). Avant les « révolutions » théoriques, on procède tout d'abord par ajustements successifs des modèles et théories existantes. Les avancées explicatives de données expérimentales en physique mettent souvent en jeu des concepts mathématiques jusque là inexploités dans le domaine de la physique (par exemple la mécanique quantique, les fractales, le chaos, la théorie des cordes et supercordes,...). A l'inverse, les développements mathématiques peuvent trouver leur motivation dans les données expérimentales. Le changement de langage mathématique permet alors une reformulation et en particulier une extension de la théorie, voire une généralisation. .

d) Méthodes scientifiques en chimie

François Henn

« La chimie est devenue science en se dégageant de la gangue des savoir-faire archaïques et des savoirs occultes..... » B. Bensaude-Vincent & I. Stengers dans *Histoire de la Chimie*, Ed. La Découverte, Paris, 1995.

La chimie (ou « les Sciences Chimiques » selon la terminologie du CNRS) est une science dont les contours peuvent être assez bien définis¹⁸. Il est cependant difficile de réduire l'activité scientifique des chimistes à une seule et unique approche méthodologique. Il est par contre envisageable, au prix certes d'une simplification que d'aucuns pourraient refuser, de subdiviser les méthodologies propres à cette discipline en trois catégories.

Ces approches qui dépendent essentiellement des objectifs assignés, peuvent être qualifiées par les verbes d'action suivants: « Construire », « Analyser » et « Comprendre »^{19,20}.

Le « Construire »²¹ regroupe la chimie de synthèse (quel que soit l'état physique : gaz, liquide, solide ou plasma des systèmes étudiés) et la physicochimie des assemblages moléculaires (par ex: les émulsions, micelles, gels...)²². L'« Analyser » détermine qualitativement et quantitativement les molécules et/ou les atomes qui constituent la matière étudiée. Dans le cas des matières solides (ex: matériaux), nous pouvons également y ajouter l'étude de leur structure (ex: cristallographie). Le « Comprendre » a pour vocation d'élucider les mécanismes sur lesquels s'appuie le « Construire » et l'« Analyser ». Pour ce faire, les chimistes du « Comprendre » développent des modèles qui décrivent les phénomènes soit au niveau atomique (ex: mécanique quantique et classique, approche statistique) soit au niveau macroscopique ou phénoménologique²³ (ex: thermodynamique, cinétique formelle).

Dans le « Construire », le sujet de recherche ne repose pas sur l'étude de propriétés/concepts caractérisés par des grandeurs et des relations mathématiques, mais sur des objets « matériels » (molécules/atomes) dont on étudie les capacités à se lier (ou se délier) les uns aux (ou des) autres suivant une organisation plus ou moins bien déterminée. Les relations qui vont alors établir les liens de causalité entre paramètres expérimentaux (données initiales et finales) ne prennent pas de forme mathématique (au sens analytique²⁴). On pourrait extrapoler cette vision (interprétation certes très restrictives, voire étroite, de la réalité !) en écrivant que la chimie du « Construire » n'a pas vocation à étudier les propriétés (physique et/ou biologique) des objets qu'elle étudie²⁵, mais uniquement à en créer de nouveaux. Le chimiste du « Construire » est un créateur d'objets (molécules ou assemblage moléculaire). Il s'appuie, bien évidemment, pour mener sa mission sur des lois de comportement vérifiables (?/falsifiables) élaborées par les chimistes du « Comprendre » et sur sa capacité à analyser ce qu'il produit. Mais ces lois sont peu nombreuses et leur utilisation renvoie à des tendances plutôt qu'à des prévisions exactes. La principale raison est que les objets que la chimie manipule sont trop complexes pour être décrits par un jeu exhaustif de paramètres (composition, structure, dynamique vibrationnelle...) qui servirait à caractériser de façon très précise toutes leurs

18 Mettre en association des molécules (ou plus rarement des atomes isolés) de manière à en former de nouvelles.

19 « Comprendre » doit être ici accompagné de « ...les mécanismes élémentaires et/ou fondamentaux ».

20 Il est évident que le chercheur qui travaille au développement de nouvelles molécules ou de nouveaux matériaux a pour objectif de « faire » mais que son activité nécessite également une part importante de « Comprendre ». Cette proposition ne peut, peut-être, pas être aussi facilement inversée pour celui qui s'attache à « Comprendre ».

21 On évoque parfois le terme d'« architecture moléculaire ».

22 Une partie importante de la chimie moderne, notamment celle liée à la synthèse de nouveaux matériaux, repose sur l'association de ces 2 aspects : synthèse (réactivité -avec création de liaison forte- et assemblage -organisation fondée sur des liaisons faibles).

23 Dans ce cas, la matière est considérée comme un milieu continu. La référence à l'atome n'est pas nécessaire.

24 La chimie repose essentiellement sur l'écriture de réactions : « A+B=C ». A, B et C ne sont pas des nombres mais des objets, « = » n'a pas le sens mathématique habituel, seul le « + » peut être rapproché du sens mathématique usuel (ajout, addition).

25 Elle les livre aux physiciens, aux biologistes ou à d'autres chimistes qui chercheront à exploiter leurs propriétés d'usage.

propriétés. Il n'est donc jamais possible de prétendre connaître avec exactitude l'objet construit. Il n'y a pas, non plus, toujours de solution unique et exacte au problème posé. Le chimiste du « Construire » doit donc avoir recours à un savoir-faire empirique qui repose sur une accumulation assez considérable de connaissances acquises soit par sa communauté au fil des années (livres, publications...) soit par sa propre expérience, souvent acquise par une approche « essai/erreur ». Pourrait-on dire que le « Construire » en chimie est tout autant une science qu'un art (comme on le dit parfois de la médecine !).²⁶

L'« Analyser » et le « Comprendre » s'intéressent soit aux propriétés des objets soit aux caractéristiques qui pourraient expliquer leur aptitude à être transformés, mais ils ne sont pas « constructeurs ». Ils travaillent sur des matières ou des réactions déjà connues/répertoriés. Mais compte tenu de la complexité des objets étudiés, ils ne s'attachent très souvent qu'à étudier, soit par la mesure (ex: spectroscopie) ou par la modélisation (numérique ou non), des systèmes simples²⁷ voire (mentalement) simplifiés (ex: *i*) un groupe d'atomes est remplacé par un seul « atome » censé représenter les propriétés de l'ensemble; *ii*) mise en équation après plusieurs simplifications –termes négligés- voire en utilisant des fonctions mathématique sans sens « physique »)²⁸.

Quel que soit le sujet de leurs recherches, les chimistes du « Comprendre » procèdent avec des méthodologies comparables à celles des physiciens dont les fondements reposent sur une mathématisation des phénomènes ou propriétés observées, ou en d'autres termes, sur des relations de causalité qui se mettent sous la forme d'équations reliant des grandeurs (ou des mesurables). Nous pouvons ici renvoyer le lecteur au texte proposé par nos collègues physiciens.

Notons, finalement, que les développements récents de l'outil informatique et de nouveaux modèles (ex : théorie de la fonctionnelle de la densité) permettent de «construire» par le calcul. Cette nouvelle forme d'activité peut donc être placée à la frontière du « Construire », de l'« Analyser » et du « Comprendre » car elle utilise des modèles mathématiques fondés sur des lois physiques à partir desquelles elle peut, d'une part construire des molécules (ou des édifices moléculaires) et, d'autre part, analyser leurs caractéristiques. Il faut cependant rappeler que, dans ce cas, les modèles utilisés ne peuvent pas toujours rendre compte de toute la complexité de la « réalité » (expérimentale) et que de nombreuses simplifications sont toujours nécessaires.

Dernier point important qui, me semble-t-il, doit être souligné : le « Construire », l'« Analyser » et le « Comprendre » ne correspondent pas au découpage trop souvent réducteur que l'on fait entre recherches « appliquée » et « fondamentale ». Ces activités sont, en réalité, imbriquées de manière plus complexe. Par exemple, nombreux sont les chimistes qui construisent de nouveaux ensembles moléculaires ou solides sans autre but que mieux comprendre des lois de comportement général. Ils utilisent également l'«Analyser» car c'est la seule façon de connaître le résultat de leur construction. Il est ainsi de plus en plus fréquent que toutes les actions que nous venons de brièvement décrire s'imbriquent les unes avec les autres et que les frontières qui les séparent s'amenuisent. Il me semble pourtant que c'est autour de ces trois verbes que les différentes approches/méthodologies (on pourrait même dire philosophies) utilisées par les chimistes s'organisent et se comprennent le mieux.

26 Nous pourrions simplement illustrer cette dualité « science/art » en soulignant qu'il n'est pas jamais facile de reproduire –du premier coup- la synthèse proposée par un autre chimiste, même en suivant scrupuleusement la description précise qu'il a pu en donner.

27 L'étude des propriétés de la molécule d'eau est toujours un sujet d'actualité.

28 Cette recherche du « simplifié », que l'on nomme également « modèle », est souvent une source d'antagonisme/ de conflit entre les chimistes du « Construire » et ceux du « Comprendre » ou de l'« Analyser » : les premiers se méfiant du modèle qui serait trop éloigné de la réalité pour être vraiment utile, les seconds parfois effrayés par l'excès d'empirisme des premiers.

e) **Les démarches en sciences biologiques**

Hélène Hagège

En sciences, il n'y a pas de méthode rigoureusement appliquée à la façon d'une recette de cuisine. On peut toutefois dégager des traits communs quant aux démarches mises en œuvre au sein des disciplines scientifiques. Ces démarches comportent notamment le fonctionnement de la communauté scientifique, qui régule le savoir en construction. Elles peuvent être considérées comme des démarches de modélisation (pour plus de détails, se référer au document « La démarche scientifique : une approche épistémologique »²⁹).

1 Principe général des démarches de modélisation

Les modèles sont représentatifs de la démarche disciplinaire. En effet, leur étude permet de mettre en évidence les spécificités de la discipline : le langage utilisé, le type de raisonnements et de questions légitimes, la représentation des objets d'étude... Ici, nous abordons donc la spécificité de la démarche en biologie, par le biais de la spécificité de ses modèles et des questions auxquelles ces modèles visent à répondre.

Au sens large, un modèle peut être défini comme une représentation des relations entre différents éléments théoriques (ou concepts). Ainsi le modèle réduit la complexité du vivant en cela qu'il ne prend en considération que certains éléments, supposés les plus importants pour décrire le phénomène étudié, les autres étant négligés. Ce choix dépend de la question posée. Autrement dit, les modèles sont destinés à tenir la place d'une situation plus complexe dans sa singularité.

Trois types de modèles peuvent être distingués. Selon une métaphore écologique, cette distinction provient du type d'habitat de ces modèles :

- de type I : ceux qui vivent dans les publications des chercheurs et qui sont objets de communication, de validation et/ou de débat. Le sens courant de « modèle » est souvent restreint à ces derniers. Etant au front des connaissances et de nature instable, leur fonction est autant heuristique³⁰ qu'explicative. On pourrait les appeler des « modèles de travail » (*working models*). C'est-à-dire qu'ils sont considérés comme des hypothèses et que leur rôle est de constituer un outil de confrontation à l'expérimentation. Ils sont utilisés pour relire le monde à l'aide de la grille interprétative qu'ils fournissent. Cette relecture permet de les « vérifier » ou de les infirmer et donc, respectivement, d'y accorder plus de confiance ou de modifier la représentation des relations entre les éléments en leur sein.

- de type II : ceux qui vivent dans les manuels (*textbooks*) sont passés dans le savoir ; ils sont appelés 'lois' ou 'connaissances', car ils font déjà l'objet d'un consensus et d'une standardisation au sein de la communauté disciplinaire. Ils ont tous été de type I auparavant. Ils servent désormais de référence, d'outils de base à la construction des modèles de type I (notamment en donnant leur sens aux éléments et en cadrant le type de relations possibles ou interdites).

- de type III : ceux qui vivent dans la tête des chercheurs leur servent à penser et à agir. Ce sont les avatars des modèles des deux autres types ; ce sont des représentations mentales personnelles. Chaque chercheur qui aborde un modèle de type I ou II en construit mentalement un de type III, qui diffère nécessairement d'un chercheur à l'autre (car il vit dans un habitat différent, où les éléments qui le constituent ont une histoire et un sens propres).

29 <http://www.irem.univ-montp2.fr/La-demarche-scientifique-une>

30 « heuristique » signifie « qui sert à la découverte »

Un but du chercheur est de faire passer des modèles de type II dans la catégorie I et pour cela ses outils mentaux sont des modèles de type III. Il nous paraît fondamental de garder à l'esprit les relations dialogiques entre ces trois types de modèles, bien que nous aborderons ici essentiellement la construction et les fonctions des modèles de type I en biologie (et plus marginalement, dans une perspective historique, ceux de type II).

Les sous-disciplines (ou « domaines ») de la biologie ont des traditions différentes, que l'on retrouve dans les modèles prépondérants qu'elles utilisent. Les démarches peuvent être distinguées selon qu'elles ont pour objet majeur l'établissement de modèles quantitatifs ou bien qualitatifs.

2 Les démarches de modélisation quantitative en biologie

Ces démarches sont liées au projet de comprendre le vivant à l'aide d'outils mathématiques (à l'instar de Galilée qui a mathématisé les sciences physiques et leur a ainsi donné leur tonalité actuelle). Elles s'intéressent à la dynamique des phénomènes. Ainsi le principe est d'avoir recours à des grandeurs quantifiables. Elles semblent prépondérantes en biologie des populations, sciences de l'évolution et en physiologie expérimentale. C'est-à-dire aux domaines de la biologie dont les objets d'étude sont à des échelles d'espace et de temps telles que ces objets sont plus accessibles à la mesure. Par exemple, il est plus facile de compter des moutons ou de mesurer un débit sanguin que de compter des molécules ou mesurer leur vitesse. Notons qu'elles tendent à se développer dans les approches récentes de la génomique qui tentent précisément d'embrasser une diversité combinatoire ou de mesurer des propriétés de biomolécules à l'aide d'outils récents. On trouve ce dernier cas particulièrement en biophysique, approche interdisciplinaire dans laquelle des entités du vivant (molécules, cellules, organismes...) sont étudiés à l'aide de concepts et grandeurs physiques (force, élasticité...). Evoquons deux domaines de recherche où les démarches de modélisation quantitatives sont particulièrement développées.

- En physiologie expérimentale

Ce domaine s'intéresse au maintien de l'organisation du vivant à l'échelle de l'organisme (ou « homéostasie»). Historiquement, William Harvey (1578-1657) avec la démonstration de la clôture du système de circulation du sang humain et Claude Bernard (1813-1878) avec l'étude de la régulation de la glycémie ont marqué ce domaine. William Harvey a montré, en comparant le cœur à une pompe, que la circulation du sang relevait des lois de l'hydraulique. Ce domaine est largement minoritaire aujourd'hui et quasiment restreint à la physiologie du sport, où on s'intéresse notamment aux rapports entre masse musculaire, débit sanguin, vitesse respiratoire et métabolisme.

- b) En biologie des populations, des écosystèmes et évolution

Ce domaine est plus vivace que le précédent et vise à élucider les facteurs déterminant la dynamique des populations et des écosystèmes. Les quantités mesurées ici sont surtout les tailles des populations, les caractéristiques des individus (*i.e.* la structure de la population : répartition en âge, sexe, poids...), les taux de reproduction et de mortalité. Une partie de la biologie des populations et de l'évolution est expérimentale et étudie les « écosystèmes *in vitro* » (*e.g.* populations bactériennes). Pour celles-ci l'accès aux grandeurs est facilité et les paramètres du milieu de vie sont contrôlables. Pour la partie non expérimentale, qui s'intéresse à la biologie *in situ* dans les écosystèmes naturels, les quantités sont estimées à l'aide de procédures statistiques (techniques d'échantillonnage). Les statistiques sont également utilisées pour extrapoler et interpréter les résultats.

Ce domaine a sans doute été précurseur dans le recours à la simulation (analytique ou multi-agents³¹). Notons que la simulation en biologie est une méthode en plein essor et qu'elle se développe en interdisciplinarité (avec des informaticiens modélisateurs ou des physiciens des systèmes dynamiques) dans tous les domaines : on modélise aussi bien le rythme circadien que la dynamique de la biodiversité, d'une métastase ou de systèmes enzymatiques. Nous pouvons noter que les bases de ces modélisations *in silico* sont soit mathématiques (également dites « analytiques » - c.à.d. qu'elles correspondent à des suites d'équations) soit informatiques (également dites « algorithmiques » - c.à.d. qu'elles correspondent à des lignes de code).

3 Les démarches de modélisation qualitative en biologie

Ces démarches sont majoritaires dans tous les autres domaines de la biologie, c'est-à-dire ceux qui s'intéressent aux phénomènes aux échelles cellulaire et moléculaire et sont également présentes dans les domaines utilisant surtout des modèles quantitatifs. Les sciences biologiques étant essentiellement expérimentales, les savoirs y progressent par la mise en adéquation de résultats expérimentaux – obtenus dans des conditions précises et limitées – avec des théories prétendant à une portée plus générale, qui dépasse les contextes expérimentaux initiaux. Ainsi, on peut distinguer deux sortes de modèles qualitatifs différents, qui ne sont pas basés sur les langages mathématique ou informatique et qui sont en constante interaction dans ces démarches-là.

a) Les modèles concrets, substrats empiriques de la démarche de modélisation

Les modèles concrets sont des objets réels en trois dimensions (comme les maquettes en architecture) : on peut les manipuler. Certains de ces modèles (*e.g.* modèles de structure de molécules), que nous ne développerons pas ici, sont partagés avec d'autres disciplines.

Une spécificité de la biologie est d'avoir recours à des organismes modèles. Cela est particulièrement fondamental dans la BMC inscrite dans une perspective intégrée de l'organisme (immunologie, neurologie, *etc.*), mais pas seulement. En effet, autant dans les années 1970-80, pour prouver l'existence d'un phénomène à l'échelle moléculaire, il fallait être capable de le reconstituer *in vitro* avec quelques acteurs clés, autant aujourd'hui, il faut absolument pouvoir montrer qu'il existe *in vivo*. Cela est dû d'une part à la mise en évidence *in vitro* de phénomènes non pertinents biologiquement et, d'autre part, à une volonté de sortir du réductionnisme moléculaire, pour avoir une approche intégrée (terme très au goût du jour en biologie). Ainsi, les chercheurs étudiant des phénomènes intracellulaires telle la réplication de l'ADN pratiquent leurs expériences sur des organismes modèles (il peut s'agir de la levure de bière ou d'avatars d'êtres plus complexes : des cellules isolées en culture).

On peut relier cette spécificité d'usage de ces modèles à l'échelle de l'objet d'étude. En effet, en BMC, les études ne sont pratiquées que sur un nombre limité d'individus (les statistiques des grands nombres ne peuvent être appliquées). Etant donnée la complexité combinatoire (moléculaire) nettement supérieure à ce qui est observé dans les systèmes physiques par exemple, il est nécessaire pour ce type d'études biologiques de se placer dans des conditions contrôlées au maximum. L'environnement et le matériel biologique visent à être standardisés, ce qui justifie le recours à ces organismes modèles. Un paradoxe qui émerge de ce type d'études est que, d'un côté il est souvent difficile de reproduire des expériences ou d'obtenir les mêmes résultats dans deux

31 Le terme de « simulation » indique que les processus sont modélisés dans leur dimension temporelle.

« Analytique » signifie que le modèle est mathématique : le temps t est intégré comme variable dans les équations.

« Multi-agents » est un type de simulation *in silico* où l'évolution des éléments du modèle et de leurs relations est étudiée en fonction du temps et de l'environnement : le modèle est formalisé par l'écriture d'un programme informatique et non par celle d'équations mathématiques. Dans tous les cas, le chercheur s'intéresse aux différents états stables que peut atteindre le modèle en fonction des domaines des paramètres initiaux du modèle.

organismes proches (*e.g.* deux souches de souris *Mus musculus*), mais que de l'autre, les résultats sont très souvent extrapolés à des organismes très différents (on en inférera ce qui se passe chez « les mammifères »). Un exemple plus criant est que la levure de bière, *Saccharomyces cerevisiae*, est considérée comme un bon modèle d'étude des phénomènes cellulaires humains – division, réplication, *etc.*). Ces extrapolations sont permises par les similitudes maintes fois révélées entre des systèmes biologiques différents, quant aux acteurs moléculaires impliqués et à leurs relations apparentes. Mais les biologistes savent bien que 'similitudes' ne veut pas dire 'exactitude', ainsi l'extrapolation ne peut être admise que si elle a été vérifiée expérimentalement. Nous y voyons là un effet de l'éminente variabilité du vivant qui fait qu'on ne peut pas se passer des études de détail (c'est-à-dire des phénomènes pris dans leur contexte et leur singularité).

b) Les modèles théoriques

Les modèles quantitatifs évoqués précédemment peuvent également être qualifiés de « théoriques ». Les modèles théoriques qualitatifs peuvent être de différentes natures.

Il peut s'agir tout simplement de propositions. Ce sont des lois formulées dans le langage courant. En biologie moléculaire et cellulaire (BMC), elles sont implicites (*e.g.* « tout changement dans l'organisation structurale d'un être vivant peut s'expliquer par une variation de l'expression du génome »). En sciences de l'évolution, elles ont été formulées explicitement lors de la synthèse néodarwinienne dans les années 1930. Ces exemples appartiennent aux modèles de type II.

Il peut s'agir de schémas, très utilisés en BMC (ici nous évoquons surtout ceux de type I, mais nombreux sont ceux de type II également). Ils représentent les éléments considérés (souvent des types cellulaires ou des molécules) et aussi les processus et mécanismes, à la façon d'une bande dessinée (c'est-à-dire que 3-4 vignettes où le schéma varie un peu décrit la séquence d'événements subie par les éléments). Les relations entre éléments sont souvent symbolisées par des flèches, dont la signification n'est pas toujours ni précise, ni précisée, et, grossièrement, il s'agit souvent de relations de cause à effet (interactions moléculaires induisant un changement de conformation ou une réaction enzymatique par exemple). La grille de lecture de ces schémas est toujours inscrite dans une vision informationnelle du vivant, constitutive de la BMC : on y cherche par où passe l'information, le message, où sont les récepteurs, comment se fait la transduction du signal *etc.* De tels schémas servent de support théorique de réflexion et de guide des expériences (*i.e.* le but des expériences est de « vérifier » si on a mis les flèches au bon endroit, si on n'a pas oublié un élément important pour le phénomène *etc.*). Notons que l'utilisation de ce genre de modèles favorise un décloisonnement des sous-domaines (c'est la tendance actuelle en BMC). C'est-à-dire, par exemple, que les chercheurs sont dans l'obligation, de part les résultats de leurs expériences, d'inclure dans leur schéma de la réplication de l'ADN des acteurs essentiels pour sa transcription et la tendance actuelle est donc de se demander comment ces deux mécanismes s'articulent. Il en va de même pour beaucoup de sous-domaines (évolution/développement, immunologie/endocrinologie...).

Notons que ces démarches de mise en correspondance des résultats d'expériences avec des modèles théoriques qualitatifs recourent fréquemment à des outils mathématiques annexes dans leur mise en œuvre : l'établissement de courbes, le calcul de variation de grandeurs (*e.g.* la représentation graphique de l'évolution de l'expression d'un gène ou le calcul du taux de transcrits à l'équilibre).

De plus, nous pouvons distinguer bien d'autres types de modèles qualitatifs que nous ne détaillerons pas ici tant ils nous semblent minoritaires dans la spécificité méthodologique des sciences biologiques – s'il en est ! – (par exemple les modèles analogiques).

En conclusion, les démarches utilisées en sciences biologiques peuvent être à dominante quantitative ou qualitative, notamment en fonction des domaines de recherche concernés. Ainsi, le type de symbolisme qui fait le plus sens dans un contexte dépend de la démarche. Il semblerait que peu de domaines de recherche en science biologique soient totalement exempts d'outils mathématiques ou de modèle biologique concret de référence. Les démarches à prédominance quantitative ressemblent beaucoup à celle de certains domaines de la physique, tandis que celles à prédominance qualitative semblent plus spécifiques des sciences biologiques (si on se restreint aux comparaisons entre sciences dites « dures », pour reprendre la terminologie d'Isabelle Stengers³²). Relevons toutefois l'exception que souligne Bernadette Bensaude-Vincent³³ : celle de la biologie synthétique, domaine en pleine extension, proche de l'ingénierie, dont l'objet est de fabriquer des nouveaux êtres vivants et qui présente des parallèles historiques troublants avec les développements de la chimie de synthèse au XIX^{ème} siècle.

32 STENGERS I. (sous la direction de). 1987. *D'une science à l'autre. Des concepts nomades*. Editions Seuil.

33 <http://diffusiondessavoirs.uomlr.fr/repository/speechi/iuf09-10/bensaude/>

f) Faire des sciences, ça aide à réfléchir

Claude Caussidier et Grégoire Molinatti³⁴

Sommaire

Introduction

1- Les objets et concepts des sciences, similitudes et différences

- a- Les phénomènes étudiés
- b- Les conjectures et les hypothèses
- c- Les méthodes : démonstration et expérimentation
- d- Les lois
- e- Les théories et les modèles théoriques
- f- Le cas particulier des mathématiques
- g- La science par l'histoire

2- Démarche scientifique des scientifiques et démarche scientifique en classe

- a) Pourquoi l'apprentissage de la "démarche scientifique" sous la forme de "démarche d'investigation" fait-il partie des programmes scolaires actuels ?
- b) Est-il justifié de considérer l'acquisition de la "démarche d'investigation" comme l'acquisition d'une compétence ?
 - b1- L'interdisciplinarité
 - b2- Les pseudosciences
 - b3- Le débat citoyen

3- Bibliographie

Annexe 1 - Quelques procédés de validation non scientifiques

34 LIRDEF (Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique, Education et Formation)
UM II - CC 077 - Place Bataillon – 34095 Montpellier Cedex 5
Tél: (33) 467 143322 – email: claudio.caussidier@univ-montp2.fr et gregoire.molinatti@univ-montp2.fr

Introduction

Ce texte tente de répondre à trois questions :

- 1) Qu'est-ce qui est actuellement considéré par les spécialistes comme une "démarche scientifique" ?
- 2) Pourquoi l'apprentissage de la "démarche scientifique" sous la forme de "démarche d'investigation" fait-il partie des programmes scolaires actuels ?
- 3) Est-il justifié de considérer l'acquisition de la "démarche scientifique" ou de la "démarche d'investigation" comme l'acquisition d'une compétence ?

Les sciences dites dures (mathématiques, physique, chimie, sciences de la vie, de la terre ou de l'univers) jouissent d'un statut privilégié dans nos sociétés occidentales. Elles produisent des connaissances auxquelles on accorde une valeur particulière. On pense qu'elles aboutissent à une représentation "vraie" du monde. D'où vient cette particularité ? En quoi ces connaissances sont-elles différentes des autres connaissances issues de l'activité humaine (sciences humaines, religions...)?

Tout d'abord, ces sciences sont caractérisées par la mise en œuvre de ce que l'on pense être un processus de pensée et d'action particulier, "la démarche scientifique". Selon l'image populaire, une telle démarche aurait pour but de découvrir, de comprendre et d'expliquer le monde tel qu'il est. Elle serait constituée d'étapes bien déterminées, respectées de manière rigoureuse. Elle consisterait en l'exercice d'une raison pure, la confrontation avec des expériences et des observations neutres, qui conduiraient à l'élaboration de théories en stricte correspondance avec la réalité. Ainsi, les connaissances objectives qui en émanent s'ajouteraient progressivement de manière à tendre vers la vérité, c'est à dire une description du monde tel qu'il est. En effet, même si l'histoire nous a montré que la science avance parfois par tâtonnement, les erreurs seraient éliminées au fur et à mesure, de telle manière que les connaissances conservées au bout du compte correspondraient à la "réalité".

On constate que les programmes scolaires actuels privilégient de plus en plus l'acquisition de compétences plutôt que celle de connaissances. En ce qui concerne les matières scientifiques, on se demande donc comment mieux articuler connaissances et compétences (Romainville, 2006). Enseigner la "démarche scientifique" serait-il un moyen qui permettrait de répondre à cette difficulté ?

Notre objectif est ici de tenter de définir la démarche scientifique, d'examiner les objets et concepts qu'elle met en jeu dans les différentes disciplines scientifiques, et de mettre en évidence les caractéristiques communes aux différentes sciences.

1- Les objets et concepts des sciences, similitudes et différences

Chaque science possède un champ d'étude déterminé. Certains champs se recoupent mais ils sont alors identifiés en tant que champs spécifiques avec leurs propres théories et méthodes. Nous n'aborderons ici que les domaines des mathématiques, physique, chimie et biologie (écrit à partir des documents de T. Hausberger, "La démarche scientifique en mathématique", F. Henn, "La méthode scientifique en chimie", H. Hagège, "La démarche scientifique: invariants et spécificités disciplinaires", et J. Pelous et F. Terki, "Point de vue du physicien sur la démarche scientifique").

a- Les phénomènes étudiés

- **En mathématiques.** L'objet mathématique est abstrait, même si certaines mathématiques ont été développées pour répondre aux besoins des sciences de l'empirie³⁵. Le statut des idéalités mathématiques est discuté par les philosophes des sciences, peu de mathématiciens s'intéressant aux questions ontologiques³⁶.

- **La physique** tente d'expliquer les phénomènes de la nature non vivante. Ces phénomènes ont un caractère déterministe dont la prédiction peut être extrêmement précise. Toutefois avec la mécanique quantique et la description de ce qu'on appelle le chaos³⁷, le déterminisme peut aussi se décrire avec des probabilités et des événements aléatoires.

- **La chimie** (ou "les sciences chimiques" selon la terminologie du CNRS) est une science dont les contours peuvent être assez bien définis³⁸. Elle recouvre cependant plusieurs types d'activités scientifiques que l'on pourrait classer autour de trois verbes d'action: "Construire" de nouvelles molécules ou nouveaux systèmes moléculaires, "Analyser" leur composition et leur structure et "Comprendre" les mécanismes "cachés" derrière le "Construire" et l'"Analyser". Notons toutefois que dans la plupart des cas, le chercheur chimiste est confronté de manière plus ou moins simultanée à ces trois actions.

- **La biologie** tente d'expliquer les phénomènes de la nature vivante. Elle essaie maintenant d'intégrer à l'étude de structures plus "simples" (neurones, cellules) celle d'organes ou de systèmes (ex: cerveau, écosystème). Le réductionnisme jusqu'alors prédominant est aujourd'hui accompagné d'une vision plus globale du fonctionnement des êtres vivants et d'une attention aux phénomènes émergents³⁹.

b- Les conjectures et les hypothèses

- Il est d'usage d'appeler en mathématiques "conjecture" un énoncé que l'on pense être vrai et que

35 Empirisme : système de philosophie dans lequel l'origine de nos connaissances est uniquement attribuée à l'expérience. Il se dit dans un sens plus général de toute méthode qui prétend ne s'appuyer que sur l'expérience.

36 L'ontologie est définie comme la "science de l'être en tant qu'être". L'objet, ici "les mathématiques", est alors conçu en englobant tous ses aspects et tous ses niveaux.

37 La théorie du chaos traite des systèmes dynamiques rigoureusement déterministes mais qui présentent un phénomène fondamental d'instabilité appelé « sensibilité aux conditions initiales » qui, modulant une propriété supplémentaire de récurrence, les rend non prédictibles en pratique sur le « long » terme.

38 Mettre en association des molécules (ou plus rarement des atomes isolés) de manière à en former de nouvelles (quel que soit l'état de la matière : gaz, liquide, solide).

39 Les phénomènes émergents sont des phénomènes macroscopiques imprévisibles voire inexplicables, qui prennent la forme de régularités statistiques, de structures relationnelles ou même d'entités originales.

l'on va s'attacher à démontrer. La conjecture constitue de fait un des moteurs de l'activité mathématique. Une conjecture peut servir d'hypothèse de travail pour démontrer d'autres conjectures.

- En physique, chimie et en biologie, on émet des hypothèses... mais on utilise fréquemment les mathématiques pour confronter les hypothèses aux résultats de l'expérience.

c- Les méthodes : démonstration et expérimentation

- **En mathématiques** : une conjecture doit être démontrée formellement (démonstration). Seuls les axiomes, qui servent à fonder une théorie, ne sont pas démontrés. Toute démonstration se décrit comme une chaîne d'identités reliant des propositions et suppose une base axiomatique en logique. Cependant, on peut concevoir une expérimentation en mathématique. Ainsi, le quasi-empirisme est une orientation de la philosophie des mathématiques datant de la fin des années soixante et dont plusieurs idées essentielles se trouvent chez Lakatos. Dans ce mouvement, la pratique des mathématiques est au cœur de la réflexion, mais des idées essentielles sont également empruntées aux sciences empiriques : expérience mathématique, fait mathématique, reconnaissance du rôle fondamental de l'induction, contestation du caractère a priori de la vérité mathématique, faillibilisme, exploration et investigation heuristique systématisées, importance du succès des théories comme critère de leur vérité ou de leur consistance, etc. Pour Putman (1975), bien que les mathématiques soient davantage "a priori" que la physique, il existe en mathématique des tests quasi-empiriques et les révolutions conceptuelles qui en résultent conduisent à des changements de paradigme. Avec l'accroissement de la puissance de calcul des ordinateurs, nous assistons à un regain de l'expérimentation en mathématique, l'ordinateur jouant le rôle d'outil de laboratoire, outil de découverte et de création, de vérification et parfois de démonstration. Cependant, certains mathématiciens refusent les démonstrations achevées par ordinateur (théorème des quatre couleurs par exemple).

- **En physique, chimie et biologie** on réalise des expérimentations ; terme qui aujourd'hui revêt toujours le caractère usuel mais qui se trouve également de plus en plus souvent rattaché à la simulation numérique (on utilise le terme d'expérience numérique). Le développement technologique permet l'avancement de ces sciences et réciproquement. Ainsi s'ouvrent de nouveaux champs de recherche.

- Un cas particulier est constitué par la **chimie de synthèse**. En effet, celle-ci n'a pas vocation à étudier les propriétés des objets qu'elle étudie, mais uniquement à en créer de nouveaux. Le chimiste de synthèse est un créateur d'objets (molécules ou assemblage moléculaire). Il s'appuie, bien évidemment, sur des lois de comportement vérifiables (réfutables). Mais ces lois (ou modèles phénoménologiques) sont peu nombreuses et leur utilisation renvoie plutôt à des tendances plutôt qu'à des prévisions exactes. Cela découle essentiellement d'une part de l'aspect réductionniste des modèles et, d'autre part, des approximations mathématiques utilisées dans le but d'aboutir à des lois facilement calculables. Il n'y a pas, non plus, toujours de solution unique et exacte au problème posé. Le chimiste de synthèse doit donc avoir recours à un savoir-faire empirique qui repose sur une accumulation assez considérable de connaissances acquises, soit par les autres au fil des années, soit par sa propre expérience –souvent par une approche "essai/erreur"-. On pourrait presque dire que la synthèse en chimie est tout autant une science qu'un art.

d- Les lois

- **En mathématiques**, les lois sont les théorèmes (dont la vérité est établie rigoureusement suivant les canons en vigueur) plus que les axiomes. En effet, la donnée des axiomes suppose des critères (choix, évidence, constructibilité) et engage des attitudes épistémologiques par rapport aux démonstrations qui vont s'ensuivre. Par exemple, les intuitionnistes qui n'admettent pas le principe du tiers exclu (P ou non P est vrai) refusent toute démonstration d'existence n'aboutissant pas à la production de l'entité en question.

- **En physique**, en principe, aucune loi ne contredit une autre loi et les lois sont considérées comme stables dans l'espace et le temps ; c'est ce gage d'universalité qui confère à la science une bonne part de son statut. Les lois peuvent se ramener à une succession de lois simples même si l'univers est complexe. Par ailleurs, les lois physiques sont traduisibles en formulations mathématiques et ceci induit un lien fort entre physique et mathématique.

- **En biologie**, on n'énonce plus beaucoup de lois, la plupart de celles ayant été émises n'ayant pas résisté au critère de réfutabilité de Popper. Toutefois, certains modèles théoriques qui n'ont pas été réfutés sont considérés comme des lois implicites qui sont alors formulées en langage courant.

e- Les théories et les modèles théoriques

Ce que l'on appelle un fait est déjà un modèle théorique d'interprétation qu'il faudra d'ailleurs parfois établir ou prouver. La preuve consiste en une relecture du monde utilisant le modèle qu'on a posé. "Prouver" consiste donc à montrer l'intérêt du modèle théorique en question. Un tel intérêt correspond à la façon dont cette manière de représenter le monde peut être féconde par rapport à nos projets. C'est ce qui conduit Fourez (2002) à appeler ces modèles des "technologies intellectuelles": il n'y a pas de modèle meilleur qu'un autre (ni plus vrai), il y a des modèles plus ou moins adaptés à un projet particulier et selon les contraintes liées au contexte (d'un point de vue matériel, social, financier, institutionnel, éthique,...). Les modèles ne seraient donc pas une représentation du monde mais une représentation de notre champ d'action possible dans le monde. On peut comparer un modèle avec une carte géographique: il ne s'agit pas d'une représentation dont la propriété est qu'elle soit vraie, mais qu'elle dépende d'un projet ; elle devient objective lorsque l'on sait s'en servir, que l'on connaît les symboles, etc. : lorsqu'elle a prouvé son efficacité. La preuve d'un modèle ne concerne pas sa véracité ou sa représentation exacte du monde réel, mais son utilité, son efficacité, en termes de cohérence et de prédiction. Lorsqu'il s'agit de sciences expérimentales, ce modèle doit permettre de poser certaines questions et d'y répondre par l'expérience: il a une efficacité pratique.

- **Les théories mathématiques** contemporaines portent l'empreinte du courant formaliste et structuraliste incarné en France par **Bourbaki** (pseudonyme d'un groupe de mathématiciens formé dans les années 1930-60) qui s'est traduit jusque dans les programmes d'enseignement (maths modernes). Les structures abstraites, que l'on peut concevoir comme des modèles internes aux mathématiques, permettent de rapprocher des domaines de celles-ci auparavant séparés et se montrent d'une très grande fécondité. 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.

- **En physique**, à partir d'une observation et de la formulation d'un problème, 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). Ce processus constitue le cœur de la démarche du physicien. L'analyse d'un résultat d'expérience nécessite toujours plus ou moins explicitement une réflexion ou un diagnostic sur l'incertitude de mesure (de plus en plus en terme probabiliste ou statistique) ou une limite de validité. La physique fournit ainsi des modèles et théories de la réalité ; elle en donne une représentation. A la notion de modèle est souvent associé un caractère explicatif réducteur, c'est à dire qu'on l'accepte comme description partielle d'un phénomène; on rencontre des modèles dits phénoménologiques, terme qui en traduit un caractère incomplet. Plusieurs modèles peuvent coexister, chacun ayant sa zone de validité et ses avantages spécifiques. Par exemple le modèle de Bohr, comme première approche de description de l'atome et malgré ses limites, peut présenter un intérêt pédagogique s'il est assorti de précautions de présentation. Les principes d'économie et de fécondité sont mis en jeu pour éventuellement choisir entre plusieurs modèles et théories.

- **En chimie** aussi, les développements récents de l'outil informatique et de nouveaux modèles (ex: théorie fonctionnelle de la densité) permettent de construire des modèles mathématiques fondés sur des lois physiques à partir desquels, le chercheur peut d'une part construire des molécules (ou des édifices moléculaires) et, d'autre part analyser leurs caractéristiques. Il faut cependant rappeler que, dans ce cas, les modèles ne peuvent toujours pas rendre compte de toute la complexité de la "réalité" expérimentale.

- **En biologie**, on trouve d'une part des "modèles de travail", ils sont considérés comme des hypothèses et leur rôle est de constituer un outil de confrontation à l'expérimentation. Ils sont utilisés pour relire le monde à l'aide de la grille interprétative qu'ils fournissent. Cette relecture permet de les "vérifier" ou de les infirmer et donc, respectivement, d'y accorder plus de confiance ou de modifier la représentation des relations entre les éléments en leur sein. Par ailleurs d'autres modèles, au préalable modèles "de travail" sont passés dans le savoir; ils sont appelés "lois" ou "connaissances", car ils font déjà l'objet d'un consensus et d'une standardisation au sein de la communauté disciplinaire. Ils servent de référence, d'outils de base à la construction d'autres modèles de travail (notamment en donnant leur sens aux éléments et en cadrant le type de relations possibles ou interdites).

f- Le cas particulier des mathématiques

De nombreux auteurs ont souligné l'extraordinaire efficacité des mathématiques en sciences physiques/chimiques. Comment expliquer cette efficacité ?⁴⁰ Et tout d'abord qu'entend-on par efficacité ? Quatre paramètres peuvent décrire l'efficacité d'une science : sa capacité descriptive, sa valeur prédictive, sa puissance explicative et son potentiel heuristique. On s'aperçoit maintenant que les mathématiques jouent un rôle de plus en plus important dans de nombreux autres domaines que la physique, en particulier en biologie.

Une raison à cela serait due au langage mathématique qui permet aussi de faire des liens entre des phénomènes apparemment sans relation. Les mathématiques permettent aussi de définir des concepts que le langage ordinaire ne permet pas, elles favorisent donc un couplage entre pensée, action, réel et langage.

g- La science par l'histoire

Tous les procédés évoqués plus haut sont puissants, mais ne permettent pas d'appréhender tous les aspects de la nature (ce paragraphe est écrit d'après Gould, 1989). Dans de nombreux domaines (par

40 Conférence de Dominique Lambert, IREM, 5 décembre 2007.

exemple, cosmologie, géologie et évolution) les phénomènes naturels ne peuvent être élucidés qu'avec les outils de l'histoire et les méthodes appropriées relèvent alors de la narration et non pas de l'expérimentation. Pour comprendre l'histoire, il est nécessaire de reconstruire les événements du passé eux-mêmes, dans leurs propres termes, c'est-à-dire en relatant les phénomènes uniques en leur genre qui les ont constitués. Les explications historiques diffèrent des résultats expérimentaux de nombreuses façons.

- On ne peut pas faire de vérification par répétition puisqu'il s'agit de rendre compte du caractère unique de certains facteurs concourant à un événement.

- On ne peut pas tenter de ramener les événements complexes d'un récit à la simple mise en œuvre de lois de la nature. En effet, bien que les événements historiques ne violent aucun des principes fondamentaux régissant la matière et le mouvement, leur production relève du domaine de la contingence.

- La question de la prédiction, si importante dans la manière classique de présenter la science, ne peut pas être prise en considération dans le cadre des récits historiques. On peut expliquer un événement après qu'il s'est produit, mais étant donné le rôle de la contingence, il est impossible qu'il se répète, même en reprenant le même point de départ.

La science recherchant des explications historiques recourt à un mode différent d'explication, fondé sur la comparaison et l'observation de données abondantes.

2- Démarche scientifique des scientifiques et démarche scientifique en classe

En ce qui concerne la "démarche scientifique" des scientifiques, nous pouvons donner une réponse à la première question posée en introduction : il n'y a pas de démarche scientifique "statufiée" mais des procédures multiples qui ne sont considérées comme scientifiques que lorsqu'elles ont été validées suivant les différents critères que nous avons décrits. La démarche scientifique est avant tout une production sociale et elle n'est considérée comme telle que parce que l'ensemble des personnes jugées compétentes, dans une société et dans un temps donnés, l'a avalisée. En ce sens, elle est commune à toutes les sciences qui utilisent ensuite des objets, méthodes, concepts et théories différentes. Il faudra comprendre que chaque discipline apporte un type d'explication et il sera important de définir pour chaque science son domaine de validité (Morange, 2005). Ces explications pourront aussi utiliser l'histoire des événements (Gould, 1989).

Cette "démarche scientifique" pratiquée par les chercheurs ne peut pas être enseignée comme une technique et les textes officiels demandent maintenant que les enseignants mettent en œuvre une "démarche d'investigation". Cette démarche d'investigation s'appuie sur le questionnement des élèves sur le monde réel et sur la résolution de problèmes. Les investigations avec l'aide du professeur, l'élaboration de réponses et la recherche d'explications ou de justifications débouchent sur l'acquisition de connaissances, de compétences méthodologiques et sur la mise au point de savoir-faire techniques. On constatera l'aspect réducteur de la démarche d'investigation par rapport à la démarche scientifique.

Pouvons-nous alors répondre aux deux questions suivantes ?

a) Pourquoi l'apprentissage de la "démarche scientifique" sous la forme de "démarche d'investigation" fait-il partie des programmes scolaires actuels ?

Comme nous l'avons vu avec D. Pestre (2006), la science est maintenant abordée non plus comme un savoir, mais comme une institution. Elle est "considérée comme un ensemble de pratiques et de faire, au laboratoire ou sur le terrain, et plus seulement comme un ensemble conceptuel" (*ibid.*). Dans cet ordre d'idées, on considérera l'apprentissage commun aux disciplines scientifiques comme un apprentissage technique⁴¹ dans une démarche hypothético-déductive. G. Bateson (1977), qui a hiérarchisé les apprentissages scientifiques dans des niveaux de complexité croissante, l'appelle le niveau I : capacité d'appliquer des concepts, des règles, des procédures dans le même domaine où ils ont été appris.

Cependant, cet apprentissage de "démarche d'investigation" ne permet pas de repérer la pensée d'autrui⁴², de surmonter les "ruptures épistémologiques", de donner la capacité d'affronter les révolutions scientifiques, ni celle d'ouvrir son référentiel individuel à la critique (Favre, 2007). D. Favre souligne que la spécificité de l'apprentissage scientifique réside dans le fait qu'il ne se situe pas au même niveau que la majorité des apprentissages fondamentaux. Cet apprentissage devrait en effet nous fournir un outil nous permettant d'être informé sur nos productions mentales et nous

41 Nous donnerons comme exemple l'évaluation de l'épreuve de travaux pratiques du baccalauréat en Sciences de la Vie et de la Terre (exemple : recherche d'une éventuelle liaison entre gènes chez la drosophile). Capacités testées : - comprendre la manipulation ; - utiliser la loupe binoculaire (ou dans des exemples autres : base de donnée ou logiciel de modélisation) ; - traduire une observation par un schéma ; - présenter des données sous forme d'un tableau ; - appliquer une démarche explicative ; - gérer et organiser le poste de travail.

42 Dans notre exemple, on demande "Justifier votre réponse et discuter la valeur de vos seuls résultats".

donner ainsi une autonomie intellectuelle, c'est-à-dire, la "capacité à pouvoir modifier ses représentations mentales lorsque celles-ci sont infirmées par des contre évidences" (Favre, 2007).

b) Est-il justifié de considérer l'acquisition de la "démarche d'investigation" comme l'acquisition d'une compétence ?

Comme nous venons de le voir l'acquisition de la démarche d'investigation est une acquisition technique, c'est une compétence, mais elle réduit la perception de la science à un simple "faire de la science". Au contraire, nous pensons qu'il faut élargir la conception de la science et ne pas la baser sur la "méthode" ou "démarche d'investigation" uniquement. J'évoquerai ici trois situations qui me paraissent devoir être abordées avec une démarche scientifique telle que nous l'avons décrite.

b1- L'interdisciplinarité

L'établissement d'un socle commun de connaissances et de compétences est une disposition majeure de la loi d'orientation et de programme pour l'avenir de l'École du 23 avril 2005. Ce socle commun est défini en liant à la fois aux enjeux de la scolarité obligatoire, aux impératifs de formation tout au long de la vie, à la construction de la personnalité et à la vie en société. Un des sept piliers de ce socle concerne les principaux éléments de mathématiques et la culture scientifique et technologique. On constate, de nos jours, que les métiers en évolution ne relèvent plus d'une approche disciplinaire unique mais sont par nature transdisciplinaires. Pour envisager l'apprentissage des éléments scientifiques dans une exigence de perspective de formation tout au long de la vie, il est alors nécessaire de mettre en place des approches spécifiques, et l'une d'entre-elles pourrait être la compréhension de ce que sont la science et la démarche scientifique dans une perspective interdisciplinaire⁴³.

Dans ce cadre, la formation tout au long de la vie pourrait devenir son propre paradigme, avec un échange réciproque permanent entre connaissance et formation. Comprendre la démarche scientifique en général et les particularités des différentes sciences pourrait permettre d'articuler, c'est-à-dire de faire coexister, les thèmes explicatifs différents en douceur. Ainsi l'utilisation des différents types d'explication d'un phénomène en serait facilitée: "il ne s'agit pas d'unifier les explications scientifiques mais la recherche d'une articulation est toujours un processus difficile, perpétuellement menacé par la volonté hégémonique de chaque principe d'intelligibilité et de ceux qui les portent" (Morange, 2005). Comprendre la démarche scientifique peut donc contribuer à nous faire accepter la coexistence de schèmes explicatifs de nature différente.

b2- Les pseudosciences

La société actuelle est largement tributaire des sciences et des technologies. Cependant, il semble bien que si l'on profite au quotidien des retombées de l'activité scientifique, peu de gens comprennent encore les exigences liées aux conditions de l'esprit scientifique et l'essor des pseudosciences constitue un fait social avéré (Larivée, 2006).

Pour parvenir à leurs fins les "pseudo-scientifiques", répertorient dans leur système de croyances tantôt certains concepts des sciences dures, tantôt une part du vocabulaire scientifique, ou encore

43 "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).

des aspects technologiques dérivés de la science dans des systèmes de validation non scientifiques (voir annexe 1). Il ne paraît donc pas raisonnable de distinguer les sciences des pseudosciences sur la base des méthodes seules. Au contraire, "faire valoir la valeur de la méthode scientifique, ce sera aussi développer chez les enfants et les adolescents la capacité de supporter l'incertitude, de renoncer aux absolus, d'acquérir un solide sens critique et une grande humilité compte tenu de la disproportion du connu comparativement à ce reste à découvrir" (Larivée, 2006). On notera cependant que le critère de réfutabilité de Popper est un excellent outil pour tester les théories pseudo-scientifiques car celles-ci ne possèdent d'autres limites que l'imagination de leurs auteurs.

b3- Le débat citoyen

La notion de citoyen scientifique (Irwin, 2001) renvoie à la conscience des interactions entre science et société. Cette notion implique que, non seulement le savoir scientifique est important pour la société dans nos sociétés contemporaines, mais aussi que les citoyens peuvent avoir des demandes légitimes sur la recherche scientifique – comme le prônait Feyerabend. Cette notion peut donc être perçue comme un idéal normatif concernant une forme appropriée de gouvernance démocratique dans une société de plus en plus dépendante du savoir scientifique. Cette tendance de la médiation scientifique et technique accompagne le développement de procédures participatives visant à associer les citoyens aux choix scientifiques et techniques. Ces procédures ont été initiées dans les années 1980 au Danemark sous la forme de conférences de consensus⁴⁴ puis se sont diversifiées, avec des adaptations propres à chaque pays. Une telle forme de gouvernance devrait donc s'appuyer sur un "citoyen scientifique" capable de participer à des débats (bioéthique, OGM, etc.), et dont le rôle soit légitime. En termes de formation, il s'agit selon les initiateurs anglo-saxons du courant de la didactique des questions socioscientifiques, d' "aider les étudiants à développer les compétences nécessaires pour participer aux débats en argumentant autour d'opinions informées" (Saler & al., 2004).

La construction du "citoyen scientifique" implique de lui donner une formation lui permettant d'appréhender les multiples facettes, scientifiques mais aussi sociales et économiques, des questions qui se posent aux sociétés d'aujourd'hui. La compétence que l'on vise à long terme en invitant les élèves, citoyens en formation, à réfléchir et à débattre sur les théorie mêmes et pas seulement sur leurs applications, est de les entraîner suffisamment à proposer et à critiquer plusieurs sortes de raisonnements scientifiques, afin que par la suite non seulement ils gardent cette habitude hors de l'école, mais qu'en plus ils l'enrichissent et l'affinent de leurs expériences de vie (Legrand, 2006). C'est dans cette mesure que la formation des jeunes citoyens à comprendre ce qu'est la "démarche scientifique" prend alors tout son intérêt.

44 Une « conférence de consensus » est une méthode standardisée de conduite scientifique d'un processus de réflexion collective pour débattre de questions controversées et aboutir à des recommandations publiques.

3- Bibliographie

- Bateson G. (1977) Vers une écologie de l'esprit. Le Seuil, Paris.
- De Pracontal Michel (2005) L'imposture scientifique en 10 leçons, Points Sciences.
- Favre D. (2007) Transformer la violence des élèves : Cerveau, motivations et apprentissage, Dunod, Paris.
- Fourez G. (2002) La construction des sciences. Les logiques des inventions scientifiques. Editions De Boeck Université (Coll. Sciences éthiques sociétés).
- Fourez G., Maingain A., Dufour, B. (2002) Approches didactiques de l'interdisciplinarité. Perspectives en Education. De Boeck.
- Gould S.J. (1989) La vie est belle. Seuil, Points-Sciences.
- Irwin A. (2001) Constructing the scientific citizen: science and democracy in the biosciences, Public Understanding of Science, vol.10, n°1.
- Larivée S. (2006) Science contre pseudosciences : un combat inégal, http://www.sceptiques.qc.ca/assets/docs/larivee_science.pdf
- Legrand M. (2006) Le principe du "débat scientifique" dans nos classes et nos amphis, pourquoi et comment ? Etat de nos recherches, http://www-irem.ujf-grenoble.fr/new2006/Debat_scientifique/debat_s_principes.pdf
- Lemieux C. (2007) À quoi sert l'analyse des controverses ? . *Mil neuf cent. Revue d'histoire intellectuelle* 1/2007 (n° 25), p.191-212.
- Morange M. (2005) Les secrets du vivant, Contre la pensée unique en biologie. Ed. La Découverte, coll. "Sciences et Société".
- Pestre D. (2005) La recherche publique, l'innovation et le social, *Projet* 2/2005 (n° 285), p.51-57.
- Pestre, D. (2006) Introduction aux Sciences Studies. Ed. La Découverte, Paris.
- Popper K. (1994) Conjectures et réfutations. La croissance du savoir scientifique, 1994, Ed. Payot, Coll. Bibliothèque scientifique.
- Putman H. (1975) What is mathematical truth ? in Putnam H. : Mathematics, Matter and Method. Philosophical papers. vol. 1.. Cambridge University Press. pp. 60-78 (se trouve en français sur le Web).
- Romainville M. (2006) Les compétences en Belgique. Les cahiers pédagogiques n°439, janvier.
- Sadler T.D., Chambers F.W. et Zeidler D.L. (2004) Student conceptualisations of the nature of science in response to a socioscientific issue, *International Journal of Science Education*, n° 26, p.387-409.

Annexe 1 - Quelques procédés de validation non scientifiques

D'après Larivée, 2006.

A. Par rapport aux théories

- a) Le recours à des théories invalidées ou non encore validées.
- b) On ne révisé pas la théorie et pour cause, elle est invérifiable.

B. Par rapport aux faits

- c) Le recours aux mystères (anomalies).
- d) Le mythe pour preuve.
- e) Vive les bonnes histoires, les anecdotes et les témoignages!
- f) L'analogie pour preuve.
- g) Les affirmations priment sur les démonstrations.
- h) L'effet Barnum.
- i) Les contradictions ne changent rien à la croyance.
- j) L'absence de faits confirme aussi la croyance.
- k) L'absence de reproduction des résultats.

C. Par rapport au fonctionnement de la science

- l) Le recours à Galilée.
- m) Le messager est plus important que le message.
- n) Le rejet du fardeau de la preuve.
- o) La science n'explique pas tout.
- p) La confusion entre coïncidence, corrélation et causalité.
- q) La doctrine des vérités multiples, la version ésotérique du relativisme cognitif.
- r) Le critère de réfutabilité, ce mal aimé !

6. Des ressources pour pratiquer l'épistémologie

De l'importance d'une réflexion épistémologique dans l'univers de l'enseignement scientifique

Pourquoi s'intéresser à l'épistémologie dans le cadre de l'enseignement des sciences ?

Du côté de l'« apprentissage », c'est tout d'abord tenter d'apporter une réponse à un triste constat qui se confirme d'année en année et qui se révèle en partie responsable de la désaffection actuelle des lycées pour les filières scientifiques : celui du *déficit de sens* qu'éprouvent les élèves face à certains apprentissages scientifiques.

De nombreux auteurs se sont efforcés d'apporter un éclairage à cette question. Les facteurs les plus communément invoqués sont essentiellement ceux d'ordre psychologique (liés par exemple à la motivation), sociologique (références culturelles, codes culturels, « habitus » différents d'un groupe social à l'autre), ou encore pédagogique (méthodes d'enseignement utilisées).

Cependant, au-delà (ou en-deçà) de telles raisons, incontestablement légitimes, se trouve une autre question, à notre sens tout aussi fondamentale : celle de *l'image* que les élèves ont *de l'activité scientifique*. Quelles valeurs ont les cours de sciences pour eux ?

Dans une enquête réalisée dans une école de l'enseignement secondaire de la banlieue parisienne, B. Charlot & al. (1992, p. 100) constatent que pour une partie des élèves : « Apprendre (...), ce n'est pas acquérir des savoirs présentant en eux-mêmes un intérêt propre, une valeur, du sens. Le savoir n'est pour ces élèves ni objectivé ni systématisé en univers intellectuel. Apprendre, c'est satisfaire aux exigences de l'école pour accéder à la classe supérieure, à l'Université, au diplôme, au bon métier, etc. Apprendre, c'est faire des maths., faire du français, faire de l'histoire-géo, les disciplines scolaires n'étant pas alors perçues comme des ensembles cohérents de savoir, mais comme des formes institutionnelles de découpage du temps scolaire. Le savoir est alors perçu comme non opérationnel et les différentes matières enseignées sont perçues comme une réalité éthérée ne permettant que la constitution d'un programme d'étude. Comment s'étonner dès lors que ce que l'on a « appris » en mathématiques ne soit pas transféré en physique (...) ? »

De par son souci de présenter le savoir sous une forme plus accessible, l'école tend en effet à décomposer ce savoir en plus petites unités avec comme volonté d'assurer une certaine progressivité des apprentissages.

Or si présenter les savoirs sous cette forme peut favoriser l'apprentissage dans certains cas, ceci risque malheureusement d'induire le problème suivant : le sens de l'apprentissage n'est censé, dans nombre de situations, n'apparaître qu'ailleurs ou plus tard (« tu comprendras plus tard pourquoi ce que nous voyons maintenant est important, intéressant ou utile... »).

Cette « *atomisation scientifique* », qui peut paraître davantage évidente lorsqu'il s'agit du découpage des différentes matières à enseigner (mathématique, physique, biologie,...), n'en est pas moins présente au niveau interne de chaque discipline (algèbre, géométrie, etc. pour les mathématiques) ; chaque branche de ladite discipline étant alors bien souvent perçue par les élèves comme *déconnectée* des autres. En ce qui concerne les mathématiques, combien d'enseignants n'ont-ils pas notamment éprouvé une profonde déception en constatant que leurs élèves semblaient ne pas mieux comprendre le théorème de Pythagore, initialement introduit sous un énoncé algébrique, après qu'ils leur aient montré et démontré son équivalent géométrique ? Cette

articulation entre les différents cadres (cf. Régine Douady), si difficilement assimilée par les élèves, est pourtant centrale en mathématiques ; l'examen historique de la genèse et de l'évolution des concepts mathématiques est sur ce point tout à fait éclairant.

A cette impression que les élèves ont de l'atomisation des sciences se rajoute l'image qu'ils se font d'une science *décontextualisée, socialement et temporellement*.

En effet, de manière explicite ou implicite, lorsqu'il enseigne, le professeur véhicule une image de la création des savoirs. Cependant, cette image ne « colle » pas nécessairement aux démarches qui furent réellement celles utilisées par les chercheurs. Des contraintes pèsent en effet sur le discours de l'enseignant : contraintes d'abord liées aux exigences d'un discours structuré et contraintes liées à un processus de mise en forme et de standardisation des démarches (transposition didactique).

Selon une enquête de Ph. Mathy (1997, p. 7) : « La majorité des professeurs de sciences continuent à entretenir, à propos de l'invention et de la pratique scientifiques, des conceptions épistémologiques empiristes (les faits suggèrent d'eux-mêmes leur signification), inductivistes (les théories ne sont que le résultat de l'accumulation de faits évidents), internalistes (les scientifiques découvrent et travaillent en marge d'influences sociétales plus larges)... Cela ne permet guère aux élèves de comprendre les projets des chercheurs et des praticiens des sciences, la manière dont ceux-ci construisent et utilisent leurs modèles, le statut de ces modèles dans des controverses et des débats socio-scientifiques, et l'influence des contextes sociaux, économiques et culturels sur la construction et le fonctionnement des sciences ».⁴⁵

Or, donner aux élèves une vision plus « socio-constructiviste » du développement de l'activité scientifique, en insistant sur la dimension historique (en situant dans leur contexte les questions que se posaient autrefois les chercheurs et qui peuvent parfois aujourd'hui nous paraître absurdes) et en mettant en avant les considérations épistémologiques et philosophiques sous-jacentes à certaines notions (le statut des modèles et le rôle de l'erreur, etc...), devrait en toute vraisemblance aider à donner plus de sens aux disciplines scientifiques, ou en tout cas à les rendre plus « humaines ».

En somme, une réflexion épistémologique des concepts scientifiques s'avère un moyen pertinent pour permettre aux enseignants une prise de recul par rapport à un objet d'étude duquel ils sont souvent trop proches et lequel se présente - par l'effet de transposition didactique (Chevallard et Joshua, 1985) - bien souvent sous des perspectives « institutionnellement privilégiées ».

Cette réflexion permet de fait la mise en évidence de multiples facettes des concepts et des théories, de leurs avatars et de leurs mutations. Elle met en lumière l'ancrage des objets scientifiques dans des problématiques déterminées, ses liens avec d'autres disciplines, l'évolution de la rigueur, des idéologies, des formes du discours, des méthodes. Elle aide ainsi à comprendre les obstacles rencontrés dans la maîtrise de ces concepts et à mettre en évidence des passages obligés, incontournables dans l'apprentissage de telle ou telle théorie (Bachelard, 1938).

Dans ce type d'enseignement, faire "des sciences" prend une valeur qui a un sens auprès des élèves, celle qui leur donne la possibilité de décoder le monde et d'essayer de le comprendre. Une telle approche leur ouvre aussi des perspectives sur la question de la responsabilité : celle des scientifiques qui n'ont pas le droit d'ignorer les utilisations faites de leurs découvertes, celle aussi des citoyens, notamment dans les choix de société qu'ils contribuent à promouvoir à travers les mandats qu'ils confient à leurs élus.

⁴⁵ Lorsqu'il s'agit de donner du sens aux savoirs scientifiques, de les contextualiser en abordant explicitement des questions socioscientifiques dans l'enseignement, les anglo-saxons parlent ainsi de « context knowledge » (Sadler et al., 2004).

Travail entrepris par l'équipe IREM Enseignement Scientifique

L'équipe IREM a entrepris un travail d'ingénierie épistémopédagogico-didactique afin de produire des ressources sur les démarches d'investigation en relation avec chaque discipline. L'accent est mis sur l'histoire des sciences de la discipline avec un questionnement épistémologique (sans pour autant donner un cours théorique d'épistémologie), ce qui conduit à une appréciation générale des points communs entre les démarches scientifiques disciplinaires. Les ressources produites ont été documentées sur le format du SfoDEM⁴⁶ afin d'en favoriser la mutualisation. Le contenu épistémologique a été détaillé dans la fiche professeur de la ressource en présentant un scénario adapté afin que l'activité soit menée dans l'esprit d'une épistémologie moderne de type socio-constructiviste (Fourez 2001) et que le professeur puisse, autant que faire se peut, tenir un discours sur la pratique de la science sans introduire de notions théoriques difficiles d'accès ou sur lesquelles il n'est pas formé (faire de l'épistémologie comme M. Jourdain fait des vers...). Le but est justement de sortir des travers identifiés par Ph. Mathy (1997 p. 51) dans les manuels scolaires actuels. Cela répond à la définition de la culture scientifique telle qu'elle est donnée dans le rapport PISA 2006 et contribue à une véritable « alphabétisation scientifique » au sens de Fourez (1994).

Le point de départ de la conception de ces ressources est une réflexion théorique sur les démarches en sciences afin d'en identifier les invariants et les spécificités disciplinaires. Cette réflexion épistémologique théorique et notamment d'épistémologie comparative laisse place à un travail de transposition didactique sur la mise en œuvre pratique en classe des concepts dégagés, c'est-à-dire sur la manière de dispenser un enseignement réflexif des démarches d'investigation en cours de science.

- Une ressource mathématique intitulée « la démonstration » questionne la nécessité, la nature et les conditions d'émergence dans l'histoire de la forme particulière de preuve que constitue la démonstration mathématique. A travers des documents historiques (tablettes, papyrus) qu'il s'agit de s'approprier (décoder et traduire dans le formalisme contemporain dont on perçoit de fait toute la puissance), on étudie le passage du « montrer » au « démontrer » en comparant les mathématiques babyloniennes et égyptiennes avec les mathématiques grecques (notamment la démonstration par Euclide de l'irrationalité de la racine carrée de deux). Remonter la « chaîne des raisons » conduit à la notion d'axiome ; le questionnement des axiomes de la géométrie peut se prolonger jusqu'à l'émergence des géométries non euclidiennes. Cette activité éclaire donc sur la démarche du mathématicien et le développement de l'argumentation à l'heure où certains élèves, dans le cadre de l'enseignement de la géométrie par exemple, en perdent de vue les tenants et les aboutissants. On comprend mieux l'exigence de rigueur (un dessin, est-ce une preuve valable ?) et le recours à la logique pour fonder la validité du discours rationnel. C'est donc également un entraînement à la logique et aux formes de raisonnement mathématique « sans faire l'objet d'un cours spécifique » comme le stipule le nouveau programme de seconde qui sera mis en place à la rentrée 2009-10. L'activité s'inscrit dans l'esprit de ce programme qui précise bien que « l'acquisition de techniques, certes indispensable, n'est pas un objectif en soi, mais est au service de la *pratique du raisonnement* qui doit être *la base de l'activité mathématique*. En effet, il faut que chaque élève, quels que soient ses projets, puisse faire l'expérience personnelle de l'efficacité des concepts mathématiques et de la simplification que permet la maîtrise de l'abstraction ». L'objectif de ce programme est de « former les élèves à la *démarche scientifique* sous toutes ses formes ».
- Une ressource de sciences physiques sur « les mirages optiques » vise à travailler les notions d'observation scientifique, de loi physique et de modèle. Il s'agit de mettre les élèves en

⁴⁶ <http://eductice.inrp.fr/EducTice/all-parutions/conception-collaborative-de-ressources-pour-lenseignement-des-mathematiques-lexperience-du-sfodem>

situation de questionnement sur des points qui ne sont habituellement pas discutés : nos représentations spontanées sont-elles dégagées de toute influence ? Quelle est l'intention cachée derrière une proposition de représentation ? Comment juger de la valeur d'une observation ? Un phénomène comme les mirages est-il réductible à son aspect physique ? Puis on amène les élèves à proposer et à critiquer un schéma explicatif du phénomène des mirages en s'appuyant sur les textes originaux de Descartes et de Monge.

- Une ressource de biologie intitulée « Pasteur » vise une prise de conscience sur le fonctionnement du monde scientifique, la construction des savoirs et l'évolution de ces derniers au cours du temps à travers une approche historique de la fermentation. On identifie dans un premier temps quelques savants et institutions, ainsi que les théories et idées qu'ils défendent, ils sont ensuite resitués dans leur contexte socio-économico-culturel. Cela permet de constater les divergences possibles de la communauté scientifique face à un problème de sorte que parfois deux ou plusieurs théories s'affrontent. L'élève appréhende également la démarche d'investigation à travers des écrits historiques : constat, problème, hypothèse, expériences pour tester l'hypothèse, conclusion, avant de mener ses propres démarches et de débattre au sein de la communauté-classe. Parallèlement, un petit questionnaire permet à l'élève d'identifier sa propre conception de la science et de voir si elle est amenée à évoluer à l'issue de l'activité.

Les ressources produites sont disponibles à l'adresse <http://www.irem.univ-montp2.fr/Ressources-pour-pratiquer-1> Elles figurent également en annexe.

Le tableau ci-dessous résume les notions épistémologiques de référence et les compétences épistémologiques travaillées au sein des trois ressources disciplinaires produites. Plus généralement, il serait souhaitable de définir un « socle épistémologique », en s'inspirant des compétences définies par Fourez et al. (1997), puis d'élaborer des ressources permettant de travailler ces compétences en classe, démarche déjà entreprise en Belgique, pour la biologie et l'histoire notamment (Verhaegue et al. 2004).

	Ressource Math La démonstration	Ressource SPC les Mirages	Ressource SVT Pasteur
Notions épistémologiques de référence	- argumentation, raisonnement, preuve - démonstration mathématique - induction, déduction - vérité d'une assertion mathématique, validité d'une argumentation - idéalité des objets mathématiques - rigueur en mathématique - structure axiomatique des théories mathématiques	- construction des savoirs historiquement située - représentation - observation - modèle	- Hypothèses théoriques - Observation scientifique - Imagination - Preuve scientifique - Outils technologiques et transdisciplinarité (chimie, biologie)
Compétences épistémologiques	- savoir repérer et caractériser une démonstration	- contextualiser la construction d'un savoir sur le plan historique.	- avoir une approche historique de deux découvertes majeures :

	<p>mathématique</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 mathématique - savoir que la vérité en mathématique est fondée sur la logique et le raisonnement déductif - avoir conscience de la structure axiomatique d'une théorie mathématique 	<ul style="list-style-type: none"> - 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. 	<p>identifier quelques savants et institutions, théories, idées défendues par ces savants ; les situer dans le temps et dans un contexte socioculturel et économique</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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
Insertion possible au sein des thèmes de la future option MPS	Sciences et vision du monde	Sciences et vision du monde	Sciences et aliment

Références :

Bachelard, G. *La Formation de l'esprit scientifique*. Vrin, 1938.

Chalmers, A. M. *Qu'est-ce que la science ?* La découverte, 1987.

Charlot, B., Bautier, E., Rochex, J.Y. *Ecole et savoir dans les banlieues... et ailleurs*, Armand Colin, 1992.

Chevallard, Y et Joshua, M.A. *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. La Pensée Sauvage, 1985.

De la Cotardière, Ph. Histoire des sciences. Tallandier, 2004.

Fourez G., Englebert-Lecomte, V., Mathy, P. *Nos savoirs sur nos savoirs. Un lexique*

d'épistémologie pour l'enseignement. De Boeck, 1997.

Fourez, G. *La construction des sciences*. De Boeck, 2001.

Fourez, G. *Alphabétisation scientifique et technique , essai sur les finalités de l'enseignement des sciences*. De Boeck, 1994.

Granger, G.-G. *La science et les sciences. Que sais-je ? PUF, 1993*.

Lecourt, D. *La philosophie des sciences. Que sais-je ? PUF, 2001*.

Mathy, Ph. *Donner du sens au cours de sciences. Des outils pour la formation éthique et épistémologique des enseignants*. De Boeck, 1997.

Sadler T. D., Chambers F. W. et Zeidler D. L. (2004), « Student conceptualisations of the nature of science in response to a socioscientific issue », *International Journal of Science Education*, n° 26, p. 387-409.

Verhaegue, J.-C. , Wolfs, J.-L., Simon, X., Compère D. *Pratiquer l'épistémologie*. De Boeck, 2004.

7. Annexes

L'OPTION SCIENCES : UN ATOUT POUR LE DIALOGUE ENTRE LES DISCIPLINES

Maryse NOGUES
et l'Equipe Enseignement Scientifique
Irem de Montpellier

Résumé : Dans le cadre des options sciences des classes de seconde de l'Académie de Montpellier, instaurées de façon expérimentale à la rentrée 2004, se développe un travail interdisciplinaire entre les mathématiques, la physique et les sciences de la vie et de la terre. Une équipe Enseignement Scientifique a été constituée à l'Irem de Montpellier, comprenant des enseignants du lycée de Bagnols sur Cèze et des universitaires. Un des objectifs de cette équipe était d'observer et de collaborer à la mise en application de l'option sciences dans ce lycée. C'est à travers l'étude d'un des cycles proposés par les enseignants du lycée de Bagnols que nous essayerons d'observer des éléments qui permettent le dialogue entre disciplines sur un concept particulier. Ce travail scientifique interdisciplinaire est basé sur trois éléments fondamentaux qui sont : la curiosité, la démarche scientifique et l'expérimentation.

I. — Objectifs et fonctionnement de l'option sciences de Bagnols sur Cèze

I.1. Historique

A la suite du rapport d'étape de la Commission de Réflexion sur l'Enseignement des Mathématiques (CREM) présidée par Jean-Pierre Kahane, l'Inspection Générale de Mathématiques propose en 2002-2003 à quelques établissements de monter des laboratoires de Mathématiques, sur projet. Les enseignants d'un de ces laboratoires (dont Jean-Pierre Richeton ancien président de l'APMEP) ont aussitôt sollicité l'Inspection Générale afin d'obtenir son appui pour la création d'options sciences en seconde.

Après négociations, l'Académie de Montpellier a créé à titre expérimental, pour la ren-

trée 2004, l'option sciences dans neuf établissements. C'est une option de détermination de seconde d'un volume horaire hebdomadaire de trois heures au même titre que les options SES, MPI et autres).

L'objectif principal énoncé par le Rectorat est de donner aux élèves le goût des sciences de manière pluridisciplinaire. L'appel d'offre met l'accent sur la lutte contre la désaffection des filières scientifiques. Ces options doivent donc former à la démarche scientifique en cherchant à développer des qualités telles que l'organisation, l'autonomie, l'initiative et l'imagination tout en présentant les sciences de façon intéressante et motivante. A la rentrée 2005, une trentaine de classes de seconde ont permis aux élèves de l'Académie de suivre cette option expérimentale.

I.2. L'option sciences du Lycée Gérard Philippe de Bagnols sur Cèze

Une équipe d'enseignants de mathématique, de physique et de sciences de la vie et de la terre s'est formée dans cet établissement pour proposer un projet répondant à l'appel d'offre du rectorat. Les constats à l'origine du projet de cette équipe étaient qu'ils observaient dans leur pratique une orientation mal motivée vers les filières scientifiques — le goût pour les sciences, la recherche, le plaisir de comprendre restant des motivations très marginales —, un cloisonnement des enseignements scientifiques et un manque d'autonomie des élèves.

Ce projet s'inscrivait aussi dans la démarche de lutte contre la désaffection des filières scientifiques en recrutant pour cette option des élèves qui a priori n'auraient pas choisi un parcours scientifique (option MPI par exemple) et en essayant de susciter chez eux le goût pour les sciences. Les objectifs principaux de cette équipe étaient :

- travailler sur le concept plutôt que sur le thème ;
- répondre à un certain nombre de questions généralement occultées dans l'enseignement scientifique, telles que :
 - comment savons-nous qu'une chose est vraie ?
 - comment se sont construites les idées scientifiques ?
 - quelle est ma représentation « a priori » de la réalité et comment la science la modifie-t-elle ?
- établir un dialogue entre les disciplines ;
- introduire les règles du débat scientifique ;
- favoriser le travail en autonomie, le travail en groupe, les activités de recherche sur des supports divers.

Le projet s'est articulé autour d'une méthode de travail organisée en cycles. Chaque cycle est choisi en fonction de son intérêt interdisciplinaire ; pour être éligible, le sujet doit être déclinable dans les trois disciplines. Pour chaque cycle, un travail initial de préparation des enseignants est suivi de la réalisation concrète dans les classes et permet une production.

- Point de départ : une proposition de travaux pratiques, d'activité, de module ..., dont le scénario est rédigé par l'un des trois professeurs (à chaque cycle de travail le scénario de départ est dans la problématique d'une des trois matières, une différente à chaque fois). Les deux autres professeurs préparent ensuite un prolongement, une contradiction, une application, une généralisation (tout ou presque est possible) sur le concept choisi par le premier enseignant mais avec la méthodologie de sa matière (première instauration du dialogue entre les disciplines).
- Déroulement : les élèves travaillent par groupe de 3 à 6. Dès le début de l'activité, lors de sa présentation chaque groupe produit un *commentaire a priori* qu'il présente aux autres groupes. Les activités proposées par les enseignants sont ensuite réalisées, pendant des séquences disciplinaires (trois séquences en général par discipline).
- Production finale : la dernière période du cycle est consacrée à la production d'un mémoire composé des commentaires a priori et à posteriori (découvertes retenues) des groupes. Ce mémoire comporte ainsi l'ensemble des résultats validés à l'issue d'un débat par la « communauté scientifique ». Le terme de communauté scientifique est ici entendu au sens de Marc Legrand¹ : elle est composée de l'ensemble des élèves et des enseignants de l'option sciences.

¹ Marc Legrand « Débat scientifique en cours de maths » in repères IREM N° 10.

Un cycle de ce type dure à peu près trois semaines (9 heures élèves) d'où une dizaine de cycles sur l'année, 3 à 4 cycles étant initiés par chaque professeur. A certains moments du cycle, les élèves doivent se trouver en présence d'au moins deux professeurs pour que le concept reçoive différents éclairages et que le débat soit provoqué.

Ce projet a pu aboutir grâce à la collaboration et la motivation d'une équipe d'enseignants déjà impliqués dans un travail interdisciplinaire mené dans le cadre des TPE (travaux personnels encadrés) notamment.

1.3. L'équipe Enseignement Scientifique de l'Irem de Montpellier

Une équipe pluridisciplinaire (mathématiques, physique, chimie, biologie) comprenant des enseignants du secondaire et de l'Université Montpellier II s'est constituée en septembre 2004 à l'Irem de Montpellier. Cette équipe a aussi associé l'équipe des enseignants de Bagnols sur Cèze. Les objectifs de cette équipe étaient :

- analyser l'expérience ;
- produire des ressources ;
- permettre des échanges entre différentes options sciences de l'Académie (9 en 2004-2005, 25 en 2005-2006) ;
- permettre des interventions d'universitaires auprès de lycéens ;
- évaluer l'impact des options sciences sur les élèves.

Des réunions de trois heures une fois par mois à l'Irem de Montpellier et l'utilisation d'une plate-forme de travail ont permis les échanges entre les différents membres de cette équipe interdisciplinaire. L'ensemble du travail de l'année 2004-2005 a été mis en ligne sur le site de l'Irem, de l'APMEP, du Rectorat.

1.4 Le travail de l'année 2004-2005

L'équipe d'enseignants du lycée de Bagnols a essayé d'atteindre ses objectifs à travers six cycles différents.

Cycle 1. La démarche scientifique (proposition conjointe des trois enseignants).

Il s'agissait de mettre en évidence, pour la mise en pratique d'une démarche scientifique, à la fois les différentes méthodologies des trois matières (observation, abstraction, démonstration, expérimentation, hypothèses, interprétations...) et la convergence des objectifs poursuivis (produire des résultats, généraliser, prévoir) ainsi que la cohérence se dégageant de l'ensemble. A l'issue de ce cycle les élèves ont ainsi pu confronter la démarche scientifique dans les trois matières, ce qu'ils ont résumé de la façon suivante sous la forme indiquée page suivante.

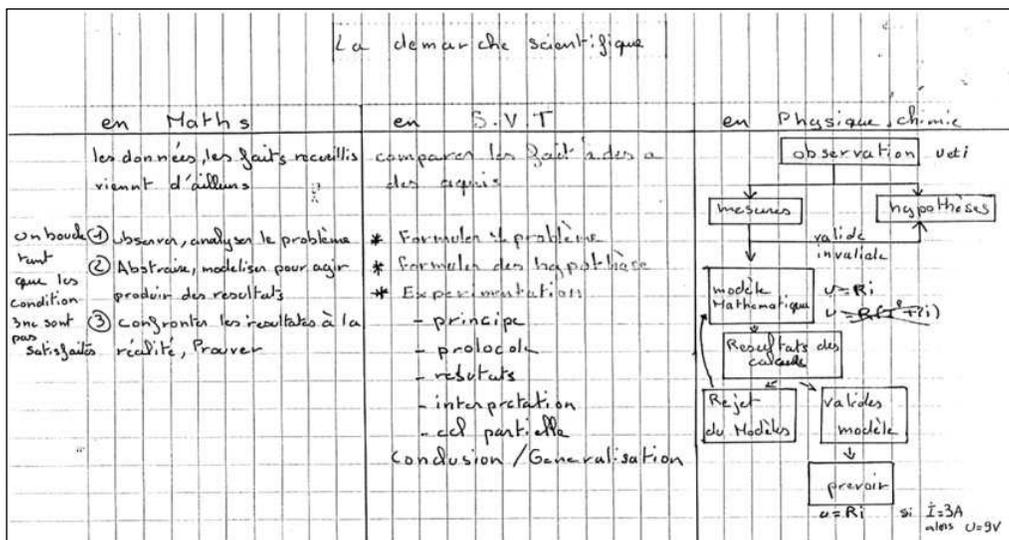
Cycle 2. Infiniment grand (proposition de l'enseignant de science de la vie et de terre).

Un travail en équipe des élèves (construction d'une maquette du système solaire dans la cour du lycée) a permis la présentation de la maquette à d'autres élèves et d'assumer collectivement le résultat obtenu. Ce travail avait aussi pour but de donner de la cohésion au groupe et de bien insister sur le fait que la science est un travail collectif.

Cycle 3. Infiniment petit (proposition de l'enseignant de physique).

Les élèves ont découvert une expérience fondatrice dans l'histoire des sciences, l'expérience de Franklin. Ils ont pu observer que l'émergence d'un nouveau concept n'est pas forcément liée à la création de tech-

L'OPTION SCIENCES...



nologies nouvelles, mais qu'elle peut dépendre de la construction intellectuelle d'un nouveau cadre pour interpréter le phénomène observé.

Cycle 4. Evolution de phénomènes en fonction du temps (proposition des enseignants-chercheurs de l'Université).

Il s'agissait d'étudier le passage du statique au dynamique (tout est en mouvement) et aussi de prendre conscience que tout n'est pas linéaire (*en fonction de* ne signifie pas nécessairement *proportionnel* à).

Cycle 5. Négligeable ou pas ? (proposition de l'enseignant de mathématique).

Ce cycle permettait d'étudier comment les trois matières interprètent le sens du mot *négligeable* :

- en physique : la sensibilité des instruments amène à s'interroger sur ce qui est mesurable ;
- en sciences de la vie et de la terre : les pos-

sibilités de nos sens nous limitent à ce qui est sensible, et aussi à la façon dont notre cerveau interprète les données recueillies par nos sens ;

— en mathématique : les théories proposent des formules, mais tout est-il calculable ? Quelle importance attribuer aux facteurs d'échelle ?

Cycle 6. Promenade scientifique (proposition conjointe des trois enseignants).

Pour finir agréablement l'année, une promenade dans la ville de Bagnols a été organisée afin de mettre en œuvre les nouvelles attitudes développées pendant les cycles précédents. Ce qui est scientifique dans cette promenade c'est l'attention portée au monde qui nous entoure et les informations qui sont relevées et peuvent être ensuite retransmises :

- la flore (un herbier) ;
- le terrain (nature et ensoleillement) ;
- la situation (repérage et cartographie).

II. — L'interdisciplinarité au cœur de l'option sciences

L'objectif de l'option sciences n'est pas d'apporter de nouvelles connaissances propres à chacune des disciplines : ceci est l'objet des cours spécifiques de mathématiques, physique et sciences de la vie et de la terre. Cet enseignement doit au contraire aborder des thèmes plus généraux, communs aux différentes disciplines, il doit en particulier permettre aux élèves :

— de développer un esprit scientifique fait de *curiosité* et d'*analyse critique*. La curiosité est en effet un des moteurs fondamentaux de la science et l'esprit critique en est le garant ;

— de savoir mettre en place une véritable *démarche scientifique basée sur le questionnement et la réflexion*. Pour exercer une science il faut en effet être capable de mettre en oeuvre plusieurs angles d'approche de manière à pouvoir aborder tout type de questions aussi difficiles soient-elles ;

— d'acquérir *des méthodes et des pratiques scientifiques, tant sur le plan expérimental que théorique*. Les méthodes et les pratiques scientifiques sont en effet communes aux différentes sciences dites dures, mais également aux sciences sociales (sociologie, économie, géographie, etc.).

Cet enseignement devrait mettre en valeur le fait que *le raisonnement scientifique est une caractéristique commune aux différentes matières enseignées* (sciences de la vie et de la terre, mathématique ou physique). Même si elles diffèrent et possèdent des spécificités propres, les disciplines scientifiques communiquent et se retrouvent autour d'objectifs et de méthodes communs. Notons par ailleurs que l'apprentissage de la science, le développement de l'esprit critique, l'autonomie ne peuvent se

faire sur un « terrain » vide d'outils mathématiques. Sans maîtrise de cet outil, les autres aspects perdraient du sens.

Ainsi, les sujets d'étude transversaux peuvent être très diversifiés dans la mesure où ils constituent avant tout un support de travail. L'objectif est que, au-delà du thème, l'élève retienne avant tout un savoir-faire. Cela devrait l'aider à mieux appréhender les enseignements disciplinaires classiques et lui donner un atout dans la poursuite de ses études scientifiques.

II.1. L'état d'esprit dans lequel on souhaite mettre l'élève : curiosité et esprit critique

Un thème d'étude doit d'abord stimuler la curiosité des élèves. La curiosité est en effet un facteur important, voire fondamental, dans la recherche scientifique. C'est elle qui pousse le physicien à construire d'énormes accélérateurs de particules (le boson de Higgs existe-t-il vraiment ?), le biologiste à explorer la forêt tropicale (qu'y a-t-il là dedans ?), et le mathématicien à découvrir de nouveaux théorèmes (cette propriété est-elle vraie tout le temps ?).

L'enseignement de l'option permet l'éveil de la curiosité des élèves à travers l'étude de sujets transversaux, dans laquelle ils jouent un rôle plus actif que lors des enseignements classiques. Cette curiosité accrue (car cultivée) devrait leur donner un atout important dans la suite de leurs études, et renforcer leur motivation. L'esprit critique fait partie de la panoplie de tout scientifique, qui doit pouvoir l'exercer y compris sur son propre savoir. L'enseignement devrait donc comporter un apprentissage à l'analyse des résultats obtenus dans l'expérimentation, des méthodes employées, voire du sujet traité. La capacité de juger en permanence de la pertinence des actions qui

sont menées est développée, dans l'objectif d'apprendre aux élèves à mieux progresser dans la difficulté. Cette connaissance de la manière de traiter les problèmes, qui n'est pas (ou peu) possible dans les cours traditionnels - on y dispense des enseignements fondamentaux - est l'un des piliers de cet enseignement à caractère plus méthodologique.

Pour résumer, l'éveil de la curiosité, le questionnement et la réflexion sont des éléments primordiaux pour aiguïser l'esprit critique de l'élève dans les différentes disciplines.

II.2. La démarche scientifique

Un moment important de la recherche scientifique est celui de la construction des problématiques. On cherche à poser du mieux possible le problème que l'on va étudier, à savoir le plus clairement possible pourquoi on va mettre en œuvre tout un attirail de méthodes et d'outils expérimentaux, pourquoi on va passer tant de temps à la paillasser, devant une feuille blanche, ou devant un écran d'ordinateur.

Cette construction de la problématique s'accompagne ainsi d'un certain nombre d'interrogations : quel est le contexte ? quels sont les outils à ma disposition ? comment vais-je m'y prendre ? combien de temps cela va-t-il me prendre ? Le scientifique va donc mettre en œuvre différentes pratiques ou méthodes en fonction de cette analyse, qui devraient lui permettre de répondre à la question posée.

Notons cependant que, même si le résultat d'un travail scientifique permet parfois de répondre clairement à des questions elles-mêmes parfaitement énoncées, il arrive également souvent que le problème s'éclaircisse au cours de l'étude et qu'il n'apparaisse bien posé

que lorsqu'on l'a finalement résolu. Par ailleurs, si des résultats viennent contredire une intuition, une attente ou une théorie, il n'y a pas échec : une réponse négative à une question posée n'est pas plus mauvaise qu'une réponse positive, l'essentiel est qu'il y ait réponse.

Dans cet enseignement, l'interdisciplinarité va permettre la mise en œuvre de plusieurs problématiques croisées autour d'un même objet central. En mettant l'objet d'étude en commun dans les différentes disciplines, on crée une mobilisation autour d'un objet. La transversalité de l'approche et le croisement disciplinaire sont les clés de la réussite de cette option. Ainsi l'étude de l'œil ne concerne pas que la biologie, car l'optique géométrique, de même que les mathématiques liées à la représentation des couleurs, nous font comprendre la vision de différentes manières.

Finalement chaque objet apparaît dans sa complexité — à peine ébauchée en réalité. Cela met en relief le fait que chaque science est une construction de l'esprit et que ne voir dans l'œil que le nerf optique, c'est un artificialisation de l'objet, une réduction. Pour un même objet d'étude, l'approche multi-disciplinaire permet de poser plusieurs questions et de proposer différents outils (mathématiques, techniques physiques, procédé biologiste), tout en gardant un unique objectif (comprendre l'œil, le pont du Gard). L'élève comprendra ainsi que même si le questionnement est dépendant de la matière, la démarche scientifique est la même. On lève ici le cloisonnement artificiel entre discipline. L'élève comprendra plus facilement que certains outils (mathématiques) peuvent être communs aux trois disciplines et comment la rigueur du développement mathématique peut être modulée (approximation) dans les sciences appliquées. On se doit d'aiguïser son

sens critique vis-à-vis d'un résultat obtenu. Il pourra de lui-même faire des allers-retours entre discipline selon le problème posé.

Enfin, et c'est l'objet du prochain paragraphe, l'élève sera confronté au fait que même si les questions et les outils changent d'une discipline à l'autre, les méthodes restent les mêmes pour toutes les sciences.

II.3. *De la méthodologie : expérience et théorie*

Outre les pratiques propres à chaque matière (*démonstrations en mathématique, expériences en physique, enquêtes dans les sciences humaines, cultures en grand nombre pour la biologie, etc...*), un certain nombre de pratiques scientifiques sont communes à l'ensemble des disciplines. Elles sont en premier lieu la rigueur (dans la problématique, l'expérimentation, la discussion) ; l'honnêteté vis-à-vis des résultats expérimentaux ; la pertinence des résultats en les reclassant dans un débat général et actuel.

Les méthodes de travail utilisées pour répondre aux problématiques posées (quel que soit le contexte) sont elles aussi communes aux différentes disciplines. On peut les séparer en deux grands groupes : des méthodes théoriques — ou conceptuelles — d'un côté, et de l'autre, des méthodes expérimentales — ou empiriques. Les sciences jouent de cette dialectique : d'une part, le scientifique cherchera à avancer des théories sur des bases expérimentales, et d'autre part il réalisera des expériences pour confirmer ou infirmer des hypothèses théoriques. La conceptualisation des phénomènes et le besoin de théorisation sont des caractéristiques majeures de l'appareil scientifique. En réalité, le scientifique aime posséder des modèles qui expliquent ce qu'il voit. C'est

ainsi qu'une caractéristique de l'approche scientifique suppose un mouvement d'aller-retour, du modèle à l'expérience, de l'abstrait au concret, du général au singulier.

Dans la mesure où les méthodes théoriques conceptuelles sont propres aux différentes disciplines, nous n'évoquerons ici que les méthodes expérimentales. L'élève verra ainsi qu'un problème donné vu par différentes disciplines peut être résolu grâce à une démarche scientifique commune qui repose sur des méthodes identiques entre disciplines même si les outils nécessaires peuvent être différents.

Expérimentation et analyse des résultats : une méthodologie transversale !

— La collecte des données expérimentales requiert une définition claire des protocoles et beaucoup de rigueur dans leur application. L'expérimentation commence donc par l'écriture des protocoles et la présentation des différents paramètres. Ces principes s'appliquent en biologie lors de la manipulation des cellules, en physique pour la mesure d'une grandeur physique en fonction d'un paramètre, en mathématiques appliquées, mais aussi en sciences humaines au travers d'enquêtes à caractère sociologique ou économique. La technicité employée dans la fabrication de questionnaires ou bien dans la mise œuvre d'expériences, sera le résultat d'un savoir faire.

— Le traitement des données obéit aux techniques mathématiques de représentation de fonctions ou bien aux règles statistiques s'appliquant aux grands ensembles. Dans tous les cas la rigueur et la rationalité sont les bases des discussions concernant les résultats bruts, indépendamment du contexte scientifique. Ensuite le placement des résultats dans le

contexte scientifique général, sera encore une fois le résultat d'un savoir faire acquis par l'expérience professionnelle, et souvent caractéristique de la pensée de chacun.

— La discussion scientifique requiert une bonne connaissance du contexte. C'est à ce niveau que l'acquisition des connaissances propres à chaque discipline prend une importance majeure. Il faudra donc effectuer un retour sur la discipline, qui se fera naturellement dans la mesure où il n'y a pas un « prof » d'option sciences, mais des professeurs de mathématique, physique, sciences de la vie et de la terre.

III. — UN EXEMPLE

Un des cycles d'étude du lycée de Bagnols sur Cèze en 2004-2005 est intitulé « Négligeable ou pas ? » Cette notion, abstraite a priori, relève d'une approche qui dépasse le cadre strict des disciplines. En effet, toute discipline se trouve confrontée au problème du négligeable à travers la question « est-il raisonnable de négliger certaines grandeurs et jusqu'à quel point ? », qui se transforme parfois en « peut-on faire autrement que de négliger certaines grandeurs ? ». Le débat entre les trois disciplines, ou plutôt entre les enseignants qui les représentaient, conduisit ainsi à proposer aux élèves trois problématiques :

- ce qui est calculable ;
- ce qui est négligeable ;
- ce qui est sensible.

Les enseignants de mathématique, physique et science de la vie et de la terre ont ensuite chacun interrogé ce concept et ces problématiques avec les outils propres de leur discipline. Ils ont ensuite proposé des activités particulières en essayant de montrer comment cette notion — le négligeable — prend

du sens à travers les possibilités et les limites des outils utilisés par chaque discipline : moyens de calculs, théories, instruments, sens.

Pour chacune des trois matières, les activités commencent par une *situation déclenchante* qui doit faire naître la curiosité. Le travail s'effectue en binôme ou trinôme, ce qui permet de développer l'initiative et l'autonomie des élèves et de leur donner le goût de chercher et de comprendre. Les résultats obtenus sont ensuite confrontés lors d'un débat qui amène des conclusions (éventuellement partielles). Sans présenter l'ensemble des textes élèves², nous essayerons de montrer pour chaque discipline les caractéristiques des travaux proposés.

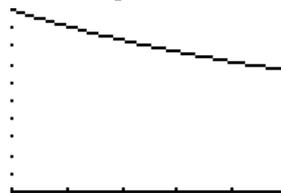
III. 1. *Partie mathématique*

L'activité a été construite en trois parties, chacune de ces parties a fait l'objet d'une séance d'une heure trente.

Première partie : la fonction inverse vue de près (situation déclenchante).

On s'intéresse à la sensibilité liée aux moyens de calculs ou de représentation.

Les élèves doivent obtenir avec leur calculatrice des représentations de la fonction inverse sur des fenêtres du type $[10^n ; 1,5 \times 10^n]$ $[0 ; 1 \times 10^{-n}]$ en faisant varier n dans $\{0,1,2,4,8,16\}$. Le résultat est que tous les écrans sont identiques :



² En ligne sur <http://www.irem.univ-montp2.fr/options-sciences/opscbagnolsnop.html>

Ce phénomène a suscité nombre d'interrogations. Passés les premiers moments d'étonnement et les exclamations des groupes quand ils ont découvert les six écrans identiques malgré les énormes différences d'ordre de grandeur, le *format* (au sens de la télé, 4/3, 16/9, le présentateur du journal télévisé avec la tête aplatie) a rapidement émergé des discussions. Les élèves ont ensuite été demandeurs d'une explication un peu détaillée sur le mode d'affichage de la calculatrice.

Leur conclusion a été qu'en mathématique seule comptait l'échelle qu'on s'était fixée et peu importait la réalité (ou le réalisme) de la représentation obtenue (les 3,5 cm de hauteur de l'écran représentant 1 dix millièème d'unité et les 6 cm de sa largeur 10 000 unités). En mathématique, c'est nous qui décidons, ont-ils conclu !

Notons que l'écran de la calculatrice fonctionne sur des concepts définis par des règles mathématiques. L'outil de mesure est ainsi le fruit d'un concept mathématique. L'homme a inventé la calculatrice, elle obéit donc à ses lois. Nous en sommes donc théoriquement le maître, mais sa manipulation peut réserver bien des surprises.

Deuxième partie : la relativité a 100 ans ! Calculable ou négligeable ?

L'activité était construite avec deux objectifs :
— de rabattre un peu la prétention de la conclusion obtenue à la première partie par nos mathématiciens en herbe ;
— de faire une vulgarisation de la relativité restreinte à l'occasion de son centenaire et de l'année de la physique.

Pour composer deux vitesses v_1 et v_2 , on doit appliquer la formule $\frac{v_1 + v_2}{(1 + v_1 v_2 / c^2)}$ (rela-

tivité restreinte). Cette formule s'oppose à l'idée intuitive que les vitesses s'ajoutent. Les élèves doivent la mettre en œuvre avec l'exemple suivant.

Exemple : Je marche assez vite dans le sens de la marche dans le TGV. Le TGV roule à 360 km/h et je me dépêche à 9 km/h. Je me dis en regardant la voie ferrée que je suis en train de faire du $360 + 9 = 369$ km/h, ou encore en unité S.I, $100 + 2,5$ m/s. Mais la Relativité me dit que je fais une erreur... laquelle ?

Au cours de l'étude de ce premier exemple, les élèves ont découvert que pour la calculatrice $100 + 2,5$ et $\frac{100 + 2,5}{(1 + 100 \cdot 2,5 / c^2)}$ étaient exac-

tament égaux. L'erreur faite en négligeant la théorie était invisible ! Ils revinrent donc sur leur conclusion de la première partie et conclurent plus modestement que même en mathématique, la réalité pouvait nous contraindre à négliger sans être négligeant.

Pour les autres exemples de cette partie, les élèves ont pris successivement pour valeurs de v_1 et de v_2 : $v_1 = c$ et $v_2 = 9$ km/h, puis $v_1 = c$ et $v_2 = c/2$ et enfin $v_1 = 3c/4$ et $v_2 = c/3$.

Passé l'intérêt anecdotique et les questions historiques, cette activité fut un très bon exercice d'entraînement au calcul littéral, aux simplifications de fractions, aux changements d'unité, activités problématiques pour des secondes mais qui furent exécutées sans rechigner dans ce contexte. Au cours de cette partie, les élèves apprécèrent beaucoup la découverte de la formule d'addition des vitesses et ce simple artifice de calcul permettant que la « somme » des vitesses ne dépasse jamais le maximum autorisé (la vitesse c de la lumière) les a beaucoup impressionné.

Troisième partie : approximations.*Egalité ou approximation ?*

Ce travail qui consiste à tester la phrase « $1/(1+a)$ est à peu près égal à $1-a$ » pour différentes valeurs de a et d'évaluer les erreurs commises, est beaucoup plus proche du travail habituel en module de maths : tableaux de valeurs et interprétations des graphiques obtenus. Le commentaire sur les erreurs et les valeurs approchées faisait bien le lien avec les parties physique et sciences de la vie et de la terre de ce cycle.

III. 2. *Partie physique*

La situation déclenchante. En sciences physiques, les élèves sont amenés assez tôt à négliger des valeurs de grandeurs physiques. Au collège par exemple, les rayons lumineux issus du soleil sont considérés en optique comme parallèles vus de la Terre ; au lycée, en seconde, la masse des électrons d'un atome est négligée devant celle du noyau. Par la suite certains élèves sont tentés de négliger tout ce qui tendrait à compliquer le raisonnement ou le calcul. D'autres, par contre, ne négligent rien dans leur calcul, restant dans une vision très mathématique, alors que cela n'apporte pas plus au niveau de la compréhension du phénomène physique. Il s'agissait donc de faire réfléchir les élèves, à la notion de grandeur négligeable à travers un petit questionnaire.

Les activités réalisées. A travers les trois exemples abordés, on montre par des expérimentations, des situations où le physicien est amené à négliger certains paramètres. Ces expérimentations ont été faites sous forme de trois ateliers. La séance de travaux pratiques de 1h30 fut suivie d'une séance de mise en commun des résultats et de discussions.

Première activité : peser une goutte d'eau et comparer sa masse à 200 g d'eau.*Limites d'un instrument de mesure.*

Pour cet atelier, les élèves disposaient de balance au gramme près assez peu réactives aux très faibles variations de masse. Ils devaient évaluer la masse d'une goutte d'eau puis peser une masse d'eau et cette même masse d'eau plus une goutte d'eau. La limite de la sensibilité de l'instrument de mesure (*ici la balance*) est ici mise en évidence pour justifier que l'on néglige la masse de la goutte d'eau.

Deuxième activité : courant dans une résistance électrique de forte valeur.*Calculable et mesurable ?*

Dans cet atelier, les élèves ont travaillé sur un circuit électrique comportant trois résistances en parallèle, dont une est de très forte valeur. En appliquant la loi d'Ohm, les élèves ont pu *calculer* les intensités des trois courants qui traversent les trois résistances. L'un des courants est si faible qu'il ne peut être mesuré par l'instrument de mesure disponible au laboratoire (ampèremètre).

Lors de la discussion qui a clôturé cette séquence, on est revenu sur le fait que tout ce qui est *calculable* n'est pas *mesurable*. D'autre part, peut-on tenir compte de cette très faible intensité de courant si on sait qu'elle est de l'ordre de l'intensité de fuite dans l'air dans lequel est plongé le circuit ?

Troisième activité. Vitesse du son et vitesse de la lumière dans l'air. *Ordre de grandeur*

Dans cet atelier, les élèves devaient *mesurer* la durée que met le son pour parcourir la distance de quelques mètres séparant deux

microphones reliés à un oscilloscope. Ils devaient aussi *calculer* la durée que met la lumière pour parcourir la même distance connaissant la célérité de la lumière. Alors que la première durée peut être aisément évaluée grâce à des appareils communs en laboratoire, la deuxième est assez inaccessible avec ce même niveau de matériel. Les deux célérités ne sont pas en effet du même ordre.

La discussion a par la suite porté sur cette notion d'ordres de grandeurs qui est justement au programme de la classe. Plus généralement, un parallèle a été fait lors de cette discussion avec les mathématiques, où finalement d'après les élèves, on peut ne rien négliger si l'on veut. Un des buts de cette séquence était de montrer qu'il n'y pas de divergence à ce niveau entre la physique et les mathématiques.

III. 3. Partie SVT

Après avoir vu qu'en mathématique, on n'a de limites que celles que l'on se donne, qu'en physique, l'étude d'un phénomène était limitée par la sensibilité des appareils de mesure dont on dispose, nous avons essayé de montrer que notre perception du réel était bornée par la sensibilité de nos organes des sens. Nous avons choisi la vision comme exemple, mais la même étude aurait pu être menée pour les autres sens. La séance a été organisée sur 3 heures.

La situation déclenchante. La séance débute par la projection d'illusions d'optique pour montrer que ce que nous voyons n'est pas forcément la réalité. De cette observation a émergé un problème : comment expliquer que nous ne percevions pas la réalité telle qu'elle est ? Nous avons alors supposé que l'organe de la vision, l'œil, possédait des imperfections qui

limitaient notre perception du réel. Pour valider ou infirmer cette hypothèse il fallait comprendre comment fonctionne l'œil (étude anatomique) et se former les images (perception des couleurs, pouvoir séparateur), ce qui a conduit à réaliser les activités suivantes.

Les activités réalisées.

Première activité : L'étude anatomique et histologique de l'œil.

Capacités travaillées : réaliser une dissection, saisir des informations à partir du vivant, utiliser un microscope optique.

Bien que la dissection de l'œil de lapin ait un peu impressionné les élèves, ils ont très vite joué le jeu et réalisé des dissections de qualité leur permettant de replacer les différents constituants de l'œil sur un schéma.

Deuxième activité : La formation des images sur la rétine et ses limites.

Capacités travaillées : suivre un protocole, saisir des informations, mettre en relation ces informations, pratiquer un raisonnement, réaliser un calcul.

Les très nombreuses expériences ludiques et faciles à réaliser sur la netteté de l'image reçue, la perception des couleurs, le pouvoir séparateur de l'œil ont remporté un franc succès auprès des élèves. Elles nous ont permis de mettre en évidence quelques limites de la perception visuelles ainsi que quelques « imperfections » de l'œil pouvant expliquer certaines des limites mises en évidence. A la fin de cette séquence, les élèves ont vu que l'organe de la vision possédait de nombreuses limites et donc qu'en sciences de la vie et de la terre les limites étaient imposées par notre organisme. On a pu ainsi comparer avec les deux autres matières cette « notion » de « limites ».

Dans le cadre de la démarche suivie dans cette séance, nous avons montré que l'œil possédait des imperfections, des limites de fonctionnement, mais ces imperfections sont compensées (sauf cas pathologique) par le traitement de l'information visuelle réalisé par les structures corticales visuelles. L'hypothèse de départ était donc fautive : ce ne sont pas les imperfections de l'œil qui peuvent expliquer les illusions d'optique. Pour ne pas laisser les élèves sur cette question ouverte, nous avons consulté un site sur les illusions d'optique qui apporte certaines réponses.

Troisième activité : Les illusions d'optiques.

Capacités travaillées : consulter un site Internet, trier des informations.

(Partie très appréciée des élèves qui auraient aimé y consacrer plus de temps.)

Globalement, les points positifs de cette séance furent que les élèves ont pris plaisir à réaliser de nombreuses manipulations variées et surtout ludiques. Ils ont cependant bien saisi cette idée de limite imposée par le vivant et l'ont facilement comparée à cette idée de limite dans les deux autres matières. Le principal point négatif est le temps consacré à cette séquence. Certains élèves ont eu des difficultés à suivre le rythme soutenu des manipulations et auraient aimé approfondir leurs recherches sur les illusions d'optiques. De ce fait, le compte rendu réalisé suite à cette séance a été difficile à réaliser pour certains.

IV. — Conclusion

La désaffectation des filières scientifiques, surtout à l'Université, pose problème à divers pays dans le monde. L'une des raisons de cette désaffectation peut être la façon dont sont enseignées les matières scientifiques lors de

la scolarité secondaire : cloisonnement entre les disciplines et absence de réel enjeu interdisciplinaire. Les options sciences expérimentales des classes de seconde de l'Académie de Montpellier créées en 2004 nous paraissent être un cadre propice pour que justement puisse naître auprès des élèves un goût pour les sciences et un véritable travail scientifique et interdisciplinaire.

Ayant repéré ce qui fait sens dans le travail et l'esprit scientifique, comme le raisonnement, les méthodes expérimentales, la curiosité, l'esprit critique et l'autonomie, il s'agissait de mettre en œuvre ces caractéristiques du travail scientifique lors des études particulières proposées aux élèves. L'interrogation sur un concept, plutôt que sur un thème, pour les différents cycles proposés relève de cette problématique. Cette interrogation globale permet à chaque discipline de répondre au questionnement posé à sa manière et avec les outils qui lui sont propres. Il n'y a plus de matière prestataire de service, chacune développe ses propres outils et les confronte aux résultats des autres mais chaque matière respecte le cadre de l'approche scientifique. Ainsi, au delà des différences de traitement et d'utilisation des outils, l'élève peut reconnaître un même problème. Celui-ci se décline avec des méthodes similaires (questionnement, expérience, débat, conclusions), mais des outils différents : moyens de calculs, appareils de mesure, appréhension des organes des sens. Le dialogue entre les disciplines naît ainsi de la reconnaissance d'un même problème qui est étudié sous divers points de vues.

Cette façon d'appréhender le dialogue entre les disciplines est certainement propre aux enseignants du lycée de Bagnols sur Cèze, et d'autres équipes d'enseignants d'options

sciences ont développé des stratégies différentes. Dans tous les cas, si l'investissement personnel des enseignants est important, il se révèle fructueux et il nous semble essentiel que des équipes d'enseignants curieux et motivés veuillent tenter l'aventure.

Bibliographie

- Fretigne Patrick (2003) La crise des vocations scientifiques. *Bulletin Math en Seine de l'APMEP Haute Normandie*.
- Gras Régis, Bardy Philippe, Parzys Bernard, Pécal Michèle, Richeton Jean-Pierre (2002) Pour un enseignement des mathématiques problématisé au lycée. *Brochures APMEP N° 150 et 154*.
- Legrand Marc (1993) Débat scientifique en cours de mathématiques et spécificité de l'analyse. *Repères-IREM N° 10*.
- Lobry Claude (2004) Mathématiques et autres disciplines. *Repères-IREM N° 57*.
- Rival Michel (1996) *Les grandes expériences scientifiques*. Edition points sciences. Le Seuil

Références sur Internet :

- * **Documents de l'option sciences de Bagnols sur Cèze (2004/2005)**
<http://www.irem.univ-montp2.fr/optionsciences/opsbagnolsnop.html>
- * **Une réflexion sur l'enseignement des sciences :**
Astolfi Jean Pierre : <http://www.scienceaction.asso.fr/jpastolfi.html> (petite bibliographie)
- * **Une association : l'APMEP :** <http://www.apmep.asso.fr/>
- création des options sciences : <http://www.apmep.asso.fr/optsc041.html>
- informations sur les sciences :
<http://www.apmep.asso.fr/apmsci03.html#consulter>
- * **Une interview de Jean Pierre Richeton (2005) sur les options sciences :** <http://www.dma.ens.fr/culturemath/> (dossiers, coup de projecteur)
- * **Un problème international :**
Fourez Gérard (1999) L'enseignement des sciences : en crise ?
<http://www.fundp.ac.be/cethes/scienriseRN.html> (Belgique)
- * **Un point de vue historique sur l'enseignement scientifique :**
http://www.inrp.fr/lamap/main/historique/enseign_sciens3.htm
- * **Perez Pierre : « L'œil et la vision ».** Logiciel libre téléchargeable sur le site de l'Académie de Toulouse <http://ophtasurf.free.fr>

L'Option Sciences

Dossier préparé par Thomas Hausberger¹ sur la base de documents fournis par Jean-Pierre Richeton² et de la réflexion menée au sein du groupe Enseignement Scientifique³ de l'IREM de Montpellier

1. Contexte :

C'est celui de la désaffection des filières scientifiques et de la promotion des sciences, bien que la création du premier groupe d'option science fut antérieur (voir historique ci-dessous). Beaucoup d'encre a coulé sur le sujet (rapports Arnoux, Convert, Duverney, Ourisson, Porchet,...). Parmi les conclusions :

- si le nombre d'inscrits dans les enseignements de sciences à l'université est en déclin, il n'est pas clair qu'on puisse parler objectivement de « désaffection des sciences » ; c'est le nombre de bacheliers scientifiques qui chute.
- l'implication directe et institutionnelle des établissements dans les activités de culture scientifique et technique est souhaité.

C'est pourquoi le milieu universitaire se doit de s'intéresser aux initiatives issues de l'enseignement secondaire, prendre position et soutenir celles qui lui semblent pertinentes. Dans la mesure de ses moyens et en relation avec ses missions, bien sûr.

L'Option Science est l'une de ces initiatives prises par certains collègues de l'enseignement secondaire. Son contexte propre, centré sur le cursus du lycée, est résumé dans un texte⁴ du collectif Action Sciences dont fait partie la SMF, l'APMEP⁵,.... qui appelle à la généralisation des Options Sciences. On peut le résumer ainsi :

les enseignements de détermination actuellement offerts en Seconde relèvent largement des langues vivantes ou anciennes et des arts (LV3,...). Certains peuvent être associées à des projets d'orientation vers les voies technologiques (ISI : initiation aux sciences de l'ingénieur) ou vers la voie scientifique (MPI : mesures physiques et informatique) mais ils restent monodisciplinaires. Aucun d'entre eux n'est aujourd'hui associé à la culture scientifique au sens large. Noter également qu'aucune de ces options ne fait intervenir le professeur de mathématiques.

Il serait profitable d'offrir en classe de Seconde une option à caractère scientifique pluridisciplinaire :

- montrant la spécificité et la globalité de la *démarche scientifique*,
- soulignant la portée des problématiques scientifiques,
- donnant aux élèves *le temps* d'expérimenter,
- respectant les spécificités disciplinaires et en particulier au sein duquel les mathématiques trouveraient leur place, en terme de méthodes et de contenu⁶.

2. Historique :

Cette option facultative a été mise en place à la rentrée 1997 au lycée Jean Monnet de Strasbourg par une équipe de professeurs volontaires et motivés (dont Jean-Pierre Richeton, président de l'APMEP de 1996 à 1998) de chacune des trois disciplines scientifiques : Mathématiques, Physique et Sciences de la Vie et de la Terre (voir l'annexe 1 extraite du Bulletin Vert de l'APMEP n°429 de juin 2000 : le lecteur notera que l'analyse du collègue du secondaire débute par quelques constats post-bacs !)

Rappelons le projet de l'APMEP dans sa globalité, tel qu'il a été présenté au Ministère à l'époque : l'Option Science continuerait jusqu'en Terminale : en 1^oS elle susciterait la détermination motivée de la spécialité et déboucherait en Terminale S sur un TPE à trois matières avec des élèves formés à la démarche. Comme nous le savons, les TPE sont arrivés en force et ont pris le dessus sur le projet issu de l'association des professeurs de mathématiques.

¹ Institut de Mathématiques et de Modélisation de Montpellier, Université Montpellier II & IREM de Montpellier
Thomas.Hausberger@univ-montp2.fr

² Professeur agrégé de Mathématiques, lycée Jules Guesde de Montpellier

³ <http://ens.math.univ-montp2.fr/SPIP/irem/Enseignement-Scientifique,17>

⁴ Voir annexe 2

⁵ Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public : <http://www.apmep.asso.fr/>

⁶ Par rapport à ces critères, les TPE s'avèrent souvent un échec

Par ailleurs, la Commission de Réflexion sur l'Enseignement des Mathématiques (CREM) présidée à sa création par Jean-Pierre Kahane met en avant dans un rapport d'étape la création de laboratoires de mathématiques. À la suite de ce rapport l'Inspection Générale de mathématiques propose durant l'année scolaire 2002/2003 à quelques établissements et sur projet, la création et le financement de laboratoires de mathématiques.

Trois établissements ont été retenus dans l'académie de Montpellier, dont le lycée Jules Guesde (anciennement Mas de Tesse) de Montpellier pour lequel Jean-Pierre Richeton avait demandé sa mutation. Dès leur première journée commune de travail, les enseignants de ces laboratoires ont sollicité l'IG afin d'obtenir son appui pour la création d'une "option Sciences" sur le modèle du projet du Mas de Tesse. Des négociations ont eu lieu durant l'année 2003/2004 et l'option Sciences a été créée, à l'initiative du rectorat, à la rentrée 2004 dans 9 établissements de l'académie de Montpellier. Sans le soutien du rectorat qui en a fait son projet phare en rapport avec sa mission de promotion des sciences, le projet n'aurait pu prendre cette ampleur.

À la rentrée 2006 on compte 35 lycées proposant l'option Sciences à leurs élèves de Seconde. Pour autant, le dispositif reste *expérimental* et la question se pose de sa *généralisation* et sa *pérenisation*.

3. Objectifs :

Ces objectifs figurent dans le projet de création de laboratoire de mathématiques du lycée Mas de Tesse :

« Destinée à faire acquérir aux élèves une *culture scientifique*, cette option Sciences se ferait sur la base de 3 heures hebdomadaires (une heure dans chaque discipline scientifique) avec pour principaux objectifs de viser à :

1. rendre les élèves plus *autonomes* ;
2. leur apprendre à chercher, à "sécher", sur des problèmes demandant *prise d'initiative* ;
3. faire appel à leur *imagination*, de développer leur *créativité* ;
4. développer leur désir de savoir et le *plaisir* de la connaissance... »

Ils sont en partie repris dans le texte du collectif Action Sciences :

1. Inciter au choix de la série scientifique en donnant, au-delà des clivages disciplinaires, plus de sens à l'enseignement des sciences et en montrant comment les sciences sont impliquées tant dans la culture (élaboration de la pensée et du discours scientifique) que dans l'approche interdisciplinaire de situations concrètes ou de problèmes de société.
2. Mettre les élèves en situation de recherche, d'expérimentation, de réussite et d'acquisition d'autonomie dans la perspective des TPE...
3. Approfondir la démarche scientifique. Mettre en oeuvre un rapprochement de démarches issues des divers champs disciplinaires : on pourrait imaginer "un seul cahier" pour les trois disciplines impliquées dans cette option.
4. Réduire le "saut" méthodologique et conceptuel entre 2nde et 1^{ère} S.

4. Modalités (cadrage général) :

Le dispositif étant expérimental, le document de cadrage disponible actuellement se résume à la fiche d'information sur les Options Sciences éditée par le rectorat de Montpellier (voir annexe 3).

Il nous paraît important de souligner les points suivants :

- L'option entre dans l'horaire officiel des élèves (ce n'est pas un atelier) à raison de 3 heures hebdomadaires (une heure dans chaque discipline scientifique). Il s'agit donc d'une *option de détermination* au même titre que MPI, ISI, LV3,...
- Il n'y a pas de *programme spécifique*. En effet, un programme officiel aurait vite fait d'en faire un surentraînement à la classe de 1^{er}S. Par contre, des pistes de thèmes et d'activités pluridisciplinaires peuvent être suggérées. A travers des feuilles d'exercices ou des expériences proposées par l'équipe pédagogique, les enseignants gardent la maîtrise : la démarche débouche sur des contenus accessibles, tout en restant ouverte aux prises d'initiatives. Enfin, l'absence de programme imposé offre une liberté

pédagogique pour l'épanouissement professionnel dans des domaines de prédilection (astronomie, géométrie,...) et permet de tenir compte des spécificités locales (radioactivité à Bagnols/Cèze)

- Un *cadrage national* est donné (ou à donner, du moins préciser) concernant les objectifs, les *méthodes*, les compétences à développer.
- Il s'agit d'une *option* basée sur le *raisonnement*, la *démarche d'investigation en sciences*. Pour autant, l'expérience montre que les contenus abordés sont riches⁷, portés par la motivation de l'élève. Les documents joints (annexes 4-7) permettent de s'en convaincre.

Est-il bien nécessaire d'ouvrir des Options Sciences et cette démarche d'investigation n'est-elle pas déjà mise en oeuvre dans l'enseignement traditionnel ? Voici des éléments de réponse :

- l'honnêteté oblige à admettre que le programme est souvent traité « à la hussarde » ; en OS, on se donne le temps afin d'aider l'élève. C'est un luxe utile.
- le choix des exercices est différent par rapport à une séance de TD : problèmes nécessitant une prise d'initiative, on apprend à sécher. D'une certaine manière, c'est en faire moins, mais mieux pour atteindre les objectifs du programme.
- les élèves conjecturent⁸ ; ils savent qu'ils sont évalués sur autre chose que le résultat final, c'est pourquoi ils cherchent, leur démarche est lue.
- on se donne le temps de mettre en oeuvre des mathématiques expérimentales (utilisation des TICs, mathématiques assistées par ordinateur, remise en question des calculs,...)
- l'interdisciplinarité offre un regard transversal
- ce bol d'oxygène est apprécié à la fois du côté élèves⁹ et enseignants, ces derniers renouvelant par ailleurs leurs pratiques professionnelles (séances occasionnelles à deux professeurs de spécialité différente, travail en amont et accompagnement sur place, gestion des « problèmes ouverts »,...)

Enfin, ces modalités trouvent écho dans le texte du collectif Action Sciences comme suit :

- Bloc de 3 heures consécutives impliquant également les professeurs des trois disciplines scientifiques (mathématiques, physique-chimie et sciences de la vie et de la Terre).
- N'est pas un critère pour le passage en 1^{ère} S.
- Pas de programme spécifique mais un cadrage national concernant les objectifs, les méthodes, les compétences à développer.
- Axé sur le questionnement, l'initiative, l'expérimentation, la culture scientifique, l'histoire des sciences...
- Groupes à effectif réduit.

5. *Mise en place (modalités pratiques) :*

- La mise en place des options Sciences s'est faite à moyen constant en terme de DHG pour les établissements mais le coût n'est pas toujours le même :
 - 6 h prof (classe dédoublée) ;
 - 3 h prof (classe non dédoublée).
- Une plage de 3 h consécutives réservée à l'option, aussi bien côté élèves que pour les trois enseignants impliqués, est fortement recommandée pour ne pas dire indispensable. Cela est en effet nécessaire pour permettre une certaine souplesse dans la gestion de ces 3 heures entre les professeurs concernés et/ou pouvoir donner un peu de densité au contenu de l'option :
 - la plupart du temps en organisant le planning sur la base de deux tranches horaires de 1 h 30,
 - plus rarement, en réservant la plage de 3 h pour une seule matière, et permettre aussi, par exemple :
 - ➔ d'organiser des visites extérieures (en fonction des moyens) ;

⁷ fidèle à l'adage : « le contenu ne débouche pas nécessairement sur de la méthodologie mais une option basée sur la démarche débouchera nécessairement sur des contenus »

⁸ Voir l'annexe 6

⁹ L'annexe 8 présente un témoignage d'élèves, recueilli par une équipe du projet GRID

- aux trois enseignants d'intervenir ensemble pendant une séance.
- Public: : l'idée des enseignants participant à l'expérimentation était de recruter des élèves qui ne soient pas forcément d'excellents élèves mais de l'ouvrir à des élèves curieux, intéressés et motivés par les sciences. Dans la réalité et cela est surtout lié aux différences entre établissements (autres options proposées, lycée rural ou urbain, ...) les élèves qui participent à l'option Sciences ont des profils différents. Une majorité d'élèves qui ont pris l'option ont pour objectif de faire ensuite une section S et surtout de ne pas faire l'option SES. Au lycée Jules Guesde qui dispose déjà d'une option SI et d'une MPI en Seconde, il y a *beaucoup de filles* qui demandent l'option Sciences. Ce lycée accueille notamment des élèves d'un collège ZEP ainsi que de nombreux élèves issus de milieux défavorisés. Les élèves retenus pour cette option le sont lors d'une commission d'affectation à partir d'un document rempli par le collège d'origine joint aux bulletins de 3^{ème}.
 - Une salle spécifique équipée est parfois (ce n'est pas toujours le cas) mise à la disposition des élèves et des enseignants pour cette option. L'idéal étant sans doute la présence d'un laboratoire de mathématiques dans l'établissement. Au lycée Jules Guesde, le labo de math est le lieu de l'option Sciences (pour les mathématiques) ; on y prépare aussi les Olympiades et le Concours Général.
 - Pour favoriser au maximum la réussite de cette option, il va de soi que cela passe par de nombreux échanges, par Internet notamment, et/ou réunions de travail entre les collègues des trois matières concernées. Pour l'instant, rien n'est prévu dans l'emploi du temps pour ces réunions de concertation qui se font donc en plus de l'emploi du temps prévu. Cependant, il semble tout à fait envisageable de pouvoir "libérer les élèves" de temps à autre, pour faciliter le travail de l'équipe en charge de l'option Sciences ainsi que le préconise le rapport de visite des inspecteurs venus au lycée Jules Guesde-Mas de Tesse en janvier 2005.

Un groupe de recherche en partenariat avec l'INRP
http://educmath.inrp.fr/Educmath/ressources/equipes_associees/optionsciences

Option Sciences

Échanges et réflexions sur un dispositif interdisciplinaire pour l'enseignement des sciences

Responsables : [Thomas HAUSBERGER](#) et [David THERET](#) - Mathématiques, Université Montpellier II

Membres :

- Luc ANDRAL - Mathématiques, Lycée Gérard Philipe, Bagnols/cèze
- Christophe CHAUBET - Physique, Université Montpellier II
- Frédéric GENIET - Physique, Université Montpellier II
- Hélène HAGEGE - Didactique et épistémologie de la biologie, Université Montpellier II
- Bénédicte HAUSBERGER – Sciences de la Vie et de la Terre, Lycée Jules Guesde, Montpellier
- François HENN – Chimie-Physique, Université Montpellier II & Institut Universitaire de France
- Abdallah SABIR - Physique, Lycée Gérard Philipe, Bagnols/Cèze
- Fériat TERKI - Physique, Université Montpellier II

PARTENARIAT ET COLLABORATIONS :

IREM de Montpellier, Université Montpellier II, INRP, Académie des sciences. Notre vocation est de multiplier les partenariats et ainsi d'élargir, à un niveau national, la réflexion que nous avons menée.

CONTEXTE :

Dans le cadre de la promotion des sciences et des techniques et en réponse au problème de la crise des vocations scientifiques, le rectorat de Montpellier a permis l'ouverture expérimentale, en septembre 2004, d'options sciences en classe de seconde. D'autres Académies ont suivi cette initiative : Aix-Marseille, Caen, Clermont-Ferrand, Lille, Nice... A la rentrée 2006-07, on dénombre 35 lycées de l'académie de Montpellier impliqués dans ce dispositif.

L'objectif de ces options est de sensibiliser les élèves à la pratique de la science, dans un cadre interdisciplinaire respectueux des spécificités disciplinaires. Parmi les modalités, citons :

- Pas de programme spécifique mais un cadrage concernant les objectifs, les méthodes, les compétences à développer
- Dispositif axé sur le questionnement, l'initiative, l'expérimentation, la culture scientifique, l'histoire des sciences, l'épistémologie, ...

Depuis 2004, le groupe de travail « Enseignement Scientifique » de l'IREM de Montpellier mène une réflexion sur la pratique de ce dispositif expérimental et offre l'appui scientifique d'enseignants-chercheurs à quelques lycées de l'académie.

OBJECTIFS :

- L'analyse des choix didactiques effectués par les enseignants des différents lycées concernés
- Un éclairage universitaire sur la recherche, le travail du chercheur et la vision scientifique qui en découle
- Un recensement de thèmes se prêtant à un traitement interdisciplinaire et des exemples de déclinaisons de ces thèmes
- La création d'un lieu d'échanges et de mutualisation des expériences et des ressources produites
- Raffermer les liens lycées/universités grâce au « parrainage » des classes d'Option Sciences par des universitaires.

A travers l'INRP, le groupe « Enseignement Scientifique » souhaite s'ouvrir aux divers acteurs du dispositif et plus généralement aux personnes et organismes concernés par l'enseignement et la science.

Références :

<http://ens.math.univ-montp2.fr/SPIP/irem/Enseignement-Scientifique,17>
http://pedagogie.ac-montpellier.fr/Disciplines/maths/apmep/activite/option_sciences/index.html
<http://www.apmep.asso.fr/spip.php?rubrique102>
<http://www.sfc.fr/SocietesSavantes/Option-sciences.pdf>

Comment le réseau des IREM peut contribuer à l'enrichissement et à la mise en place des Options Sciences

- Les IREM ont toujours servi de lieu de rencontre et d'échanges entre enseignants du secondaire et enseignants-chercheurs. On y parle de mathématiques, d'enseignement, de pédagogie, de didactique, d'épistémologie, de philosophie des sciences, en fonction des goûts et des compétences, grâce à la diversité des intervenants. Il est question de tout cela dans les Options Sciences.
- L'Option Sciences est un dispositif expérimental ; il s'agit de l'analyser et de l'évaluer. Le réseau des IREM possède les compétences requises et les forces vives. Il se situe en dehors des pressions hiérarchiques et se nourrit directement du champ disciplinaire.
- Les laboratoires de recherche sont les lieux de la recherche et les chercheurs les acteurs. Une Option Sciences qui sensibilise à la pratique de la science et à ses méthodes gagnerait à avoir un « pieds » dans les universités. C'est le but de l'opération « parrainage » : un enseignant-chercheur, le parrain, offre un peu de son temps (intervention en classe sous forme de conférence, personnel-relais par rapport aux éventuelles demandes de l'équipe pédagogique du secondaire, « boîte à idées »,...). C'est gratifiant !
- Un enseignant du secondaire n'est pas chercheur ; un éclairage sur la recherche et le travail du chercheur est souhaité. C'est aussi l'occasion de le comparer à celui demandé aux élèves d'option Sciences : il ne s'agit pas d'en faire de « petits chercheurs en herbes », c'est illusoire et hors propos. Des questions précises demandent des développements : qu'est-ce que la modélisation, plus généralement les questions relatives à la mathématisation du réel ; la démarche scientifique : quels sont les invariants et les spécificités disciplinaires ? La question de la vérité en sciences (qui diffère des sciences dures aux sciences naturelles). C'est aux universitaires d'y apporter des éléments de réponses et à l'IREM par exemple de réfléchir à la mise en oeuvre dans un contexte pédagogique.
- Recenser des thèmes se prêtant à un traitement interdisciplinaire et donner des exemples de déclinaisons de ces thèmes est d'une grande utilité pour les enseignants des Options Sciences. Cette pépinière de thème doit être nourrie de la recherche universitaire, vulgarisée et adaptée au public.
- L'investissement des équipes pédagogiques des options Sciences est conséquent. Pour alléger la tâche et valoriser les productions, la mise en ligne de ressources dédiées, validées par un comité d'experts et suffisamment documentées pour que d'autres enseignants puissent facilement se les approprier est un travail d'ampleur indispensable à moyen terme. Certaines IREM possèdent une expertise dans le formatage de ressources mutualisables dont il faudrait faire bénéficier ce projet. Il faut aussi prévoir une plateforme adaptée avec forum. Cette démarche a été entreprise par Claudine Robert relativement aux ressources de statistiques, également sur un principe de partenariat avec l'INRP. Le problème de moyens se pose et est crucial. Le support des IREM est précieux.
- L'ouverture des Options Sciences ne peut se faire sans professeurs motivés et formés, d'autant plus qu'elles occasionnent un renouvellement des pratiques professionnelles. Les IREM, qui dans certaines académies sont maître d'oeuvre du plan de formation pour les mathématiques, peuvent assurer ce rôle de formateur.

L'Option Sciences au lycée Jules Guesde de Montpellier

- La mise en place de l'option Sciences s'est faite à moyen constant en terme de DHG, elle coûte 6 h prof (classe dédoublée ; en fait, deux demi-classes, afin de ne pas créer une classe à vocation élitiste).
- Une plage de 3 h consécutives a été réservée à l'option aussi bien côté élèves que pour les six enseignants impliqués.
- Une ou deux salles spécifiques équipées (pour les deux disciplines qui interviennent) sont toujours mises à la disposition des élèves et des enseignants pour cette option.
- Le projet est centré sur une entrée thématique.

Choix des thèmes :

Dès la fin de l'année précédant la mise en place, réunion des professeurs intéressés des trois disciplines pour tenter de définir une méthode de travail et des thèmes présentant des intérêts communs. Par exemple, pour l'année 2004-2005, les premiers points de convergence se font autour de :

- Comprendre la gestion de l'eau : avec notamment des visites d'un site de traitement de l'eau.
- L'espace, le temps et le mouvement : avec notamment une visite de la cité de l'Espace à Toulouse.
- La recherche scientifique : visites de labos, rencontre avec des chercheurs.

Après quelques tentatives de préparation, les choix évoluent et les enseignants finalement retenus pour enseigner l'option choisissent comme premier thème "**La Vision**", le second sera "**L'astronomie**".

Méthode :

Une présentation-questionnement où tous les enseignants de l'option sont présents doit permettre aux élèves de découvrir eux-mêmes le premier thème de travail.

La découverte du thème "**Vision**" a été faite à partir de dispositifs expérimentaux. L'annexe 4¹⁰ en fait le compte-rendu

Quelques documents sont fournis aux élèves en complément de la séance de découverte afin de cadrer le champs d'investigation tout en permettant la prise d'initiatives. Ainsi l'enseignant garde la maîtrise et s'assure que la démarche débouche sur des contenus accessibles. Par exemple, les documents élèves en mathématique sur le thème la vision figurent dans l'annexe 5.

Les élèves travaillent en groupe de deux-trois. Ils apprennent ainsi à partager leurs connaissances et leurs compétences, à gérer les tensions, les conflits et à débattre sur les questions posées (prémises du « débat scientifique »).

Le contrat final pour les élèves réside dans un compte rendu disciplinaire ou pluridisciplinaire renvoyant aux questionnements. L'annexe 6 présente un compte-rendu d'élève à mi-parcours ainsi que le barème de notation.

L'annexe 7 est une fiche à destination de l'enseignant qui désirerait reproduire l'activité dans ses classes. Il éclaire sur les réponses attendues. Celui qui connaît le programme de seconde enseigné actuellement ainsi que le niveau moyen des élèves comprendra qu'il s'agit là d'un contenu difficile rendu accessible par la motivation des élèves.

Parallèlement à ce premier thème, un des objectifs pour les élèves est également d'apprendre à utiliser un tableur pour traiter et exploiter une série de mesures. Ainsi que la prise en main de logiciels de géométrie interactive comme outils pour conjecturer.

¹⁰ le thème « la vision » est repris cette année ; l'annexe 4 présente la nouvelle mouture.

ANNEXE 1

UNE " OPTION SCIENCES " EN SECONDE... POURQUOI ?
Extrait du Bulletin Vert de l'APMEP n°429 de juin 2000

Contribution de Jean-Pierre Richeton pour étayer la demande de création d'une option Sciences en classe de Seconde.

Motivations,

ou comment l'APMEP en est venu à cette proposition d'une " option Sciences " que nous¹¹ sommes de plus en plus nombreux aujourd'hui à trouver indispensable et pourquoi il nous semble nécessaire de convaincre l'institution de la mettre rapidement en place...

Quelques constats post-bac...

Dans le supérieur, " on " reproche souvent à nos élèves de manquer d'autonomie, d'être incapables le plus souvent de résoudre un problème s'il n'est pas balisé de *a* à *z*... comme en témoignent ces réactions¹² :

- " *Ils n'ont en général pas compris ce qu'est une démarche scientifique : anticiper, expliquer et comprendre, être rigoureux et contrôler, sont des notions qui leur sont profondément étrangères* "
- " *Le rôle des problèmes comme motivations et raisons d'introduire des idées générales a été transformé en un bricolage sans objectifs et sans bilan théorique (les "activités")* "
- " *Il y a quasi-unanimité pour considérer qu'au lycée, l'enseignement se borne à l'apprentissage d'exercices types, ceux qui sortiront au BAC. Le but des élèves devient de "savoir résoudre" (et non de "comprendre")* "

De même, les enquêtes annuelles menées par l'UPS (Union des Professeurs de Spéciales) montrent que la majorité des "professeurs de prépa" déplore régulièrement chez les élèves entrés en classe PCSI ou MPSI (étudiants issus du baccalauréat S) :

- un manque dans l'acquisition des méthodes de travail (apprendre et mémoriser un cours est chose souvent difficile et comprendre un énoncé ne va pas de soi),
- une lenteur générale des étudiants pour effectuer un travail autonome quand ce n'est pas carrément un manque d'autonomie,
- un manque de maîtrise dans le calcul, même élémentaire (simplification des expressions algébriques, calculs sur les exposants, ignorance de la plupart des formules de trigonométrie, ce que certains attribuent au formulaire du baccalauréat contesté à la quasi-unanimité, ...),
- un manque de maîtrise et de rigueur dans les raisonnements.

En même temps, certains de ces collègues reconnaissent qu'il est parfois difficile de respecter les contenus du programme et qu'ils n'hésitent pas à le contourner pour avoir un cours plus " ramassé " qui *laisse davantage de temps pour la pratique d'exercices et de problèmes...*

Pourtant... que préconisent nos programmes actuels ?

À ce stade, il n'est peut-être pas inutile en effet de rappeler quelques extraits des "objectifs essentiels" communs à toutes les séries qui figurent dans les "anciens" programmes de mathématiques¹³ :

" Entraîner les élèves à l'activité scientifique et promouvoir l'acquisition de méthodes : la classe de mathématiques est d'abord un lieu de découverte, d'exploitation de situations, de réflexion et de débat sur les démarches suivies et les résultats obtenus, de synthèse dégageant clairement quelques idées et méthodes essentielles et mettant en valeur leur portée... "

¹¹ Après une rencontre avec ses dirigeants, l'APMEP a obtenu le soutien de l'UDP (Union Des Physiciens)

¹² Gazette des mathématiciens n°69 - juillet 1996

¹³ encore en vigueur (au moment de la rédaction de cet article) en classes de Premières et de Terminales...

Comment ne pas y souscrire et souhaiter que cela reste dans les futurs programmes ?¹⁴

Plus loin, ces mêmes programmes nous apportent un autre élément de réponse à cette première question du “*pourquoi*” en donnant par le détail **les huit moments de l'activité mathématique**, à savoir :

“*Formuler un problème, conjecturer un résultat, expérimenter sur des exemples, bâtir une démonstration, mettre en œuvre des outils théoriques, mettre en forme une solution, contrôler les résultats obtenus, évaluer leur pertinence au regard du problème posé.*”

Mais en même temps, il faut bien reconnaître que, dans ces mêmes programmes, des commentaires comme : « ... *des indications doivent être données sur la méthode à suivre.* » ou encore « ... *toutes les indications utiles doivent être fournies.* » incitent bien souvent les professeurs à proposer aux élèves des exercices répétitifs sur des thèmes bien ciblés à l'avance... confortés en cela par les sujets du bac qui encore trop souvent *guident les élèves à l'excès.*

On peut certes comprendre que les élèves bénéficient d'indications leur permettant de ne pas rester “*bloqués*” ou leur permettant de pallier une erreur éventuelle aux répercussions disproportionnées un jour d'examen, mais comment cependant ne pas regretter la formulation de certains sujets, qui contiennent la réponse à certaines questions ainsi que *la* (?) méthode à utiliser... de tels énoncés d'examens peuvent être ressentis par une partie de nos élèves comme une véritable “*insulte à leur intelligence*”... tandis que d'autres, “*escrocs malgré eux*”, seront tentés de “*bricoler*” de vagues raisonnements en paraphrasant des énoncés où figure le résultat cherché... Il suffit pour s'en persuader d'ouvrir au hasard des annales de bac...

Alors, il faut bien se poser la question : “ où est la formation à “la capacité à mettre en œuvre une démarche” ? et est-ce là la formation du citoyen tant prônée ? ”

Afin de tenter de répondre aux critiques amont et aval du baccalauréat, dans et hors de l'institution, et dans l'espoir de voir effectivement évoluer les pratiques dans le sens souhaité par les objectifs de nos programmes, une commission baccalauréat de mathématiques, présidée par Paul Attali Inspecteur Général de mathématiques, s'est certes mise en place. Mais en attendant que ses travaux produisent les effets escomptés, et en complément, l'APMEP a jugé indispensable d'aller au-delà... Est-il en effet acceptable que d'un côté les élèves se voient proposer des enseignements complémentaires de détermination vers à peu près toutes les voies de formation (littéraire, artistique, technologique...) alors que de l'autre, les élèves ayant un projet scientifique n'ont aucune possibilité de l'affiner par une option spécifique, et que par ailleurs ceux qui ne sont pas encore complètement déterminés n'ont aucun enseignement scientifique de détermination leur permettant un choix raisonné ?

S'appuyant sur l'expérience du lycée Jean Monnet de Strasbourg, qui a lancé en mai 1997 une “*option scientifique*”, imitée depuis dans d'autres académies, l'APMEP a depuis demandé au Ministre de l'Éducation nationale que, dans tous les établissements, s'ouvre aux élèves intéressés par les sciences une “*option Sciences*” en Seconde incluant mathématiques et sciences expérimentales et qui aurait comme but d'aider les élèves à se déterminer face aux sciences, de favoriser une bonne insertion en classe de premières scientifiques (ES, S, STI, STL...), tout en développant une ouverture plus large au monde scientifique.

L'option scientifique au lycée Jean Monnet de Strasbourg

Mise en place

Après en avoir averti les Collèges de son secteur, l'option scientifique du lycée Jean Monnet de Strasbourg a été **mise en place à la rentrée 1997**. Facultative et ouverte à tous les élèves de Seconde du Lycée, elle se veut répondre à deux souhaits :

- ne pas laisser en reste les voies scientifiques dans ce Lycée, jusque là fortement marqué par le développement des langues,
- renforcer l'enseignement des trois disciplines scientifiques Biologie, Mathématique et Physique en mettant l'accent sur l'éveil à une culture scientifique.

¹⁴ C'est déjà le cas dans les documents d'accompagnement du programme de 2nde qui doit entrer en vigueur à la prochaine de septembre 2000. En géométrie notamment on y trouve en effet : « *Prendre du temps* pour s'adonner à une vraie recherche de problèmes en respectant toutes les étapes relatives à ce type de recherche (conjectures et expérimentations, recherche de preuves, mise en forme d'une démonstration) »

Encadré par les professeurs de mathématiques, de physique et de Sciences de la Vie et de la Terre, cet enseignement s'ajoute aux deux options obligatoires.

La formation qui y est assurée n'est pas un prolongement du cours, mais veut se présenter comme une **ouverture plus large sur le monde scientifique**. Pour chacune des trois matières scientifiques, le professeur assurant l'option sera donc, autant que possible, distinct du professeur ayant en classe entière les élèves suivant l'option, pour éviter des "dérapages" et détourner l'option de son but (qui n'est pas de devenir un "*surentraînement*" à l'assimilation du cours).

Destinée à faire acquérir aux élèves *une culture scientifique*, cette option scientifique se fait sur la base de 3 heures hebdomadaires (une heure dans chaque discipline scientifique) avec pour principaux objectifs :

- de viser à rendre les élèves plus autonomes,
- de leur apprendre à chercher, à "sécher", sur des problèmes "plus ouverts",
- de faire appel à leur imagination, de développer leur créativité...

Pour ce faire, les heures des trois disciplines devront être accolées, par exemple un après-midi de 15 heures à 18 heures, pour permettre de la souplesse dans la gestion de cet horaire entre les professeurs concernés (afin, de temps en temps, de pouvoir donner un peu de densité au contenu de l'option, de permettre des visites de laboratoires, la venue de chercheurs, etc. ...)

En 1997/98

Les réactions des élèves ont été très positives : ils ont dans l'ensemble apprécié d'avoir du temps pour chercher, d'avoir davantage de liberté dans l'organisation de leur travail (méthodes non imposées, choix des exercices...) et de pouvoir travailler à plusieurs en groupe. Seul point négatif pour cette année de "démarrage", tous les élèves suivant cette option étaient en fait issus d'une même classe et dans son intégralité. Outre qu'à 30 élèves ils étaient trop nombreux pour ce type d'enseignement, il s'est avéré en que certains manifestement n'étaient guère motivés.

Cette classe est partie dans les Alpes une petite semaine en fin d'année pour un voyage d'étude de géologie.

En 1998/99 et 1999/2000

Vu le succès en 1997/1998, il y a maintenant deux classes de Seconde qui offrent la possibilité de suivre l'option scientifique. De plus, les effectifs ne dépassent plus 24 élèves dans chaque classe (donc il n'y a plus la classe entière) et les heures étant accolées cela a permis des échanges d'horaires entre collègues pour organiser des visites : musée zoologique, CNRS, planétarium, journée banalisée avec venue d'un chercheur de mathématiques, etc.

Parallèlement, pour assurer la cohérence du projet, les élèves ayant suivi l'option scientifique en Seconde ont pu poursuivre cette expérience en Première S en demandant à suivre l'option officielle "sciences expérimentales" (qui va hélas disparaître...) à laquelle a été ajoutée une heure en mathématiques. Outre les raisons déjà évoquées, cela a pu permettre à certains un choix plus raisonné de l'enseignement de spécialité en terminale S.

Que sont-ils devenus ?

Sur les 30 élèves inscrits en Seconde en "*option scientifique*" en 1997/1998 :

- six élèves ont abandonné l'option à la fin de la Seconde (20%). Aujourd'hui, ils sont tous les six en Terminale :
 - un en Terminale S spécialité math
 - un en Terminale ES spécialité math
 - trois en Terminale L spécialité math
 - un en Terminale STT compta-gestion
- un élève a redoublé sa Seconde mais a continué l'option scientifique. Il est maintenant en Première S et suit toujours cette option (c'est donc sa 3^{ème} année) et, notamment en mathématiques, cela lui a beaucoup apporté (il « venait de loin » et se trouvait perdu pratiquement devant chaque énoncé la première année...).
- 23 élèves ont poursuivi l'option en Première S et sont maintenant en Terminale S dont 10 en spécialité math.

Comme vous pouvez le voir, cette classe de Seconde “*option scientifique*”, créée en 1997/1998, ne peut donc être taxée d’élitiste : tous n’ont pas rallié la soi-disant “*voie royale*” (la série S) sans compter qu’en fin de Première S le choix de la spécialité pour la Terminale S s’est fait en meilleure connaissance de cause. Enfin, cette année encore, un redoublant en Seconde s’est réinscrit en option scientifique... Chaque année des élèves demandent à suivre l’option scientifique de Première S sans avoir suivi l’option en Seconde sans que cela ne pose problème. Voilà de quoi rassurer les uns et les autres : non il n’est pas nécessaire de suivre l’option pour faire Première S (la grande majorité de nos élèves en Terminale S cette année n’a pas suivi l’option scientifique), non il n’est pas nécessaire de l’avoir suivie en Seconde pour la suivre en Première S... Eh oui, on accepte des redoublants lorsqu’ils sont motivés pour les sciences.

Comparez maintenant avec les sections d’élite des grands lycées où tous vont en S (même pour les littéraires, les “*très bons*”, bien sûr...), dans la même classe de la Seconde à la terminale, sauf en cas de redoublement où l’on doit alors quitter cette classe d’élite, etc....avec pour but affiché d’aller en prépa (scientifique ou littéraire) pour la quasi-totalité des élèves !!!

... / ...

Quant au risque que les élèves ne s’investissent plus que dans ce genre de “*situation-problème*”, il n’est à craindre que dans une première phase. Les élèves découvrent en effet très vite l’intérêt de posséder une “*boîte à outils [mathématiques]*” convenablement remplie et cela a souvent permis, bien au contraire, soit d’en motiver leur apprentissage soit d’en apporter une meilleure compréhension.

Enfin, il ne faudrait pas mésestimer non plus l’importance qu’il y a à donner à nos élèves une autre image des Sciences...

... / ...

Alors donnons-leur la possibilité de ne pas en rester uniquement au stade de la grammaire et de l’orthographe, et permettons leur de goûter aux joies de la poésie¹⁵...

Quant à dire que cette option pourrait être détournée de son but pour recréer une Seconde C, il faut espérer vous avoir convaincus que telle n’est pas notre intention, au lycée Jean Monnet ni à l’APMEP, et que de toute façon c’est un faux procès car cela se fait hélas déjà sans avoir besoin de cette option !!! D’autre part, on ne voit pas pourquoi non plus on devrait priver nos élèves¹⁶ de pouvoir satisfaire leur appétit des sciences sous prétexte que certains font n’importe quoi !

Nous espérons au moins que vous ne douterez plus des intentions qui nous ont poussé à lancer cette option et qui nous poussent à la défendre. Il faudrait tout de même savoir ce que l’on veut et arrêter de faire des complexes quant on défend les sciences [et les mathématiques en particulier] ! Et si cela amène certains élèves à mieux réussir que d’autres, ce sera tout de même mérité car ces élèves s’astreignent à 3 h de plus sans compter le travail personnel qui est souvent considérable ! Ainsi, l’an dernier, un élève a eu le 1^{er} prix au rallye de mathématiques d’Alsace : nous disons tant mieux et bravo, même si ce n’est pas le but premier de cette option, mais il est presque inévitable que cela amènera des réussites à court ou à moyen terme et cela doit plutôt nous réjouir que nous complexer¹⁷, il me semble...

Sans compter que *l’option Sciences* que nous proposons en Seconde peut :

- sauver de l’ennui certains élèves scientifiques à leur arrivée au lycée...
- permettre à des établissements de bassins défavorisés d’élargir leur offre d’options et de garder des élèves qui, sans cela, les auraient fuis... C’est en effet dans dans un tel établissement, le lycée JEAN MONNET de STRASBOURG¹⁸, que l’option Sciences a été pensée et implantée à l’origine : ainsi, la présenter comme une option élitiste pour les lycées “*des beaux quartiers*” est un contresens !

¹⁵ Dans son texte de présentation de la voie S de janvier 2000, le GTD de mathématiques semble partager cet avis. Ainsi, dans le paragraphe “**2. Quelques objectifs généraux pour la voie S**”, on trouve notamment : “favoriser le travail personnel des élèves et donner le goût des problèmes consistants ou non entièrement balisés (peut-on imaginer un enseignement littéraire qui s’arrêterait à l’étude des règles grammaticales ?)”

¹⁶ de banlieue en ce qui concerne le lycée Jean Monnet, nous tenons à le préciser puisque “certains” étaient persuadés que c’était un option d’un lycée “prestigieux” de Strasbourg...

¹⁷ Sinon, en caricaturant à peine, nous avons parfois l’impression que les “réticents” seraient prêts à concéder cette option à condition qu’elle ne serve pas... Un comble non ? ! !

¹⁸ Tout comme le lycée Mas de Tesse de Montpellier (note rajoutée le 28/03/06)

ANNEXE 2

Le collectif ACTION SCIENCES propose un enseignement de détermination « Démarche et culture en sciences » en classe de Seconde

C'est à l'issue de la classe de Seconde que les lycéens font le choix d'une section. Cette étape est donc décisive pour l'orientation vers la filière S, puis vers l'enseignement supérieur scientifique. Pour choisir les sciences à bon escient, les élèves doivent être en mesure de percevoir l'intérêt de la voie scientifique, de comprendre l'esprit de la filière qu'ils choisiront et, pour cela, de s'essayer aux démarches qui lui sont spécifiques. L'appellation de « classe de détermination » confirme ce point de vue. Il se trouve que les enseignements de détermination actuellement offerts en Seconde relèvent largement des langues vivantes ou anciennes et des arts. Certains peuvent être associés à des projets d'orientation vers les voies technologiques (BLP, ISI, MPI, PCL...) ou vers la voie scientifique (MPI, PCL) mais ils restent monodisciplinaires.

Aucun d'entre eux n'est aujourd'hui associé à la culture scientifique au sens large. Un enseignement de détermination « Démarche et culture en sciences » serait pourtant apte, à côté des enseignements de détermination déjà existants, à accroître le nombre des élèves faisant le choix d'une voie générale scientifique et en particulier le nombre des filles.

En effet, si l'enseignement de Seconde dans les trois disciplines scientifiques, mathématiques, sciences de la vie et de la Terre et physique-chimie s'efforce de donner à chaque lycéen un bagage destiné à faire de lui un citoyen responsable, il n'est pas suffisamment tourné, faute de temps, vers un enseignement différent des sciences qui pourrait

- s'inscrire à la suite des démarches pluridisciplinaires impulsées au collège,
- montrer la spécificité et la globalité de la démarche scientifique,
- souligner la portée des problématiques scientifiques.

Pour que les élèves qui le souhaitent aient davantage le temps d'expérimenter cette démarche, le collectif propose la création d'un enseignement de détermination interdisciplinaire « Démarche et culture en sciences ». Constitué d'un bloc hebdomadaire de trois heures consécutives impliquant également les professeurs de mathématiques, sciences physiques, sciences de la vie et de la Terre, il s'appuie sur les connaissances des élèves sans apport théorique spécifique, de façon à ne pas pénaliser ceux qui choisiront de se diriger vers la section S sans l'avoir suivi. Cet enseignement de détermination n'est donc pas un critère pour le passage en première S. Il est uniquement axé sur la recherche, l'expérimentation, la lecture et la production de textes scientifiques, composantes essentielles de la démarche mathématique comme des sciences expérimentales et vise d'abord à promouvoir une image des sciences dynamique et motivante. L'évaluation des élèves privilégie les progrès dans la maîtrise des méthodes et l'acquisition des compétences propres aux disciplines scientifiques.

Seul enseignement de détermination à impliquer trois professeurs de disciplines différentes, cet enseignement de détermination peut être le lieu privilégié d'activités interdisciplinaires scientifiques. Il assure ainsi une transition vers les Travaux personnels encadrés (TPE).

Cet enseignement a déjà été expérimenté avec succès dans plusieurs établissements et les réactions très favorables des élèves qui s'y pressent montrent qu'il répond manifestement à une attente.

Il est facile à mettre en œuvre, parce qu'il s'appuie sur trois disciplines à la fois, bien implantées dans les lycées et, partout où il est mis en place, il facilite grandement le saut difficile entre la classe de Seconde et la classe de Première S : les élèves y ont appris l'autonomie et le plaisir de chercher. Nous constatons en effet que l'entrée en Première S est un choc redoutable pour beaucoup d'élèves ; c'est parce qu'ils le craignent que beaucoup se détournent de la section S.

Quant aux quelques élèves qui, à l'issue de cet enseignement, ont choisi une autre section, ils en tirent profit eux aussi, en ayant désormais un autre regard, plus positif, sur les sciences.

Cette mesure peu coûteuse n'alourdit pas le volume horaire des classes de Seconde puisque tous les élèves suivent en Seconde un enseignement de détermination obligatoire.

Objectifs de l'enseignement de détermination « Démarche et culture en sciences » :

- Inciter au choix de la série scientifique en donnant, au-delà des clivages disciplinaires, plus de sens à l'enseignement des sciences et en montrant comment les sciences sont impliquées tant dans la culture (élaboration de la pensée et du discours scientifique) que dans l'approche interdisciplinaire de situations concrètes ou de problèmes de société.
- Mettre les élèves en situation de recherche, d'expérimentation, de réussite et d'acquisition d'autonomie dans la perspective des TPE.
- Approfondir la démarche scientifique. Mettre en œuvre un rapprochement de démarches issues des divers champs disciplinaires : on pourrait imaginer « un seul cahier » pour les trois disciplines impliquées dans cette option.
- Réduire le “saut” méthodologique et conceptuel entre 2nde et 1^{ère} S.

Modalités :

- Bloc de 3heures consécutives impliquant également les professeurs des trois disciplines scientifiques (mathématiques, physique-chimie et sciences de la vie et de la Terre).
- N'est pas un critère pour le passage en 1^{ère} S.
- Pas de programme spécifique mais un cadrage national concernant les objectifs, les méthodes, les compétences à développer.
- Axé sur le questionnement, l'initiative, l'expérimentation, la culture scientifique, l'histoire des sciences...
- Groupes à effectif réduit.

Un tel enseignement a déjà été proposé dans quelques lycées, notamment le Lycée Jean Monnet de Strasbourg (cf. Pourquoi une « option Sciences » en seconde, bulletin de l'APMEP n°429, mai-juin 2000). Les Rectorats de Caen et Montpellier ont décidé d'ouvrir cet enseignement de détermination pour quelques classes à la rentrée 2004 et d'autres à la rentrée 2005.

ANNEXE 3

FICHE D'INFORMATION SUR LES « OPTIONS SCIENCES » EN CLASSE DE SECONDE (fiche d'information et de cadrage rédigée par J.-P. Richeton à la demande de l'inspection académique de Montpellier)

QU'EST-CE QU'UNE “OPTION SCIENCES” ?

C'est un enseignement de détermination proposé aux élèves lors de l'inscription en classe de 2nde, dans le cadre d'une expérimentation académique. L'ouverture est subordonnée à une demande de l'établissement et à l'accord de son conseil d'administration.

Cet enseignement est destiné à donner aux élèves le “goût” des sciences, de manière pluridisciplinaire. Il doit donc former à la démarche scientifique, en cherchant à développer des qualités telles que l'organisation, l'autonomie, l'initiative et l'imagination, tout en présentant les sciences de façon intéressante et motivante. L'implication d'enseignants de plusieurs disciplines dans le projet (mathématiques, sciences de la vie et de la terre et physique-chimie, à minima) permettant de croiser des approches sur des situations concrètes, des mises en situation de recherche ou des problématiques locales.

À QUI S'ADRESSE-T-ELLE ?

Aux élèves intéressés par les sciences, mais pas forcément déjà déterminés ou passionnés. Il s'agit de permettre aux élèves de s'orienter de manière positive vers les sciences ou, s'ils ne se dirigent pas vers des études scientifiques, d'avoir une image positive de la science et une véritable “culture scientifique” comme futurs citoyens. Les statistiques tendent à prouver que c'est du côté des jeunes filles que le déficit d'inscription vers les carrières scientifiques est le plus criant. Cette option pourrait être l'occasion d'affermir un projet et de convaincre des familles pas toujours décidées à engager leurs enfants vers des études réputées difficiles.

COMMENT ORGANISER L'OPTION SCIENCES ?

L'option est organisée de manière concertée par les professeurs des trois disciplines, sur un bloc hebdomadaire de 3h élèves, de préférence consécutives. Les élèves doivent être en effectifs réduits lors des activités qui le nécessitent. Il est souhaitable que les interventions des enseignants soit programmées à l'année afin de permettre, certaines semaines, des activités (sorties, visites, conférences) étalées sur les 3 heures.

Le programme de l'option repose sur la mise en situation, une démarche de projet ou de résolution de problèmes, l'élaboration et le suivi d'expériences, des travaux sur le terrain, la recherche et le traitement de l'information et la rencontre de personnes ressources dans leur contexte d'action ou sous forme de tables rondes et de conférences. Le projet est transmis aux corps d'inspection pour avis.

Des partenariats seront établis avec des établissements d'enseignement ou de recherche, des établissements publics, des collectivités locales ou des associations agréées.

L'évaluation des élèves sera facilitée par la tenue d'un cahier ou classeur unique de l'option, ainsi que l'établissement d'une note unique et d'une appréciation de l'équipe des professeurs de l'option figurant sur le bulletin trimestriel.

Une évaluation du dispositif est effectuée chaque année par les inspecteurs des disciplines concernées, afin de vérifier que les intentions sont bien respectées.

ANNEXE 4**SÉQUENCE D'INTRODUCTION DU THÈME : LA VISION**

Cette séquence d'une durée de trois heures réunit les deux groupes d'élèves inscrits en option Sciences en présence des deux équipes de professeurs (SVT, Math, SPC) :

- Dans un premier temps (environ 2h), différentes expériences sont présentées aux élèves dans une salle de cours de Sciences Physiques. Il leur est demandé d'observer et de représenter ce qu'ils voient puis d'en tirer des constats et/ou des questionnements. En fin de cette séquence le thème devra être "découvert" par les élèves.
- Dans un deuxième temps, une fois le thème "dévoilé", un diaporama sur des illusions d'optique et anamorphoses est projeté au laboratoire de Mathématiques.

Les expériences retenues cette année présentent des illusions d'optique en relation avec le phénomène de réfraction de la lumière (notion qui figure dans le programme du tronc commun en sciences physiques). Nous avons prévu d'utiliser un certain nombre de constats ou questions des élèves lors de cette séance d'introduction pour travailler dans les séances à venir. Une expérience aura pour but d'introduire la notion de perception des couleurs par l'œil.

Les points que nous souhaitons aborder dans les prochaines séquences sont :

- Mise en évidence de la loi de la réflexion, champ du miroir plan en physique en relation avec les mathématiques où seront abordés la réflexion et les problèmes de symétrie.
- Pour la réfraction la loi ne sera pas établie (c'est le tronc commun) mais elle sera donnée et utilisée pour interpréter les illusions observées en sciences physiques. Parallèlement en mathématiques les illusions d'optiques seront également abordées (anamorphoses....)
- En SVT la dissection de l'œil permettra de comprendre le fonctionnement de l'œil qui sera modélisé en sciences physiques sur un banc d'optiques avec des lentilles. On envisage d'évoquer conjointement les défauts de vision et d'étudier les modes de corrections.
- Un travail bidisciplinaire (SVT/PC) est également prévu pour traiter de la vision des couleurs.

Toutes ces pistes sur lesquelles on souhaite faire réfléchir et travailler les élèves ont été définies en concertation lors de la première séance d'option où nous nous sommes réunis pendant 2 heures en l'absence des élèves.

➤ Expérience n°1 : la paille dans le verre d'eau

- On remplit un verre d'eau, on met à l'intérieur une paille avant que les élèves n'entrent en classe. On leur demande de regarder la paille au niveau de la surface de l'eau : elle semble brisée. Pourtant si on la sort de l'eau elle est intacte...
- On peut faire la même expérience en plaçant une latte rigide dans un aquarium et ne regardant au dessus de la surface de l'eau.



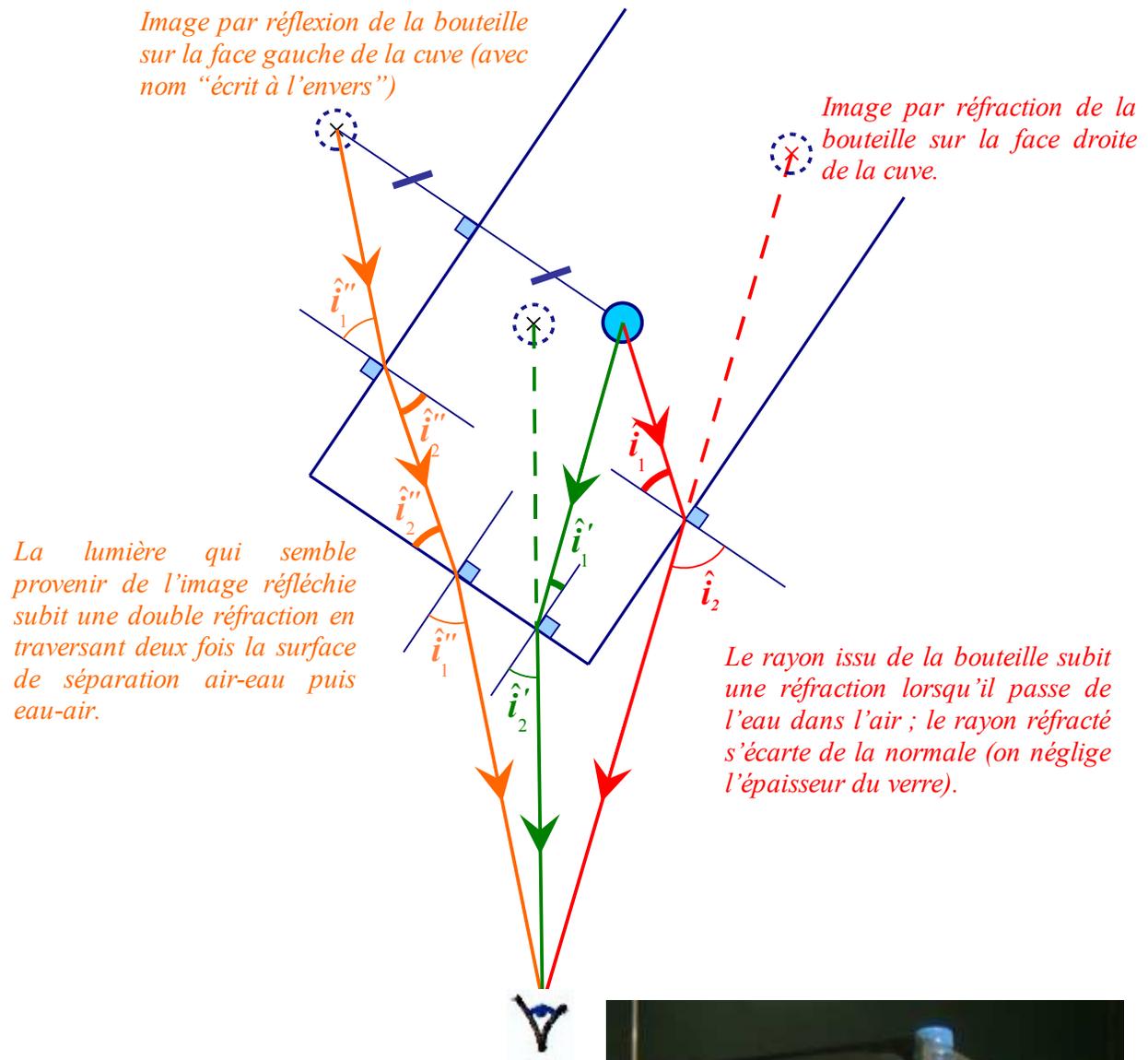
➤ Expérience n°2 : la bouteille dans l'aquarium



Le trajet de la lumière donne l'illusion de voir 3 bouteilles.

Le schéma d'interprétation ci-dessous sera un des objectifs visés dans une séquence de Sciences Physiques.

Schéma permettant d'expliquer les 3 images observées de la bouteille de Vichy St.Yorre dans une cuve remplie d'eau.

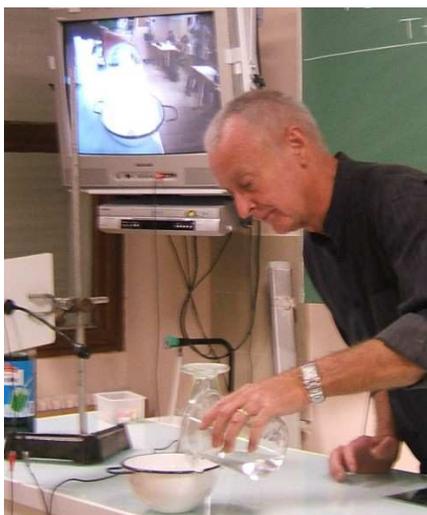


➤ Expérience n°3 : la pièce "magique"

- Une caméra vidéo est reliée à une télévision grand écran [ou une Webcam reliée à un ordinateur et un vidéo projecteur] : elle joue le rôle de l'œil.
- On place dans le champ de vision de la caméra un bol contenant, par exemple, une pièce de 1 euro.
- On écarte le bol de sa position initiale afin que la pièce disparaisse de l'écran.



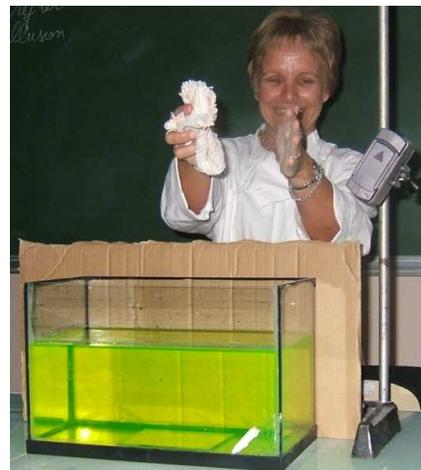
- En ajoutant de l'eau dans le bol, la pièce devient à nouveau visible...



➤ **Expérience n°4 : trajet d'un faisceau laser dans une cuve d'eau**

Afin de permettre de dresser des constats qui permettront d'interpréter la "magie" des expériences précédentes on réalise l'expérience suivante :

- Un faisceau laser tombe à la surface d'un aquarium avec un angle d'incidence \hat{i} . On demande aux élèves de schématiser et d'expliquer ce qu'ils voient.
- Puis on ajoute un miroir plan au fond de l'aquarium et on leur demande de compléter sur leur schéma le trajet du faisceau lumineux.



Constat : Il faut beaucoup de temps pour qu'une majorité d'élèves dessine correctement le trajet de la lumière...

Après discussion entre élèves, entre professeurs et élèves on attend qu'ils formulent trois constats :



- Quand la lumière arrive à la surface de séparation de deux milieux, une partie importante de la lumière pénètre dans le deuxième milieu et une petite quantité de lumière est renvoyée dans le milieu d'origine.
- Au changement de milieu air/eau ou eau/air le faisceau lumineux subit un brutal changement de direction. C'est l'enseignant qui donnera le nom du phénomène : **RÉFRACTION**. Quelques élèves observeront peut-être que la déviation s'effectue "en sens inverse" quand on passe de l'air dans l'eau (le rayon se rapproche de la verticale) ou de l'eau dans l'air (le rayon s'écarte de la verticale) ? la formulation sera de toutes manières difficile pour un élève.
- Sur une surface réfléchissante la lumière est totalement renvoyée dans le milieu d'où elle vient.

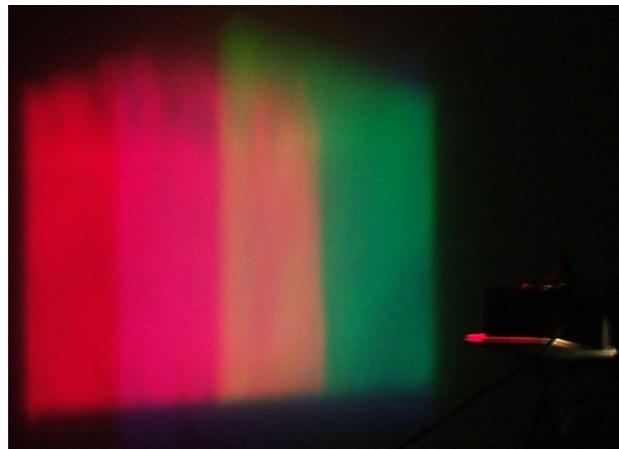
➤ **Expérience n°5 : synthèse additive trichrome**

[Bien entendu le nom de l'expérience n'est pas donné aux élèves]

- On utilise une lanterne et trois filtres de couleurs rouge, vert et bleu.



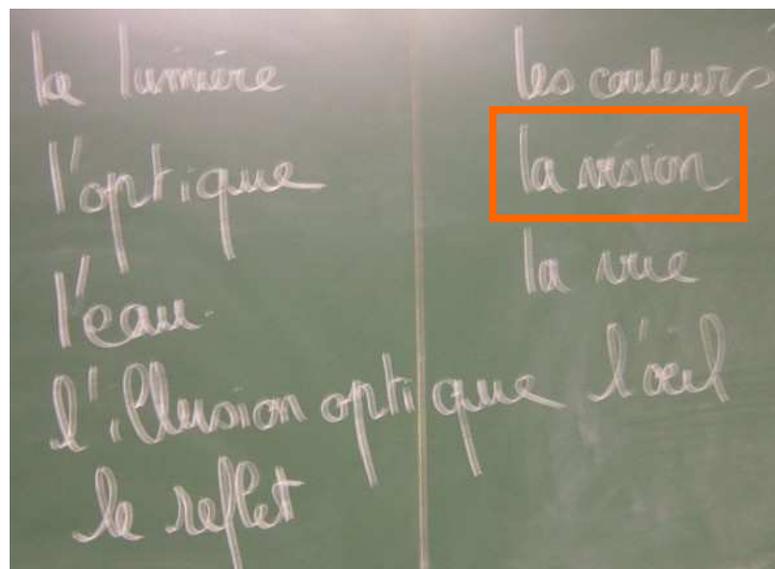
- On visualise chaque couleur séparément, puis on superpose les trois couleurs de manière à ce que l'œil perçoive les trois couleurs primaires (R, B, V), les trois couleurs secondaires (Jaune, Cyan, Magenta) et le blanc.



Cela doit conduire les élèves à se demander pourquoi l'œil voit ces couleurs, donc comment s'effectue le mécanisme de la vision des couleurs.

« Alors quel est le 1^{er} thème retenu pour cette année en option Sciences au lycée MAS DE TESSE alias Jules GUESDE ? »

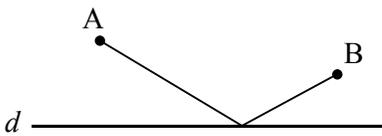
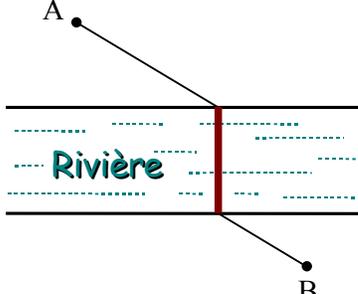
Réponses ci-contre :



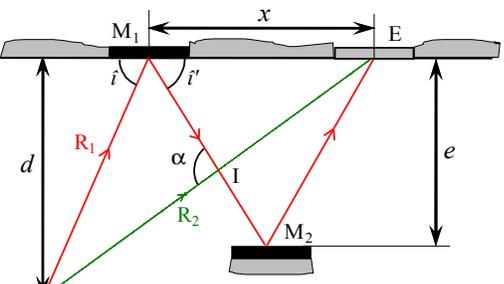
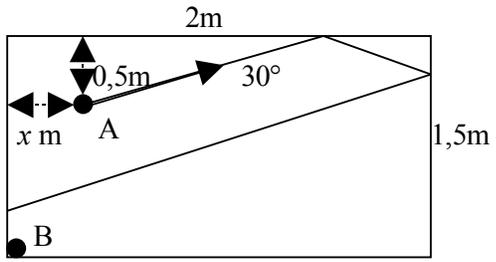
ANNEXE 5**DOCUMENTS ÉLÈVES : THÈME LA VISION****Fiche I****Réflexion**

Quelques questions autour des notions de plus court chemin, d'incident, réfléchi, réfracté, angle de vision...

Étude 1. Traiter les deux exercices suivants

	<p>1. Quel est le "Chemin" minimum pour aller de A à B en passant par un point de la droite d ?</p>
	<p>2. Où mettre un pont pour que la route reliant A à B soit la plus courte possible ? (en supposant que la rivière a partout la même largeur et que le pont est perpendiculaire aux rives)</p>

Étude 2. Traiter au choix un des deux exercices suivants

	<p>3. M_1, M_2, sont deux miroirs, S est une source lumineuse et E un écran. R_1 et R_2 sont des rayons lumineux émis par S dont les trajets sont différents mais qui parviennent en un même point sur E. On connaît :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'angle incident $i = 60^\circ$, • les distances $d = 10\text{m}$ et $e = 7\text{m}$. <p>Déterminer la longueur des deux rayons lumineux.</p>
	<p>4. La figure représente un billard et deux boules A et B. Où faut-il placer la boule A pour qu'elle vienne percuter la B qui est dans le coin ? Quelle sera la longueur du trajet parcouru par la boule A ?</p>

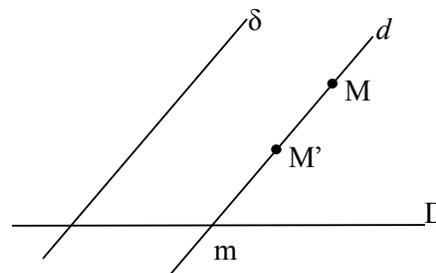
Fiche IITransformations déformantes

Quelques procédés classiques permettant d'obtenir une image déformée d'un dessin, d'une image.

Étude 1. L'AFFINITÉ.

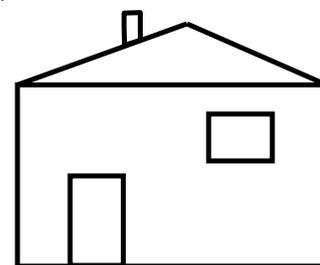
Donnons nous une droite D , une direction δ non parallèle à D et un nombre k non nul.

Soit un point M du plan, désignons par d la droite de direction δ passant par M et par m son intersection avec D . On appelle affinité la transformation qui à tout M associe le point M' de d défini par : $mM' = k \cdot mM$. Si k est positif, M' est entre m et M et si k est négatif, m est entre M' et M .



Exercice. Reproduire et transformer par affinité les figures suivantes.

- 1) La figure est un carré, D est un de ses côtés, δ est une de ses diagonales, $k = -1$.
- 2) La figure est un rectangle, D est un de ses côtés, δ est une de ses diagonales, $k = 0,5$.
- 3) La figure est un cercle, D est un de ses diamètres, δ est un diamètre perpendiculaire à D , $k = 0,5$.
- 4) La figure est "la maison" représentée ci-contre, D est la droite représentant le sol et δ est une des diagonales de la porte.

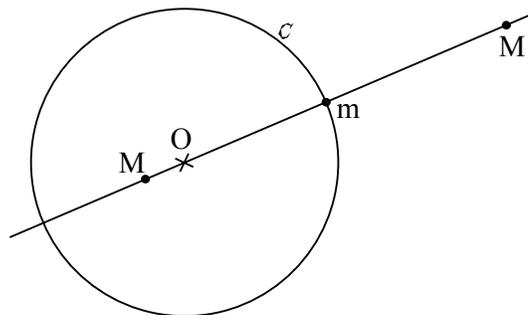


Question. L'affinité conserve-t-elle l'alignement ? Conserve-t-elle des proportions ? Si oui lesquelles ? Pourquoi ?

Étude 2. LA SYMÉTRIE PAR RAPPORT À UN CERCLE.

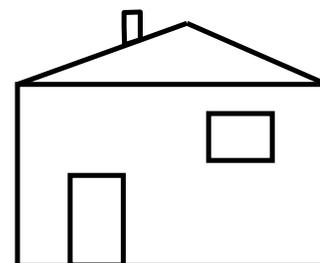
Donnons-nous un cercle c de centre O .

Soit un point M du plan, désignons par d la demi-droite $[OM)$ et par m l'intersection de C et de d . On appelle symétrie par rapport à un cercle la transformation qui à tout M associe le point M' de d symétrique de M par rapport à m .



Exercice. Reproduire et transformer par affinité les figures suivantes.

- 1) La figure est un cercle, c est un cercle de même centre et de rayon inférieur.
- 2) La figure est un carré (avec ses diagonales), c est le cercle circonscrit.
- 3) La figure est un carré (avec ses diagonales), c est le cercle inscrit.
- 4) La figure est "la maison" représentée ci-contre, D est la droite représentant le sol et δ est une des diagonales de la porte.



Question. La symétrie par rapport à un cercle. conserve-t-elle l'alignement ? Conserve-t-elle des proportions ? Si oui lesquelles ? Pourquoi ?

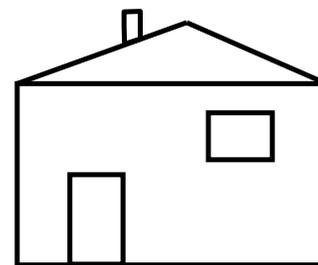
Fiche III**Anamorphoses**

Une anamorphose est une image déformée qui retrouve ses proportions d'origine quand on la regarde sous un certain angle ou réfléchi dans un miroir adapté. Voici quelques exemples d'anamorphoses "miroir".

Étude 1. ANAMORPHOSE OBLIQUE

Exercice. Créer deux anamorphoses obliques de la figure ci-contre.

Question. Ces anamorphoses conservent-elles l'alignement ? Conservent-elles des proportions ? Si oui lesquelles ? Pourquoi ?

**Étude 2.** ANAMORPHOSE CONIQUE

ANNEXE 6**PRODUCTION ÉLÈVE : EXEMPLE DE COMPTE-RENDU À MI-PARCOURS**

Barème :

Problème Chronologie	Dossier						Activité investissement	Total
	Eléments de réponse	Conjectures identifiées	Eléments de preuve	Cabri /Géo plan	Démarche Scientifique	Note		
2	3	2	4	1	2	14	6	20

Isac
Arnold
Avalon
 $2 = 8$

COMpte-REndu d'OPTION SCIENCES
EN MATHÉMATIQUES

27/11

1^{ère} partie
Quelques parties un peu "scolaires" cependant :
• ce qui se sert de certaines conjectures
• certaines démonstrations "classiques".

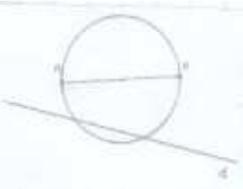
Thème :
Comment contourner un objet quelconque à l'aide d'un faisceau lumineux et de miroirs. L'objectif est de minimiser la longueur du trajet parcouru par le faisceau ainsi que le nombre de miroirs.

1^{er} étape
Exercice : trouver le chemin le plus court pour aller d'un point A à un point B situés du même côté d'une droite et passant par un point de cette droite.

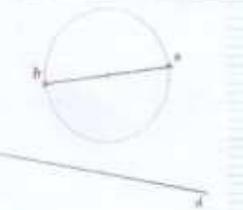


Démarche : on part du point A, on va jusqu'à la droite d et on rebondit vers le point B.

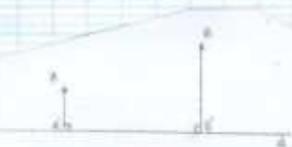
Conjecture : on trace ~~un~~ ^{le} cercle \mathcal{C} de diamètre $[AB]$.
Il coupe la droite d en deux points que nous pensons solutions du problème posé.



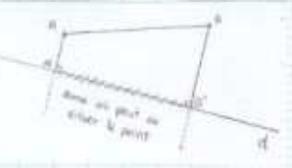
Cependant, si on change la figure et que l'on trace par exemple la droite d un peu plus éloignée des deux points, alors le cercle \mathcal{C} ne coupe pas la droite d . Donc la conjecture est fautive.



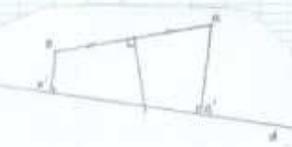
Conjecture : on trace les perpendiculaires à d passant par A et B, on nomme ces intersections A' et B' .



Remarque : on peut alors dire que le point recherché se trouve entre A' et B' .
 \Rightarrow justifié



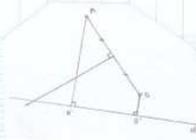
Conjecture : on trace la médiatrice de la droite $A'B'$, elle coupe la droite d et entre A' et B' .



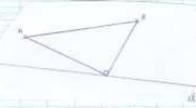
Suite du Compte rendu de Tralho

KSSAO Jade
BOUSNOU Amélie
XITOU Amélie

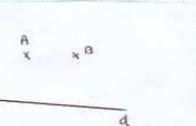
Cependant, si on change la figure, la médiatrice ne coupe plus la droite d'entre A' et B'.
Donc la conjecture est fautive.



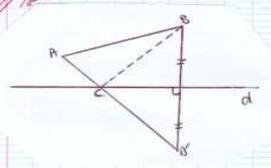
Conjecture: on relie les points A et B à la droite d en formant un angle droit.



Cependant, si on éloigne ou on rapproche les points A et B, on ne pourra pas tracer d'angle droit.
Donc la conjecture est fautive.



qu'est-ce que ça veut dire cette solution??



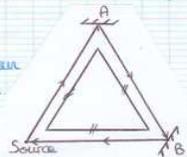
Solution:
La solution est de tracer la symétrique de B par rapport à la droite d. On nomme ce point B'. La droite AB coupe la droite d en un point C. ACB forme le chemin le plus court.

!! démonstration??

2^e étape

1) Nous avons tout d'abord essayé de contourner un triangle équilatéral en suivant les côtés.

Remarque: pour cela il fallait deux miroirs sur lesquels se réfléchissait une fois le rayon laser. (Light Amplification Stimulated Emission of Radiation).



Enfin on a essayé de contourner un cercle avec:
- un carré
- un triangle
- un hexagone

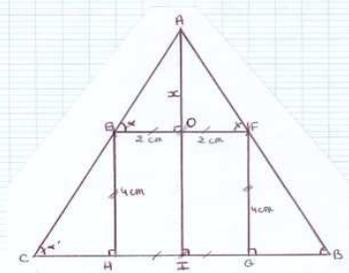
On peut contourner un cercle avec toutes les figures géométriques.

Remarque: Plus on met de miroirs, moins le périmètre du LASER est différent du périmètre de l'objet.

On crée alors une figure sur CabriGéomètre (logiciel de Mathématiques): un triangle quelconque contourné par un faisceau lumineux: on remarque alors que c'est quand le triangle est isocèle que le périmètre du faisceau lumineux est le plus court, et donc si se rapproche le plus du périmètre du triangle.

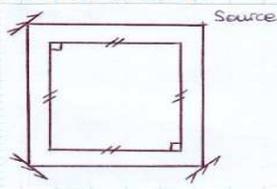
C'est un peu bref

3^e étape: On trace un carré de 4 cm de côté que l'on contourne avec un triangle isocèle.



2) Nous avons ensuite fait de même avec un carré

Remarque: on a besoin de trois miroirs sur lesquels se réfléchissent une fois le faisceau lumineux (LASER).

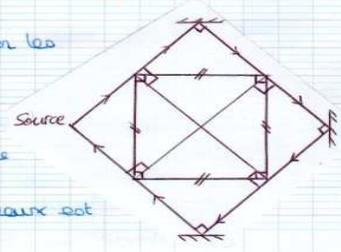


3) Donc, on a ensuite continué avec 5, 6, 7... angles, en faisant à chaque fois des dessins à main brie et on a remarqué:

angle(s)	miroir(s)
3	4
4	5
5	6
6	7
7	8
8	9

Donc, chaque fois qu'il y a un angle de plus dans la figure il faut un miroir supplémentaire.

Puis on a essayé de tracer les faisceaux lumineux sans suivre les côtés de la figure. Le faisceau est perpendiculaire aux diagonales du carré. L'intersection de deux faisceaux est l'endroit du miroir.



D'après le théorème de Pythagore, dans le triangle AOE rectangle en O, on a:

$$AO^2 + OE^2 = EA^2$$

$$x^2 + 2^2 = EA^2$$

$$x^2 + 4 = EA^2$$

$$EA = \sqrt{4 + x^2}$$

Sur essayer de trouver le périmètre de ABC, on calcule AC:

D'après le théorème de Thalès:

$$\text{on a: } \frac{x}{x+4} = \frac{\sqrt{4+x^2}}{AC}$$

$$AC = \frac{\sqrt{4+x^2} \times (x+4)}{x}$$

Comme le triangle ABC est isocèle, on a:

$$AC = BA = \frac{\sqrt{4+x^2} \times (x+4)}{x}$$

Calculons BC:



$$BC = 4 \times \frac{x+4}{x}$$

$$\text{Périmètre}_{ABC} = \left(\frac{\sqrt{4+x^2} \times (x+4)}{x} \right) \times 2 + 4 \times \left(\frac{x+4}{x} \right)$$

A l'aide de la calculatrice, on cherche la valeur de x pour que le périmètre du triangle soit le plus petit.

On trouve :

valeur de x	Périmètre ABC
3,67	25,8296396266

Pour trouver cette solution, on a procédé à diverses étapes à l'aide de la calculatrice :

- on appuie la touche $[Y=]$, puis dans Y_1 , on tape la valeur du périmètre ABC.

- Pour quitter : $[2nd]$, $[MODE]$

- On appuie ensuite sur $[2nd]$, $[WINDOW]$ à TblStart (ou TblMin) on tape 3,64 et à ΔTbl on tape 0,1 puis ensuite 0,01 pour plus de précision.

- pour quitter : $[2nd]$, $[MODE]$

- on tape ensuite sur les touches $[2nd]$ puis $[GRAPH]$, les mesures de Y_1 en fonction de x s'affiche.

On cherche la valeur de x qui correspond au plus petit périmètre possible.

On relève le premier nombre de la liste correspondant à la valeur minimum du périmètre de ABC, soit $Y_1 (25,83)$

- En appuyant sur la flèche en direction de la droite, on observe les valeurs de Y_1 avec une précision de deux chiffres après la virgule. On recherche la valeur de Y_1 (périmètre ABC) la plus petite, on trouve $x = 3,67$

pour $Y_1 = 25,8296396266$

Le périmètre de ABC le plus petit possible est donc de 25,83 (arrondi au centième).

On cherche l'angle α' . On sait que les angles α et α' sont correspondant donc ils sont égaux.

$$\text{on a : } \tan \alpha' = \frac{x}{2} \approx \frac{3,67}{2} \approx 61,41^\circ$$

Donc l'angle α et l'angle α' mesurent 61° environ.

\rightarrow Commentaire ?

ANNEXE 7

DOCUMENT PROFESSEUR : contourner un carré de côté 4 cm par un rayon lumineux à l'aide de miroirs

1° Première conjecture : le nombre minimum de miroirs est deux !

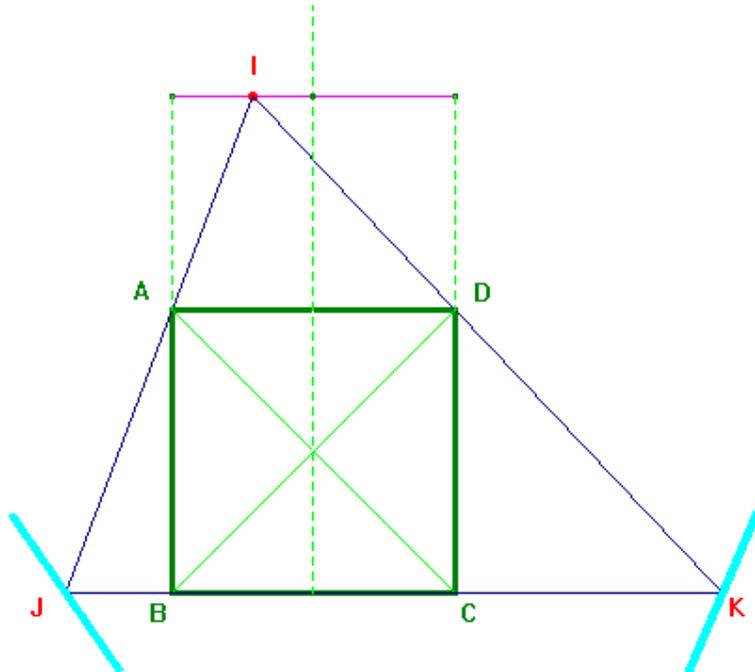
2° Conjectures suivantes :

- Le rayon doit longer l'un des côtés (ici par exemple le côté [BC])
- En **fixant la distance de la source lumineuse I au côté [AD]**, on obtient le trajet minimum lorsque cette source se trouve sur la médiatrice de ce côté (axe de symétrie du carré)

→ [fichier Cabri-géomètre](#)



cont.carré dist. fixe.fig
Cabri-géomètre II Figure
8 Ko



3° Partant de ces conjectures (qui sont donc admises), il est possible d'exprimer la longueur du rayon (IJ + JK + KI) en fonction d'une variable de notre choix :

- une longueur : par exemple la distance x , en cm, de I au côté [AD],
- ou un angle : par exemple la mesure α de l'angle IJK.

On obtient une **fonction** dont on peut chercher une valeur assez précise du minimum grâce au tableur de la calculatrice ou grâce à un tableur comme Excel...

→ fichier Geoplan [contourner un carré](#)



cont.carré.g2w
Fichier G2W
3 Ko

[pour obtenir la représentation graphique, passer en mode trace  en faisant varier la position du point I – la possibilité d’obtenir la courbe représentative de la fonction P définie ci-dessous est également prévue en appuyant sur la touche T...]

→ Soit d la distance de I au côté [AD],

On a : $a^2 = x^2 + 2^2 = x^2 + 4$, d'où : $a = \sqrt{x^2 + 4}$

Le périmètre du triangle IAD “en fonction de x ” est donc $p(x) = 4 + 2\sqrt{x^2 + 4}$. Or le triangle IJK est un agrandissement du triangle IAD car $(AD) \parallel (JK)$.

La hauteur issue de I dans le triangle IJK a pour longueur $x + 4$ alors que celle du triangle IAD a pour longueur x .

En appliquant le théorème de Thalès à ces deux triangles, on obtient donc : $\frac{IJ}{IA} = \frac{x+4}{x}$, d'où l'on

déduit : $IJ = \frac{x+4}{x} \quad IA$.

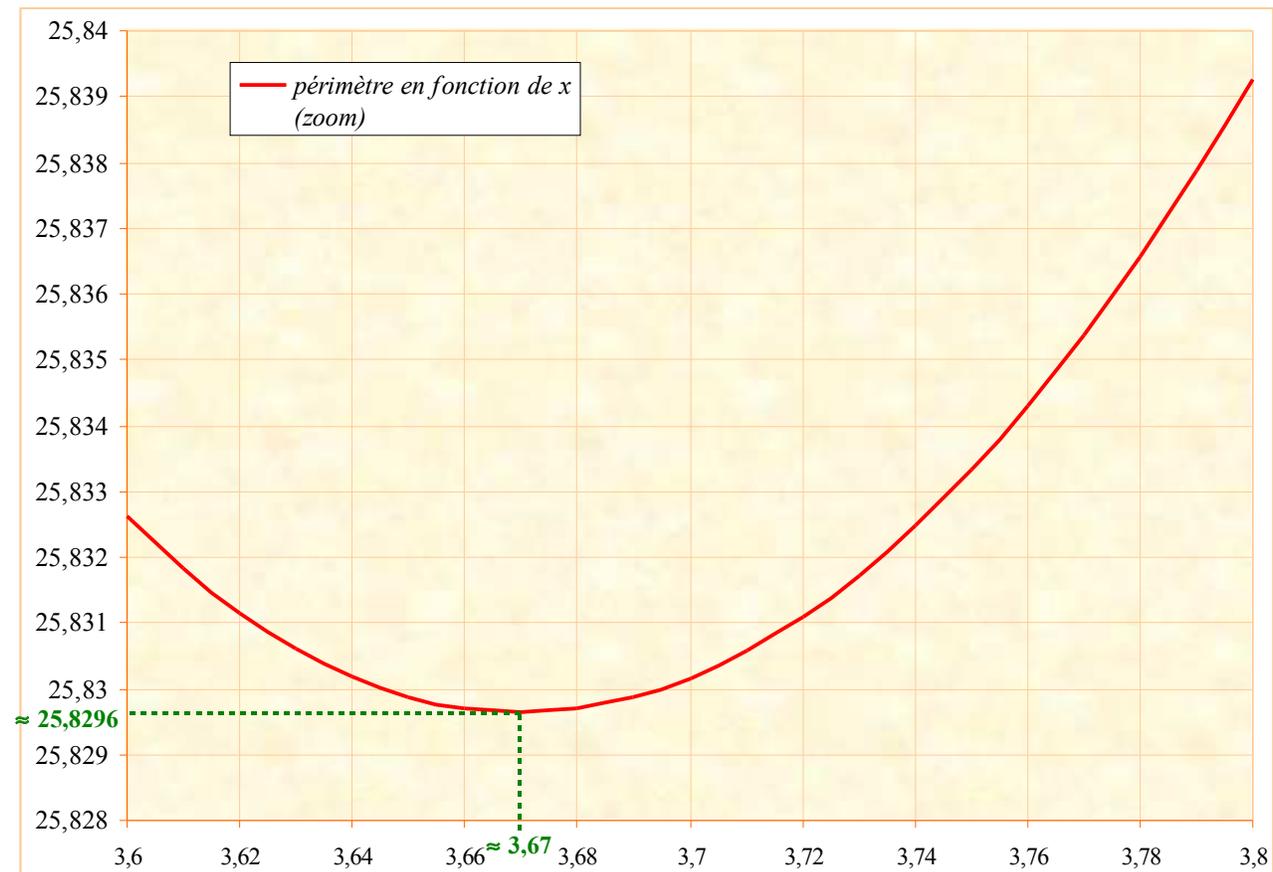
D'où le périmètre du triangle IJK en fonction de x : $P(x) = \left(4 + 2\sqrt{x^2 + 4}\right) \frac{x+4}{x}$

→ fichier Excel

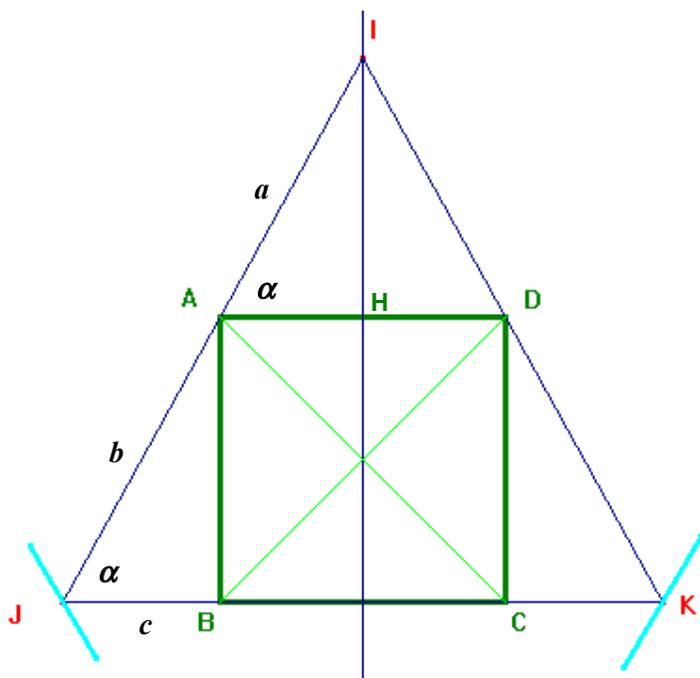


contourn.carré (en
fct.distance).xls
Feuille de calcul Microsoft Excel

[longueur du trajet en fonction de la distance \$x\$](#)



→ Prolongement possible lorsque la notion de radian aura été introduite : Soit α la mesure de l'angle IJK



Avec les notations ci-contre, la longueur du trajet vaut : $2(a+b+c+2)$. Cette longueur sera donc minimale lorsque la somme $a+b+c$ est elle-même minimale.

En considérant le triangle IAH rectangle en H, on a :

$$\cos \alpha = \frac{2}{a} \quad a = \frac{2}{\cos \alpha}$$

En considérant le triangle AJB rectangle en B, on a :

$$\sin \alpha = \frac{4}{b} \quad b = \frac{4}{\sin \alpha}$$

$$\text{et } \tan \alpha = \frac{4}{c} \quad c = \frac{4}{\tan \alpha}$$

On est ainsi ramené à étudier sur $]0 ; \pi/2 [$ la fonction :

$$f(\alpha) = \frac{2}{\cos \alpha} + \frac{4}{\sin \alpha} + \frac{4}{\tan \alpha}$$

ou, ce qui revient au même pour trouver le minimum :

$$f(\alpha) = \frac{1}{\cos \alpha} + \frac{2}{\sin \alpha} + \frac{2}{\tan \alpha}$$

car $2(a+b+c+2) = 4(f(\alpha)+1)$

→ [fichier Excel](#)



contourn.carré (en fct. angle).xls
Feuille de calcul Microsoft Excel
167 Ko

[longueur du trajet en fonction de l'angle \$\alpha\$](#)

Par *dichotomie*, on trouve : $\alpha \approx 1,0718$ rad soit environ $61,41^\circ$... pour une longueur d'environ 25,8296...

ANNEXE 8**L'IMPACT SUR LES ÉLÈVES**

(d'après une étude récente menée au sein du projet GRID¹⁹, cf. http://www3.ac-nancy-metz.fr/pasi/article.php3?id_article=338)

Le Pôle : « Comment vivez-vous cette option ? »

FilleA : « C'est plus décontracté que lorsque l'on a juste Math ou Physique en classe entière. »

GarçonD : « On a 1h30, cela nous donne du temps pour faire les choses, comparé à une heure de math en cours où il faut se presser un peu plus. Là, il n'y pas de programme, on n'est pas obligé de le terminer avant la fin de l'année. On est moins stressé »

FilleB : « Il y a une bonne ambiance. On est moins stressé, c'est plus calme. »

GarçonC : « On travaille en groupe, on peut donner ses opinions, les faire partager. »

Le pôle : « Il y a affrontement ? »

GarçonC : « Parfois ! »

Le pôle : « Et vous arrivez à un consensus ? »

GarçonE : « Souvent »

Le Pôle : « Et sur la démarche par rapport à d'autres enseignement ? Avez-vous l'impression d'être plus autonome et de construire votre savoir ? »

GarçonC : « C'est sûr, on n'est pas obligé de suivre une leçon. Certes ; les professeurs nous proposent des exercices qu'il faut résoudre, mais on peut le faire en toute liberté. »

Le Pôle : « Les thématiques choisies vous plaisent-elles ? »

Les élèves répondent « Oui » de façon unanime.

Le Pôle : « Allez-vous dans les musées scientifiques, regardez-vous les émissions sur ces thématiques ? Lisez-vous des revues scientifiques ? »

Timidement, nous obtenons la réponse commune : « Un peu »

Le Pôle : « Comment êtes-vous évalués dans cette option ? »

GarçonC : « Des comptes-rendus à la fin de chaque trimestre. La participation dans le groupe, l'influence qu'on y a sont également évalués. »

GarçonD : « C'est ce qui différenciera les membres du groupe. »

GarçonD : « C'est surtout autour du compte rendu du groupe. »

Le Pôle : « Le travail est-il important en dehors des heures officielles ? »

FilleB : « Il arrive souvent qu'on ne puisse pas terminer en classe, alors, on le fait à la maison, pour avancer. »

GarçonC : « Parfois, on est en retard et il faut rattraper. »

GarçonE : « Il faut faire le compte-rendu au fur et à mesure, pendant tout le trimestre, sinon, il est difficile d'y parvenir. »

GarçonD : « Le compte-rendu n'est pas fait en classe, il est fait à la maison. On manipule et on fait les exercices en classe, ensuite, on rédige à la maison. »

Le Pôle : « Au niveau des savoirs, bien qu'il n'y ait pas de programmes, avez-vous l'impression d'apprendre quelque chose ? »

Réponse unanime : « Ca c'est sûr »

GarçonD : « Rien qu'en mathématiques par exemple, ce sont des problèmes plutôt intéressants, qu'on ne verrait pas en cours ».

Le Pôle : « Dernière question : cette option a une vocation un peu interdisciplinaire. Qu'est ce que vous pouvez dire dessus ? Est-ce que vous avez vraiment le sentiment que vous voyez les interactions entre les différentes matières ou l'importance de telle matière par rapport à une autre dans tel domaine ? »

GarçonD : « Moi c'est plus en avançant au fur et à mesure que je l'ai remarqué. Au début de l'année, ça ne se voyait pas tellement. Plus on avance, plus ça se recoupe. »

Le Pôle : « maintenant ça a un caractère évident pour vous ? »

GarçonD : « De plus en plus »

¹⁹ Growing Interest in the development of teaching sciences

GarçonD : «Ca nous aide à comprendre l'interconnexion, on comprend mieux le monde. Là le sujet c'était l'eau : ça nous aide pas mal à comprendre ce qui tourne autour de l'eau aujourd'hui, ce qui pose problème pour demain au niveau du conflit et des manques l'eau. »

Une autre élève plus représentatif, semble-t-il : « Je suis en seconde 8. En fait, si j'ai pris l'option sciences, c'est parce que les trois matières sont regroupées, c'est plutôt cela qui m'a séduite, mais c'est tout. Après, on m'a fait découvrir une autre dimension des sciences. Parce qu'au départ, je n'étais ni littéraire, ni scientifique. J'aimais tout, mais rien en particulier. Quand je suis arrivée dans l'option sciences, c'est comme si on avait aiguisé ma curiosité. J'apprenais parce qu'il fallait apprendre, mais sans plus. Maintenant, j'ai découvert que c'est vraiment un plaisir d'apprendre. Par exemple, pour l'eau, j'aurais plus envie de découvrir maintenant ce qui se cache derrière ce mot, ça a aiguisé ma curiosité. Et en plus de ça, ça m'a quand même formé pour l'esprit d'équipe, je travaillais toute seule, je me moquais des autres. Maintenant, j'ai découvert que travailler avec quelqu'un c'est enrichissant et ça m'apprend beaucoup plus de choses. Je remercie ceux qui ont créé l'option sciences, car sans eux je ne serai pas arrivée à ce niveau là. »



Sommaire

1- Fiche d'identification	2
2- Fiches professeur	4
Activité 1	8
Activité 2	11
Activité 3	18
3- Scénarios d'usage	19
Scénario de l'activité 1	19
Scénario de l'activité 2	19
Scénario de l'activité 3	20
4-Fiches élève	21
Fiche élève activité 1	21
Fiche élève activité 2	24
Suite de la fiche élève activité 2	27
Annexe 1 : quelques éléments d'histoire des mathématiques	29
Annexe 2 : introduction au document 9	31
Fiche élève activité 3	33
5- Traces de travaux d'élèves	35
6- Compte-rendu(s) d'expérimentation au cours des mises en œuvre successives	36
7- Bibliographie	37
8- Evolution de la ressource (CV)	38

Discipline scientifique	Mathématiques	
Thème	La démonstration	
Niveau	Classe de seconde	
Cadre	Notions scientifiques travaillées	<ul style="list-style-type: none"> - apprentissage de la logique et du raisonnement : implication, contraposée, raisonnement par disjonction de cas, par l'absurde, négation d'une propriété universelle - nombres rationnels, irrationnels, irrationalité de la racine carrée de 2 - géométrie dans le plan : définition, propriétés, axiomes, élaboration d'une démonstration - calcul numérique et algébrique
	Notions épistémologiques de référence	<ul style="list-style-type: none"> - argumentation, raisonnement, preuve - démonstration mathématique - induction, déduction - vérité d'une assertion mathématique, validité d'une argumentation - idéalité des objets mathématiques - rigueur en mathématique - structure axiomatique des théories mathématiques
Objectifs	Compétences épistémologiques¹	<ul style="list-style-type: none"> - 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 mathématique - savoir que la vérité en mathématique est fondée sur la logique et le raisonnement déductif - avoir conscience de la structure

¹des compétences épistémologiques détaillées par activité sont énoncées au sein de la fiche professeur
 Copyright IREM de Montpellier

		axiomatique d'une théorie mathématique
	Compétences transversales	- entendre l'argumentation de l'autre, être capable de la réfuter par une argumentation raisonnée logique
	Autres compétences travaillées	
Modalités pratiques de déroulement	Durée	activité 1 : 3 h activité 2 : 3 h activité 3 : 1 h
	Équipement spécifique	aucun
Dispositifs pédagogiques	en classe, en classe par petits groupes, une partie en devoir à la maison	
Description de l'activité	<p>Cette ressource questionne la nécessité, la nature et les conditions d'émergence dans l'histoire de la forme particulière de preuve que constitue la démonstration mathématique. A travers des documents historiques (tablettes, papyrus) qu'il s'agit de s'approprier (décoder et traduire dans le formalisme contemporain dont on perçoit de fait toute la puissance), on étudie le passage du « montrer » au « démontrer » en comparant les mathématiques babyloniennes et égyptiennes avec les mathématiques grecques (notamment la démonstration par Euclide de l'irrationalité de la racine carrée de deux). Remonter la « chaîne des raisons » conduit à la notion d'axiome ; le questionnement des axiomes de la géométrie peut se prolonger jusqu'à l'émergence des géométries non euclidiennes.</p>	
Fichiers constitutifs de la ressource	Ressource_MATH_la_demonstration.odt	
Mots-clés	démonstration, histoire des mathématiques, épistémologie des mathématiques, géométrie, logique, irrationalité de la racine carrée de 2	
Auteurs	Bernadette Rumeau ² , Thomas Hausberger ³ et l'équipe IREM Sciences ⁴	

²Lycée Jean Moulin de Bezier, bernadette.rumeau@yahoo.fr

³Université Montpellier 2, Thomas.Hausberger@univ-montp2.fr

⁴Claude Caussidier, Hélène hagège, Bénédicte Hausberger, Thomas Hausberger, François Henn, Cécile Morro, Bernadette Rumeau, Fériat Terki

Programme officiel	Contenus	<ul style="list-style-type: none"> - Raisonnement mathématique - Fonctions : développer, factoriser des expressions algébriques simples, résolution graphique et algébrique d'équations - Approfondissement de la connaissance des différents types de nombre : irrationalité de la racine carrée de 2, valeurs approchées - Géométrie : étude d'un problème d'alignement
	Objectifs	<p>Former les élèves à la démarche scientifique sous toutes ses formes pour les rendre capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • conduire un raisonnement, une démonstration • faire une analyse critique d'un résultat, d'une démarche • communiquer à l'écrit et à l'oral <p>La diversité des activités mathématiques proposées doit permettre aux élèves de prendre conscience de la richesse et de la variété de la démarche mathématique et de la situer au sein de l'activité scientifique.</p>
	Commentaires	<p>L'acquisition de techniques est indispensable, mais elle doit être mise au service de la <i>pratique du raisonnement</i> qui est la base de l'activité mathématique des élèves.</p> <p>Le développement de l'argumentation et l'entraînement à la logique font partie intégrante des exigences des classes de lycée. Les concepts et méthodes de la logique mathématique ne doivent pas faire l'objet de cours spécifiques mais doivent prendre naturellement leur place dans tous les chapitres du programme. A l'issue de la seconde, l'élève devra avoir acquis une expérience lui permettant de commencer à distinguer les principes de la logique mathématique de ceux de la logique du langage courant.</p>
Prérequis	<ul style="list-style-type: none"> • maîtrise du calcul algébrique élémentaire • fonctions et courbes représentatives, résolution graphique et algébrique d'équations • géométrie dans le plan : définition et propriétés caractéristiques des figures de base, aptitudes à la rédaction d'une démonstration de géométrie selon les exigences du collège 	

<p>Intérêt</p>	<p>Comme l'exprime Nicolas Bourbaki au début des <i>Éléments de Mathématiques</i> : « depuis les grecs, qui dit mathématique dit démonstration ».</p> <p>Il va sans dire qu'une telle phrase met l'accent sur l'aspect formalisé et déductif des mathématiques telles qu'elles apparaissent dans les écrits des mathématiciens depuis Euclide. Ce qui n'est pas sans contraster avec la « logique de la découverte mathématique »⁵ qui laisse place à d'autres méthodes, à des heuristiques et des raisonnements de type analogique ou inductif.</p> <p>La pratique pédagogique des démarches mathématiques en classe n'échappe pas à ce dilemme : d'une part laisser bonne place à l'expérimentation, à l'expression de la créativité, tout en conservant la rigueur de la preuve mathématique dans la formalisation du résultat et l'établissement des vérités mathématiques.</p> <p>Or « l'écriture formalisée d'une démonstration ne prend du sens que lorsque les élèves ont bien compris les différents statuts d'un énoncé, la notion d'implication (et qu'ils ont trouvé une piste pour la résolution) » (ÉduSCOL juillet 2009).</p> <p>Le document de collège ÉduSCOL (juin et juillet 2009) apporte des pistes : « on cherche à comparer l'argumentation en mathématiques et l'argumentation dans la vie courante ou dans d'autres disciplines. Persuader, convaincre en mathématique, ne vient pas de la force de conviction : cela n'a pas de sens en mathématiques. Il faut identifier les arguments qui ont légitimité en mathématiques ». Ou encore : « C'est en travaillant, par exemple, des situations construites sur des doutes visuels que l'élève comprendra les nouvelles règles du jeu impliquées par les situations de preuve en géométrie ».</p> <p>La difficulté apparaît en effet de plein fouet dans le cadre de l'apprentissage du raisonnement géométrique. ÉduSCOL nous met en garde : « les énoncés ne doivent pas être systématiquement donnés sous une forme fermée : « montrer que » suivie d'une propriété apparaissant aux élèves aussi évidente que les hypothèses. L'activité géométrique devient alors pour eux un jeu incompréhensible et stérile ». Ou encore : « ce n'est pas en étant confronté à des situations d'une grande pauvreté que l'on peut appréhender vraiment la nécessité d'une preuve, ni d'ailleurs en résolvant de manière répétitive des exercices types ».</p> <p>Le but de cette ressource est justement de remédier à ce manque de sens en n'évinçant pas le questionnement épistémologique : qu'est-ce que démontrer en mathématique par rapport aux autres types d'argumentation ? Pourquoi a-t-on instauré ces règles du jeu ? Notre parti pris est de chercher des éléments de réponse dans des textes empruntés à l'histoire et à la philosophie des mathématiques.</p> <p>L'historien nous apprend que la démonstration mathématique est apparue en tant que type particulier de preuve avec les traités grecs de géométrie (Euclide). L'instauration par les Grecs de la primauté de la raison dans un contexte socio-politique particulier (la démocratie) est donc une cause de cette apparition externe aux mathématiques. Des causes internes, de nature davantage épistémologique, sont à voir dans la résolution de problèmes tels que les questions d'incommensurabilité qui ne peuvent être traités avec les méthodes antérieures (recours à des</p>
-----------------------	---

⁵selon le sous-titre de l'ouvrage « preuves et réfutations » de Imre Lakatos
Copyright IREM de Montpellier

figures, découpages) : en effet, un résultat d'inexistence ne peut être l'objet d'une construction de figure (il va nécessiter un raisonnement par l'absurde). Le recours à des mesures empiriques fait dire à Aristote « qu'il semble en effet étonnant à tout le monde qu'une quantité donnée ne puisse être mesurée, même par l'unité minima ». L'existence de nombres irrationnels est donc contraire à l'intuition des mathématiciens grecques et s'oppose à leur conception philosophico-mathématique du nombre. Afin de dépasser cet obstacle, il apparaît comme nécessaire de s'affranchir de la figure et de faire usage exclusif de la raison sur des objets définis abstraitement en tant qu'idéalités. Cette démarche est en relation avec leur conception philosophique de la vérité conçue comme dévoilement du réel pour accéder à « l'essence des choses ». Il en résulte l'établissement des mathématiques comme science hypothético-déductive.

Si l'on veut recréer en classe les conditions d'émergence historique de la démonstration, il s'agit donc que cette dernière apparaisse comme un outil indispensable à la résolution d'un problème. Une première étape est la mise en doute de l'appel à la figure comme preuve valide. C'est un des objectifs de l'activité 1 qui pose un certain nombre de situations problèmes composées d'un énoncé et d'une argumentation qu'il s'agit d'analyser et d'évaluer selon le critère démonstratif (préalablement clarifié grâce au dictionnaire en opposant les verbes montrer et démontrer).

L'activité 2 consiste en l'étude de textes historiques confrontant les mathématiques égyptiennes et babyloniennes pré-démonstratives aux mathématiques grecques. L'idée est donc de vivre cette rupture épistémologique dans le contexte historique où elle s'est produite. On aurait pu également créer une situation-problème plus élémentaire qui provoque le même effet de nécessité interne du recours à la démonstration et remplacer les raisons externes et philosophiques de l'apparition de la démonstration par l'autorité seule du professeur qui définit les normes et le contexte. Cela nous paraît réducteur, le recours à l'histoire offrant de plus la possibilité d'humaniser par la même occasion la pratique mathématique en la replaçant comme une activité humaine. Ce n'est pas sans difficultés ! Il est naïf en effet de penser que l'histoire des mathématiques facilite l'enseignement des mathématiques. Pour en tirer profit, un travail de mise en perspective et des artifices didactiques sont souvent nécessaires. Par exemple, il s'agit de motiver la restriction aux rapports d'entiers pour que des élèves habitués à la manipulation des nombres décimaux s'approprient la problématique des grecs. La question de l'incommensurabilité en géométrie ou de l'irrationalité en arithmétique est assez technique, ce qui rend la démonstration d'Euclide difficile d'accès. Cette ressource propose des scénarios adaptés qui ont été testés en classe.

Enfin, l'élève est amené dans l'activité 3 à rédiger lui-même une démonstration de géométrie dans le plan, selon les canons de la rigueur et fort de sa connaissance des tenants et des aboutissants. C'est l'occasion d'apporter le chaînon manquant, c'est-à-dire de remonter jusqu'aux axiomes posés par Euclide, ce qui n'est jamais fait dans le cours classique de géométrie, et de définir le statut des divers énoncés

	<p>(définition, propriétés, propositions, théorèmes) et leurs connexions logiques au sein de la chaîne des raisons. En d'autres termes, de détailler et réaliser pleinement la structure axiomatique d'une théorie mathématique.</p> <p>En guise de conclusion, citons quelques mots de la préface de Michel Blay à l'ouvrage collectif « La mathématique : Volume 1, Les lieux et les temps » paru à CNRS Editions en 2009 :</p> <p><i>Il convient, en conséquence, dans l'enseignement, de revenir à ce qui constitue et a, depuis des siècles, constitué le principal apport des mathématiques : enseigner que toute affirmation doit être démontrée pour être partagée. C'est à cette condition que peut s'instaurer, dans l'histoire, la liberté de chacun et l'émancipation de tous. Il ne suffit pas de critiquer, de dire que l'on n'est pas d'accord, encore faut-il prouver et démontrer. Les mathématiques apprennent à viser la connaissance et la vérité dans l'exigence démonstrative et en cela indiquent le sens d'une certaine ascèse intellectuelle bien éloignée du jeu des beaux parleurs remplissant les médias et la politique.</i></p>
--	---

Détail des activités :

Activité 1

Désignation : montrer-démontrer

Objectifs	Compétences épistémologiques	- savoir repérer et caractériser une démonstration mathématique - distinguer induction et déduction - distinguer vérité d'une assertion et validité de l'argumentation (selon le critère démonstratif) - comprendre le rôle et le statut de la figure dans la démonstration mathématique.
	Compétences transversales	- entendre l'argumentation de l'autre, être capable de la réfuter au besoin par une argumentation raisonnée logique.
	Compétences scientifiques	Apprentissage de la logique et du raisonnement : - utiliser un contre-exemple pour nier une proposition universelle

Description de l'activité :

Après avoir élaboré un dictionnaire mathématique commun concernant les termes « montrer » et « démontrer » qui met clairement en évidence ce qui différencie pour nous les deux mots, on étudie des exemples proposant différents types d'argumentation, en évalue le caractère démonstratif, et au besoin réfute l'assertion par une argumentation raisonnée logique (voir [fiche élève activité 1](#)).

Organisation préalable à l'activité : prévoir 4 à 5 groupes de 7 élèves pour qu'une discussion entre les groupes puisse s'amorcer.

1ère étape : chaque groupe cherche une définition des mots montrer et démontrer, en donne des synonymes, s'attache à distinguer ce qui différencie les deux termes.

Durée : 10 minutes

2ème étape : Dans chaque groupe un rapporteur fait le bilan. Au tableau le professeur note les différentes définitions, les synonymes. On observe ce qui différencie les deux termes. **On convient d'une première mouture sur la définition mathématique de chaque mot.** Chaque groupe prend note de cette première définition.

Durée : 15 minutes

3ème étape : lecture de chaque document. Chaque groupe a eu pour instruction de repérer et retranscrire le fait sur lequel porte l'argumentation.

Durée : 15 minutes

4ème étape : mise en commun au tableau et discussion entre les groupes. Il est important qu'un consensus se dégage. Éventuellement le professeur interviendra dans cette phase.

Durée : 15 minutes

5ème étape : Chaque groupe étudie les documents et répond à la question 3) des consignes. La moitié des groupes pourra commencer par les documents 1 à 3 et l'autre moitié par les numéros 4 à 6 (on peut associer les documents de la sorte, voir remarques ci-dessous) de sorte que l'on dispose bien de rapporteurs pour chaque exercice lors de la mise en commun, au cas où le temps viendrait à manquer. Chaque groupe prendra soin de désigner d'une part un secrétaire pour garder trace écrite de cette première phase de recherche (y compris en veillant à prendre note des désaccords au sein du groupe) et d'autre part un rapporteur pour rendre compte du travail.

Le professeur circule d'un groupe à l'autre pour répondre à d'éventuels problèmes techniques (développements, factorisations,...) qui parasiteraient la recherche. Il aide aussi si nécessaire à l'énoncé d'une propriété (théorème de Thalès,...) qui paraîtrait utile aux élèves.

A disposition tout au long de la séance : une calculatrice munie d'un logiciel de calcul formel, livres et cahiers de math

Durée : 55 minutes

6ème étape : Chaque groupe rapporte ses résultats. S'en suit une discussion entre les groupes. Chaque groupe doit prévoir une prise de notes sur les interventions des autres groupes.

Durée : 40 minutes

7ème étape : **Chaque groupe rédige une synthèse** à partir du travail du groupe et des apports des autres groupes. Ce document final contiendra :

- une définition des mots montrer et démontrer qui aura éventuellement été enrichie au fur et à mesure de l'activité ;
- pour chaque document une réponse du groupe aux questions posées.

La synthèse doit faire apparaître les désaccords éventuels qui persisteraient après la mise en commun de la 6ème étape

Durée : 15 minutes

Remarques :

- Le dictionnaire donne plusieurs définitions : dans un premier sens, démontrer est synonyme de prouver, c'est-à-dire établir la vérité de quelque chose. Ce n'est qu'en logique que l'on considère la démonstration comme un type particulier de preuve basé sur la déduction à partir de prémisses. Conformément à l'étymologie de démontrer : montrer à partir de. Montrer tout seul signifie « donner à voir » : les preuves pré-démonstratives sont basées justement sur des procédés visuels.
Une autre difficulté réside dans l'usage abusif du verbe montrer dans les énoncés des questions d'un problème mathématique : seul un enseignant averti utilise exclusivement le verbe démontrer. C'est l'occasion d'une mise au point.
- les documents 1, 2 et 3 présentent des propositions visant une universalité et interrogent donc l'élève sur ce que signifie démontrer une telle proposition. C'est l'occasion de faire remarquer que l'induction mathématique diffère fondamentalement de l'induction en sciences expérimentales où l'examen d'un nombre fini de cas suffit à énoncer une loi générale⁶. C'est d'ailleurs cette confusion entre des épistémologies différentes qui amènent l'élève à généraliser hâtivement en mathématique. Bien que le principe de récurrence ne soit pas encore disponible, énoncer les quantificateurs et nier une proposition universelle fait parti des compétences travaillées en seconde dans le cadre de la pratique des notations et du raisonnement mathématique. C'est également l'occasion de distinguer induction et déduction en tant que types de raisonnement.
- Le document 4 questionne quant à la fiabilité d'une lecture graphique pour la résolution d'une équation. L'utilisation de la fonction zoom de la calculatrice permettra de douter de la validité de l'affirmation. Si le travail sur la résolution algébrique des équations est suffisamment avancé, l'élève peut envisager une factorisation de $f(x)$ qui sera alors fournie

⁶ce que conteste notamment Popper qui dira que les expériences corroborent l'hypothèse plutôt que la vérifient.

par la calculatrice munie d'un logiciel de calcul formel tenue à disposition depuis le début de la séance. Dans le cas contraire, le problème posé par le document 4 pourra être repris ultérieurement lors d'une séance plus spécifiquement consacrée aux équations.

- Le document 6 fera douter de la rigueur d'un raisonnement utilisant des découpages. S'il est aisé pour l'élève de confirmer l'exactitude de l'affirmation du document 5 en faisant références à des propriétés de géométrie bien connues, quelques considérations d'angles permettront de mettre en évidence la fausse diagonale de « rectangle » obtenue après découpage pour ce qui concerne le document 6. Pour la petite histoire, le découpage du document 5 est un extrait de mathématiques chinoises qui donnent un bon exemple de ce que peuvent être des mathématiques sans axiomatique, fondées uniquement sur des procédés opératoires visuels convaincants. L'exemple du document 6 est quant à lui dû à Lewis Carroll.

En définitive, les documents 4 et 6 amènent l'élève au constat que les sens peuvent le tromper, ce qui est un premier pas pour faire émerger « l'exigence démonstrative » et donner son statut à la démonstration.

Activité 2

Désignation : le passage du montrer au démontrer dans l'histoire des mathématiques

Objectifs	Compétences épistémologiques	<ul style="list-style-type: none">- constater l'évolution dans la présentation de textes mathématiques et proposer des explications de cette évolution- saisir l'efficacité du langage symbolique- s'interroger sur la nature des objets mathématiques- prendre conscience de l'existence de ruptures épistémologiques- prendre conscience que le développement de mathématiques s'inscrit dans un contexte socio-économique et culturel.
	Compétences transversales	
	Compétences scientifiques	Apprentissage de la logique et du raisonnement : <ul style="list-style-type: none">- implication, contraposée- raisonnement par l'absurde

Description de l'activité :

Trois textes historiques sont travaillés afin d'en assimiler le contenu mathématique (d'où la nécessité d'une réécriture dans le formalisme contemporain, ce qui permet au passage de saisir l'efficacité du langage symbolique) puis de mettre en relation les mathématiques développées à une époque donnée avec le projet humain dans lequel ces mathématiques s'insèrent. On compare ainsi les mathématiques égyptiennes et babyloniennes à celles élaborées par les grecs (en l'occurrence la démonstration par Euclide de l'irrationalité de la racine carrée de deux). Les historiens des mathématiques situent en effet le passage du « montrer » au « démontrer » lors de l'écriture des traités de géométrie grecs, en relation avec de tels problèmes où l'exigence démonstrative est requise, outre par une société qui instaure la primauté de la raison (raison externe), par la nécessité d'établir un résultat qui va contre l'intuition et les conceptions antérieures (raison interne).

Préalable à la première étape : distribution du document donnant quelques repères sur le passage du montrer au démontrer dans l'histoire des mathématiques. Ce document aura été distribué quelques jours avant le début de l'activité. Les élèves doivent lire ce document et sont prévenus qu'ils peuvent en disposer désormais tout au long des activités.

1ère étape : Elle consiste en un travail sur les documents 7 et 8.

Le travail se fait en classe par groupes (on gardera les groupes de la première activité). Chaque groupe doit produire un document-réponse à la fin de la séance. Chaque groupe désignera un secrétaire chargé de rapporter les réponses ainsi qu'une (ou plusieurs) « tête chercheuse » chargée d'investiguer auprès des autres groupes.

Cette première étape suppose une « âme aventurière ». En chacun l'« Indiana Jones » est chargé de percer les mystères. Les groupes peuvent à tout moment échanger des indications mais le travail est plus « solitaire » que celui mené dans la première activité.

Le professeur reste à disposition, comme source d'information, et fournit aux élèves tout document souhaité. A la fin de la séance, il récupère les documents réponses de chaque groupe.

Durée : 1 heure

Remarques :

- **En prolongement de cette étape est à prévoir** une correction finale concernant les deux documents, faite en classe.
- Un devoir à la maison peut être proposé sur l'algorithme d'Héron d'Alexandrie, autour de l'idée ci-après.
Une heuristique expliquant la genèse de cet algorithme est la suivante : si $a \leq \sqrt{2}$ (resp. $a \geq \sqrt{2}$) alors $\frac{2}{a} \geq \sqrt{2}$ (resp. $\frac{2}{a} \leq \sqrt{2}$). Il est donc naturel de considérer la moyenne des deux nombres a et $\frac{2}{a}$ et de se demander s'il s'agit d'une meilleure approximation de $\sqrt{2}$.

2ème étape elle consiste en un travail sur le document 9.

Préalables à la deuxième étape :

1. Distribution de l'introduction au document 9 quelques jours avant la séance. Les élèves doivent lire le document et éventuellement demander des éclaircissements avant la séance.
2. Les élèves sont informés de l'organisation de la séance : il s'agira cette fois d'un travail plus « solitaire » qui débouchera sur une production individuelle. Mais des aides précieuses vont les guider puisque l'auteur même du document étudié se présentera sous leurs yeux accompagné d'un traducteur-commentateur !
3. Un appel à candidature est lancé : on a besoin d'un acteur qui jouera Euclide et d'un traducteur commentateur qui sera notre guide dans la compréhension du texte.
4. Un travail du professeur en amont avec les deux élèves candidats est alors nécessaire pour les familiariser avec le texte et travailler sur la performance d'acteur attendue (la qualité de la mise en scène est un élément important pour la réussite de l'activité) : les deux élèves doivent comprendre qu'il s'agit pour eux non pas d'être jugés par les autres mais de relever un défi d'envergure : donner à chacun l'envie, le plaisir et les moyens de suivre Euclide dans sa démonstration. Durée à prévoir : 2 heures au moins.

Remarques :

Ci-jointes trois versions de la proposition 117 d'Euclide :

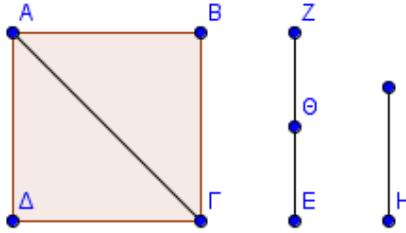
- la version n°1 est la traduction intégrale connue du texte originel.
- La version n°2 reprend la version n°1 élaguée : il s'agit de rendre plus accessible la version n°1 sans rien perdre des objectifs de l'activité. Elle figure sur la fiche élève de l'activité 2.
- La version n°3 est une version plus « actuelle » de la version n°2. On peut la préférer si l'on considère que la syntaxe de la version n°1 et de la version n°2 ainsi que l'utilisation de certaines tournures risquent de déstabiliser inutilement les élèves voire de compromettre la réussite de l'activité.

Version n°1 :

PROPOSITION CXVII

Qu'il nous soit proposé de démontrer que dans les figures carrées la diagonale est incommensurable en longueur avec le côté.

Soit le carré $AB\Gamma\Delta$, et que $A\Gamma$ soit sa diagonale ; je dis que la droite $A\Gamma$ est incommensurable en longueur avec AB .



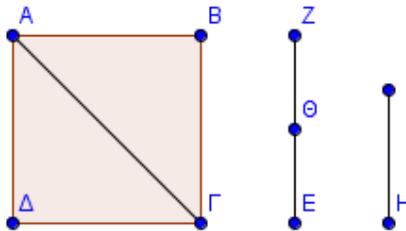
Qu'elle lui soit commensurable, si cela est possible ; je dis qu'il s'en suivrait qu'un même nombre serait pair et impair. Or, il est évident que le carré de $A\Gamma$ est double du carré de AB (47.10) ; mais $A\Gamma$ est commensurable avec AB ; la droite $A\Gamma$ a donc avec la droite AB la raison qu'un nombre a avec un nombre (6.10). Que $A\Gamma$ ait avec AB la raison que le nombre EZ a avec le nombre H , et que les nombres EZ, H soient les plus petits de ceux qui ont la même raison avec eux ; le nombre EZ ne sera pas l'unité. Car si EZ était l'unité, à cause que EZ a avec H la raison que $A\Gamma$ ait avec AB , et que $A\Gamma$ est plus grand que AB , l'unité EZ serait plus grande que le nombre H , ce qui est absurde ; EZ n'est donc pas l'unité ; EZ est donc un nombre. Et puisque ΓA est à AB comme EZ est à H , le carré de ΓA sera au carré de AB comme le carré de EZ est au carré de H . Mais le carré de ΓA est double du carré de AB ; le carré de EZ est donc double du carré de H ; le carré du nombre EZ est donc pair. Le nombre EZ est donc pair ; car s'il était impair, son carré serait impair ; parce que si l'on ajoute tant de nombres impairs que l'on voudra, leur quantité étant impaire, leur somme est un nombre impair (23.9) ; le nombre EZ est donc un nombre pair. Partageons le nombre EZ en deux parties égales en Θ . Puisque les nombres EZ, H sont les plus petits de ceux qui ont la même raison avec eux, ces nombres sont premiers entr'eux. Mais le nombre EZ est pair ; le nombre H est donc impair. Car s'il était pair, les nombres EZ, H , qui sont premiers entr'eux, seraient mesurés par deux ; parce que tout nombre pair a une partie qui en est la moitié, ce qui est impossible. Le nombre H n'est donc pas un nombre pair ; il est donc impair. Mais EZ est double de $E\Theta$; le carré de EZ est donc quadruple du carré de $E\Theta$ (11.8). Mais le carré de EZ est double du carré de H ; le carré de H est donc double du carré de $E\Theta$; le carré de H est donc pair ; le nombre H est donc pair, d'après ce qui a été dit (29.9). Mais il est aussi impair, ce qui est impossible ; la droite $A\Gamma$ n'est donc pas commensurable en longueur avec AB ; elle lui est donc incommensurable. Ce qu'il fallait démontrer.

Version n°2 :

PROPOSITION CXVII

Qu'il nous soit proposé de démontrer que dans les figures carrées la diagonale est incommensurable en longueur avec le côté.

Soit le carré $AB\Gamma\Delta$, et que $A\Gamma$ soit sa diagonale ; je dis que la droite $A\Gamma$ est incommensurable en longueur avec AB . ***arrêt 1**



Qu'elle lui soit commensurable, si cela est possible ; je dis qu'il s'en suivrait qu'un même nombre serait pair et impair. ***arrêt 2** Or il est évident que le carré de $A\Gamma$ est le double du carré de AB (47.10) ***arrêt 3** ; mais $A\Gamma$ est commensurable avec AB . Que $A\Gamma$ ait avec AB la raison que le nombre EZ a avec le nombre H , et que les nombres EZ, H soient les plus petits de ceux qui ont la même raison avec eux ***arrêt 4**. Puisque ΓA est à AB comme EZ

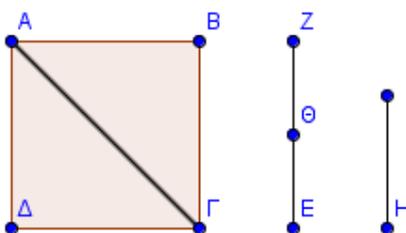
est à H, le carré de ΓA sera au carré de AB comme le carré de EZ est au carré de H.
***arrêt 5** Mais le carré de ΓA est double du carré de AB ; le carré de EZ est donc double du carré de H ***arrêt 6** ; le carré du nombre EZ est donc pair. Le nombre EZ est donc pair ; car s'il était impair, son carré serait impair (29.9) ***arrêt 7** ; le nombre EZ est donc un nombre pair. Partageons le nombre EZ en deux parties égales en Θ . Puisque les nombres EZ, H sont les plus petits de ceux qui ont la même raison avec eux, ces nombres sont premiers entr'eux. Mais le nombre EZ est pair ; le nombre H est donc impair. Car s'il était pair, les nombres EZ, H, qui sont premiers entr'eux, seraient mesurés par deux ; parce que tout nombre pair a une partie qui en est la moitié, ce qui est impossible. Le nombre H n'est donc pas un nombre pair ; il est donc impair. Mais EZ est le double de $E\Theta$; le carré de EZ est donc quadruple du carré de $E\Theta$ (11.8). Mais le carré de EZ est le double du carré de H ; le carré de H est donc double du carré de $E\Theta$; le carré de H est donc pair ; le nombre H est donc pair, d'après ce qui a été dit (29.9). Mais il est aussi impair, ce qui est impossible ; la droite ΓA n'est donc pas commensurable en longueur avec AB ; elle lui est donc incommensurable. Ce qu'il fallait démontrer.

Version n°3 :

PROPOSITION CXVII

On se propose de démontrer que dans un carré la diagonale et le côté sont incommensurables en longueur.

Soit un carré $AB\Gamma\Delta$ et soit ΓA sa diagonale. Je vais démontrer que les segments ΓA et AB sont incommensurables en longueur. ***arrêt 1**



Supposons que les segments ΓA et AB sont commensurables en longueur : je dis qu'il s'en suivrait qu'un même nombre serait pair et impair. *** arrêt 2** Or il est évident que le carré de ΓA est le double du carré de AB (47.10) *** arrêt 3** ; mais j'ai supposé que ΓA est commensurable avec AB. Soit alors les nombres EZ et H les plus petits possibles tels que le rapport entre ΓA et AB soit le même que le rapport entre EZ et H *** arrêt 4**. Puisque le rapport entre ΓA et AB est le même que celui entre EZ et H, le rapport entre le carré de ΓA et le carré de AB est le même que le rapport entre le carré de EZ et le carré de H *** arrêt 5**. Mais le carré de ΓA est le double du carré de AB ; le carré de EZ est donc le double du carré de H ***arrêt 6** ; le carré du nombre EZ est donc pair. Le nombre EZ est donc pair ; car s'il était impair, son carré serait impair (29.9) *** arrêt 7** ; le nombre EZ est donc pair. Partageons le nombre EZ en deux parties égales en Θ . Puisque les nombres EZ et H sont les plus petits de ceux dont le rapport est le même que le rapport entre ΓA et AB, ces nombres sont premiers entre eux. Mais le nombre EZ est pair ; le nombre H est donc impair. Car, s'il était pair, les nombres EZ et H seraient mesurés par deux, ce qui est impossible. Le nombre H n'est donc pas un nombre pair ; il est donc impair. Mais EZ est le double de $E\Theta$; le carré de EZ est donc le quadruple du carré de $E\Theta$ (11.8). Mais le carré de EZ est le double du carré de H ; le carré de H est donc le double du carré de $E\Theta$; le carré de H est donc pair ; le nombre H est donc pair. Mais il est aussi impair, ce qui est impossible. La diagonale ΓA n'est donc pas commensurable en longueur avec AB. Elle lui est donc incommensurable. Ce qu'il fallait démontrer.

Déroulement de la séance : Durée : 55minutes

- Distribution des documents et rappel sur l'organisation générale de l'activité et sur les consignes. (5minutes)
- Lecture silencieuse du document. Surtout pas de panique ! (5minutes)
- Euclide et son traducteur commentateur en scène : durant cette étape les élèves peuvent prendre des notes et sont invités à répondre aux sollicitations qui leur seront faites.
En scène : Euclide, le traducteur-commentateur élève au tableau et le professeur-animateur. La mise en scène doit aider les élèves à prendre confiance face au texte et doit progressivement leur donner envie de voler de leurs propres ailes. On ne détaillera au maximum que jusqu'à l'arrêt 7. La fin du texte sera ensuite lue sans aucun commentaire.
- Euclide joue le texte jusqu'à l'arrêt 1.
- **Arrêt 1** : pour le traducteur-commentateur il s'agit de s'assurer que les élèves comprennent le sens de « commensurables en longueur » et de leur demander une traduction contemporaine.
On attend : *On doit démontrer que le rapport entre la diagonale et le côté du carré est un nombre rationnel c'est-à-dire que $\frac{A\Gamma}{AB}$ est un nombre rationnel.*
- Euclide joue jusqu'à l'arrêt 2.
- **Arrêt 2** : pour le traducteur-commentateur et l'animateur, il s'agit de s'assurer que les élèves ont bien compris le type de raisonnement que propose Euclide.
On attend : *je suppose que $\frac{A\Gamma}{AB}$ est un nombre rationnel et je vais démontrer que cette hypothèse entraînerait une contradiction (que je précise : un certain nombre serait à la fois pair et impair).*
Indiquer qu'un tel raisonnement est appelé un raisonnement par l'absurde. L'écrire au tableau.
- Euclide joue le texte jusqu'à l'arrêt 3.
- **Arrêt 3** : informer qu'Euclide n'est pas homme à affirmer sans justification rigoureuse. Tout ce qui est énoncé est donc soit démontré directement dans le texte soit a été démontré dans une proposition antérieure à la proposition 117. Euclide y fait alors référence en citant entre parenthèses le numéro de cette proposition.
Faire énoncer la proposition 47.10 en utilisant le langage symbolique.
On attend : *Dans le carré $AB\Gamma\Delta$ on a $A\Gamma^2 = 2 AB^2$ (à écrire au tableau).*
Demander aux élèves une justification de cette affirmation à partir de leurs connaissances.
Convenir avec les élèves que pour la suite du texte toute proposition antérieurement démontrée sera supposée acquise tout au moins durant le travail sur la proposition 117 (on y reviendra après).
- Euclide joue jusqu'à l'arrêt 4.
- **Arrêt 4** : demander une traduction.
On attend : *j'ai supposé que $\frac{A\Gamma}{AB}$ était un nombre rationnel. Je considère alors les nombres EZ et H tels que :*
$$\frac{A\Gamma}{AB} = \frac{EZ}{H}$$
avec EZ et H les plus petits possibles (à écrire au tableau)
Dans notre langage actuel que dirons nous de $\frac{EZ}{H}$?
- Euclide joue jusqu'à l'arrêt 5.
- **Arrêt 5** : demander la traduction en langage symbolique (l'élève va prendre conscience de la puissance de concision de notre langage symbolique et du coup devrait prendre confiance en lui face au défi qui lui est lancé).
Le traducteur-commentateur écrit la traduction au tableau.

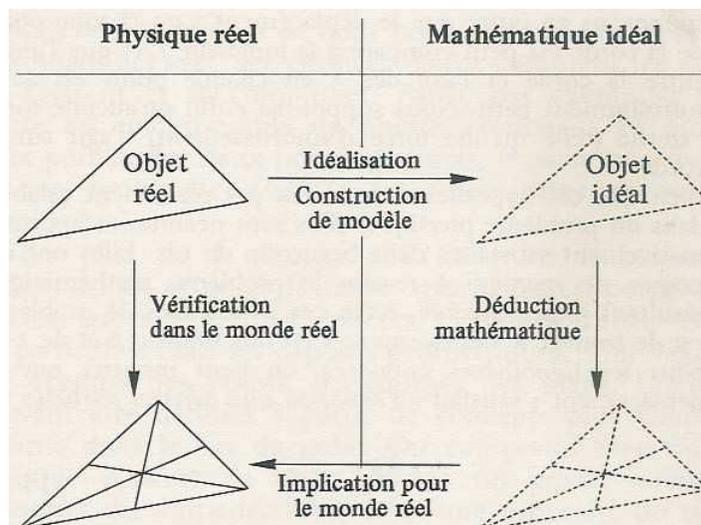
- Euclide joue jusqu'à l'arrêt 6.
- **Arrêt 6** : il s'agit de vérifier que l'enchaînement a été bien vu.
On attend : *j'ai déjà vu que $A\Gamma^2 = 2 AB^2$ donc j'en déduis que :*
$$EZ^2 = 2 H^2$$
 (à écrire au tableau)
- Euclide joue jusqu'à l'arrêt 7.
- **Arrêt 7** : le traducteur commentateur écrit au tableau :
 EZ^2 est pair donc EZ est pair car si EZ était impair son carré serait impair.
Demander l'énoncé de la proposition 29.9.
On attend : *si EZ est impair alors EZ^2 est impair.*
Puis demander une traduction hors contexte.
On attend : *si un nombre est impair alors son carré est impair.* (Cette proposition est nommée 29.9 et supposée acquise).
Relire alors dans son entier l'argumentation sur la parité de EZ .
Indiquer alors qu'Euclide va terminer sa proposition sans interruption.
- Euclide joue la proposition jusqu'à la fin.
- Proposer aux élèves une lecture silencieuse de l'intégralité du texte.
- En fonction du temps restant les élèves pourront commencer leur travail individuel.

Remarques : il faudra prévoir un temps de correction du devoir à la maison lié à l'activité. Ce temps de correction peut être l'occasion de nouveaux travaux parmi lesquels :

1. une nouvelle version de la proposition : les élèves auront-ils pensé à travailler avec $\sqrt{2}$ et à poser le problème en terme de l'irrationalité de $\sqrt{2}$?
2. Un travail de recherche sur l'argumentation originelle d'Euclide concernant les propositions 47.10 ; 29.9 ; 11.8. Quelques indications :
 - pour 47.10, Euclide a dans l'esprit un raisonnement géométrique à partir d'une figure bien connue des mathématiciens grecs : dessiner un carré, une de ses diagonales, puis construire un carré de côté cette diagonale (compléter les trois côtés manquants). Quel découpage permet de montrer que l'aire du grand carré est double de celle du petit carré ?
 - Pour 29.9, Euclide a recourt à la proposition 23.9 de la version n°1 (texte original).
 - Euclide utilise encore un argument géométrique pour démontrer 11.8.
3. Une étude complémentaire de la proposition 117 dans une version non élaguée.
4. L'occasion est aussi ici donnée d'envisager un travail plus spécifique sur l'opération logique qu'est l'implication, la contraposée (arrêt 7 où l'on raisonne par disjonction de cas et raisonnement par l'absurde pour éliminer l'un des deux cas, tant que la notion de contraposée n'est pas acquise).
5. Enfin le document 10 pourrait être éclairé par l'intervention d'un professeur de philosophie concernant la philosophie platonicienne. Le premier paragraphe exprime la conception hypothético-déductive des mathématiques : par rapport au texte de la démonstration d'Euclide, c'est un point de vue réflexif sur les mathématiques. Le second paragraphe donne l'occasion de parler de la nature des objets mathématiques et de leur lien avec le réel. L'enjeu est important : l'apparition de la démonstration en géométrie est liée historiquement à celle de la conception abstraite des objets de la géométrie. Le problème de la perte de sens dans l'enseignement de la géométrie ne peut pas se résoudre sans préciser le statut de la figure dans un raisonnement de géométrie. Pour l'élève, le caractère concret des êtres géométriques (on peut les tracer au tableau) rend a priori inutile la démonstration : il suffit de construire une figure générique.

On s'est efforcé de convaincre l'élève que la « preuve par la figure » ne suffit pas. Ce qui n'est pas évident : par exemple, on peut se sortir du piège du document 4 (activité 1) par un changement d'échelle (fenêtrage) et de celui du document 6 par une figure plus soignée. Présenter comme une thèse philosophique et un fait culturel que les objets mathématiques sont des idéalités introduit une autre raison qui renforce le contrat. L'articulation avec le

monde physique réel peut être présenté sous la forme du tableau suivant⁷. La définition axiomatique des objets de la géométrie formulée par Euclide sera exposée au sein de l'activité 3.



Terminons par une remarque sur la notion de vérité chez les grecs, notion qui a des conséquences sur la manière dont on conçoit la démonstration puisque cette dernière a pour fonction d'établir des vérités. Dans la pensée grecque classique, la vérité (*aletheia*) signifie étymologiquement le dévoilement du réel d'abord caché aux sens. La vérité est atteinte au terme d'une démarche de découverte qui permet à l'esprit de voir l'essence des choses, donc d'accéder à la connaissance-contemplation (*theoria*). C'est le sens de l'allégorie de la caverne de Platon. Le terme démonstration contient d'ailleurs une métaphore visuelle : *démonstration* signifie « qui montre à partir de » (*apo-deixis* en grec : indiquer avec l'index). La démonstration est cette démarche rationnelle sur les idéalités mathématiques qui établit la certitude du résultat par un enchaînement de raisons à partir de points de départ déterminés : les hypothèses ou prémisses, qui sont perçues comme des saisies intellectuelles intuitives. Pour autant, d'après Platon, les mathématiques ne permettent pas d'atteindre la connaissance-contemplation car les êtres mathématiques ne sont pas des idéalités pures (ce sont des mixtes touchés par la relation sensible au monde) et la méthode mathématique est discursive : ce n'est pas la dialectique des philosophes qui seule permet d'atteindre la vérité. Bien entendu, la notion de vérité évoluera avec l'apport d'autres philosophes (Kant, ...) et le chemin des mathématiques vers l'abstraction se poursuivra jusqu'à poser des objets comme de simples conventions de l'esprit qui construit ses catégories et ses règles.

⁷d'après Philip J. Davis, Reuben Hersh, « L'univers mathématique ». Gauthier-Villars
Copyright IREM de Montpellier

Activité 3

Désignation : la chaîne des raisons

Objectifs	Compétences épistémologiques	- distinguer définition et propriétés - prendre conscience que certaines propriétés ne se démontrent pas : les axiomes - prendre conscience de la structure axiomatique d'une théorie en mathématique - mettre en œuvre une démonstration mathématique
	Compétences transversales	
	Compétences scientifiques	Savoir mener une démonstration de géométrie

Description de l'activité :

L'élève est amené à conduire une démonstration de géométrie selon les canons de la rigueur en mathématique. On lui demande de donner une définition des objets géométriques en jeu et d'énoncer clairement les propriétés et théorèmes utilisés au cours de sa démonstration. Cela conduit à remonter la chaîne des raisons et à faire émerger la notion d'axiome. Les demandes et postulats d'Euclide sont donnés et la chaîne des raisons complétée. C'est enfin l'occasion de découvrir une nouvelle rupture épistémologique qui débouche sur les géométries non euclidiennes.

Déroulement :

Cette troisième activité peut se dérouler dans le cadre plus habituel d'une séance de travaux dirigés. Durée 55 minutes.

On aura proposé le petit exercice concernant le document 11 en exercice à préparer à la maison avant le déroulement de la séance.

- La séance démarre alors par la correction de l'exercice qui met en évidence l'existence et la nécessité de définitions communes des objets usuels de la géométrie et la nécessaire connaissance de certaines propriétés relatives à ces objets.
- On s'interroge alors naturellement sur les primas de l'édifice géométrique ce qui conduit à la lecture des axiomes (dont on commencera par donner une traduction modernisée).
- On en vient alors à s'intéresser à la longue chaîne des raisons, à se servir de certains éléments de cette chaîne pour démontrer une propriété utilisée dans l'exercice relatif au document 11.
- On remonte enfin jusqu'à l'axiome 5 pour démontrer l'un des maillons de la chaîne.
- La fin de la séance est plus informative : elle ramène à l'axiome 5 et aux interrogations et travaux autour de cet axiome jusqu'à entrouvrir la porte vers les géométries non euclidiennes.

Scénario de l'activité 1

désignation : montrer-démontrer

Phase	Acteur	Description de la tâche	Situation	Outils et supports	Durée ⁸
1	élèves	recherche de définitions	en classe par petits groupes	dictionnaire, fiche élève activité 1	10 min
2	élèves rapporteurs et professeur	mise en commun et institutionnalisation	en classe		15 min
3	élèves	lecture de documents, repérage et réécriture du fait principal	en classe par petits groupes	fiche élève activité 1	15 min
4	élèves rapporteurs et professeur	mise en commun et institutionnalisation	en classe		15 min
5	élèves	examen de l'argumentation	en classe par petits groupes	fiche élève activité 1 , (éventuellement calculatrice, système de calcul formel) fiche professeur activité 1	55 min
6	élèves rapporteurs et professeur	mise en commun et institutionnalisation	en classe		40 min
7	élèves	élaboration d'une synthèse	en classe par petits groupes	fiche élève activité 1	15 min

Scénario de l'activité 2

désignation : le passage du montrer au démontrer dans l'histoire des mathématiques

Phase	Acteur	Description de la tâche	Situation	Outils et supports	Durée
1	élèves	prise de connaissance avec le contexte historique	à la maison	annexe 1 à la fiche élève activité 2	
2	élèves	travail sur les documents 7 et 8	en classe par petits groupes	fiche élève activité 2 , fiche professeur activité 2	1 h
3	élèves	mise en situation : conceptions pythagoriciennes du nombre	à la maison	annexe 2 à la fiche élève activité 2	

⁸ Cette durée est donnée à titre indicatif et prévisionnel
Copyright IREM de Montpellier

4	deux élèves motivés et le professeur	travail préparatoire à la mise en scène de la démonstration d'Euclide (document 9)	à la maison	fiche professeur activité 2	(2 h)
5	les deux élèves et le professeur	mise en scène de la démonstration d'Euclide	en classe	suite de la fiche élève activité 2 , fiche professeur activité 2	1 h
6	élèves	devoir à la maison	à la maison	suite de la fiche élève activité 2	
7	professeur	correction du devoir à la maison et prolongements	en classe	fiche professeur activité 2	1 h

Scénario de l'activité 3

désignation : la chaîne des raisons

Phase	Acteur	Description de la tâche	Situation	Outils et supports	Durée
1	élèves	résolution d'un exercice de géométrie (document 11 question 1)	à la maison	fiche élève activité 3	
2	professeur (et élèves volontaires)	correction de l'exercice	en classe		15 min
3	professeur et élèves	discussion (émergence de la notion d'axiome), examen de la chaîne des raisons depuis les postulats d'Euclide.	en classe	fiche élève activité 3 fiche professeur activité 3	40 min

Fiche élève activité 1

Désignation : montrer-démontrer

Organisation générale de l'activité :

- l'activité se fait par groupe.
- Dans chaque groupe il faut prévoir : un secrétaire (ou plusieurs) qui prend note des réponses du groupe et des interventions des autres groupes lors des phases de mise en commun et un rapporteur du groupe qui portera la ou les réponses du groupe en veillant à faire apparaître les désaccords au sein du groupe s'il y en a.
- A l'issue de l'activité chaque groupe produira un document final donnant les réponses du groupes aux questions posées dans l'activité.

Énoncé des consignes :

1. A l'aide d'un dictionnaire chercher une définition de chacun des mots « montrer » « démontrer ». Pour chaque mot donner des synonymes. Mettre en évidence ce qui distingue les deux mots.
2. Pour chaque document fourni **repérer le fait** sur lequel porte l'argumentation et **le réécrire**.
3. L'argumentation du fait est-elle une démonstration ? Si oui pouvez-vous expliquer les étapes du raisonnement ? Si non, avez-vous la possibilité de démontrer vous-même le fait énoncé ou de démontrer que ce fait est faux ?
4. En tenant compte de la mise en commun entre tous les groupes, faire une synthèse par groupe qui donne une version définitive de vos réponses aux trois premières questions.

Documents :

Document 1 : le loup et l'agneau (La Fontaine)

La raison du plus fort est toujours la meilleure :

Nous l'allons montrer tout à l'heure.

Un Agneau se désaltérait

Dans le courant d'une onde pure.

Un Loup survient à jeun qui cherchait aventure,

Et que la faim en ces lieux attirait.

Qui te rend si hardi de troubler mon breuvage ?

Dit cet animal plein de rage :

Tu seras châtié de ta témérité.

– Sire, répond l'Agneau, que votre Majesté

Ne se mette pas en colère ;

Mais plutôt qu'elle considère

Que je me vas désaltérant

Dans le courant,

Plus de vingt pas au-dessous d'Elle

Et que par conséquent, en aucune façon,

Je ne puis troubler sa boisson.

– Tu la troubles, reprit cette bête cruelle,

Et je sais que de moi tu médis l'an passé.

– Comment l'aurais-je fait si je n'étais pas né ?

Reprit l'Agneau, je tette encore ma mère.
 – Si ce n'est toi, c'est donc ton frère.
 – Je n'en ai point. - C'est donc quelqu'un des tiens :
 Car vous ne m'épargnez guère,
 Vous, vos bergers, et vos chiens.
 On me l'a dit : il faut que je me venge.
 Là-dessus, au fond des forêts
 Le Loup l'emporte, et puis le mange,
 Sans autre forme de procès.

Document 2 :

$$0^2 - 0 + 17 = 17$$

$$1^2 - 1 + 17 = 17$$

$$2^2 - 2 + 17 = 19$$

$$3^2 - 3 + 17 = 23$$

$$4^2 - 4 + 17 = 29$$

...

$$11^2 - 11 + 17 = 127$$

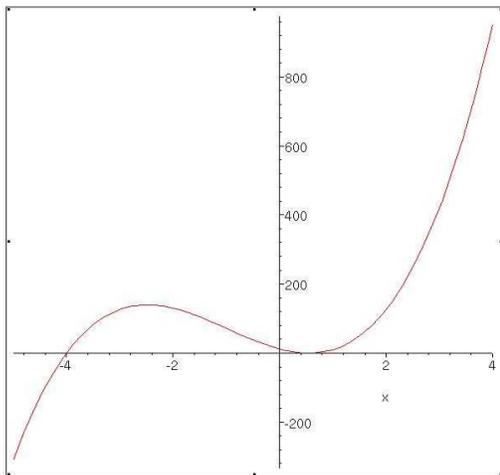
Si je prends un entier naturel n et que je calcule $n^2 - n + 17$ j'obtiens donc toujours un nombre premier.

Document 3 :

Je montre que le carré d'un entier naturel impair est toujours impair :
 je dis qu'un entier naturel impair s'écrit $2k + 1$
 alors

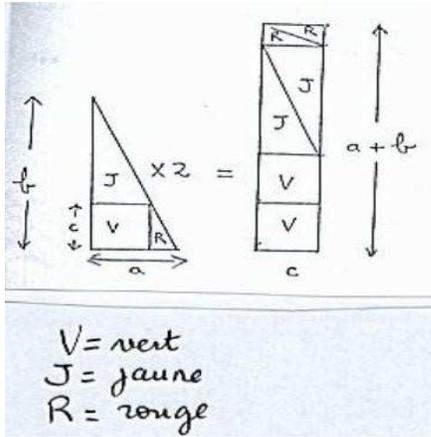
$$\begin{aligned} (2k + 1)^2 &= 4k^2 + 4k + 1 \\ &= \underbrace{2(2k^2 + 2k)}_{\text{nombre pair}} + 1 \\ &\quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{\text{nombre impair}} \end{aligned}$$

Document 4 :



f est la fonction définie par $f(x) = 10x^3 + 29x^2 - 41x + 12$ pour $x \in \mathbb{R}$. Sur l'écran de ma calculatrice graphique j'ai la courbe représentative de la fonction f . Je dis que l'équation $f(x) = 0$ a deux solutions car la courbe coupe l'axe des abscisses en deux points.

Document 5 :



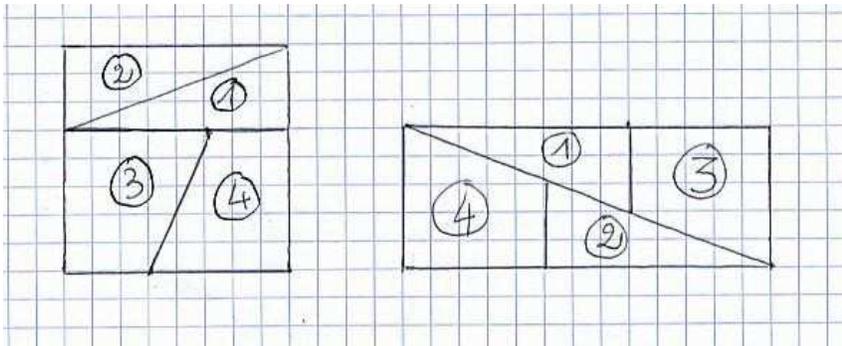
Dans le triangle rectangle (dont les côtés de l'angle droit mesurent a et b) je veux construire un carré de côté c . Combien vaut c ?

Je dis que d'après ce dessin $c(a + b) = ab$

$$\text{donc } c = \frac{ab}{a+b}$$

Document 6 :

Le carré est découpé en quatre zones deux triangles rectangles et deux trapèzes. En assemblant différemment les quatre zones j'obtiens le rectangle. L'aire du carré et l'aire du rectangle sont donc égales.



Fiche élève activité 2

Désignation : le passage du montrer au démontrer dans l'histoire des mathématiques

Organisation générale de l'activité :

- la 1ère étape de cette activité (documents 7 et 8) se fait par groupe et dure 1 heure.
- Chaque groupe doit produire un document rédigé qui répond aux consignes, rendu à la fin de l'heure. Même si vous ne parvenez pas à un travail complètement abouti gardez dans ce document une trace de toutes vos tentatives.
- Dans chaque groupe il faudra prévoir un secrétaire chargé de la rédaction ainsi qu'une « tête chercheuse » chargée de collecter éventuellement des renseignements auprès des autres groupes ou du professeur.
- Ce travail suppose que vous allez réveiller en vous l'« Indiana Jones » qui sommeille : devant vous se dressent des énigmes dont il faut percer tous les mystères !

Enoncé des consignes :

Document 7 :

Le problème 41 du papyrus Rhind (du nom de celui qui le retrouva en 1858. Ce manuscrit du XV^e siècle av. J.-C., dû au scribe Ahmès, est une copie d'un texte bien plus ancien, du XVIII^e siècle) concerne le calcul du volume d'un cylindre de diamètre 9 et de hauteur 10, exprimé en quadruples hekats. Le texte ci-dessous, en écriture hiéroglyphique, peut être traduit comme suit :

De 9 ôte les 1/9, soit 1

Reste 8

Multiplie 8 par 8

Vient 64

Multiplie 64 par 10

Vient 640

Ajoute la moitié

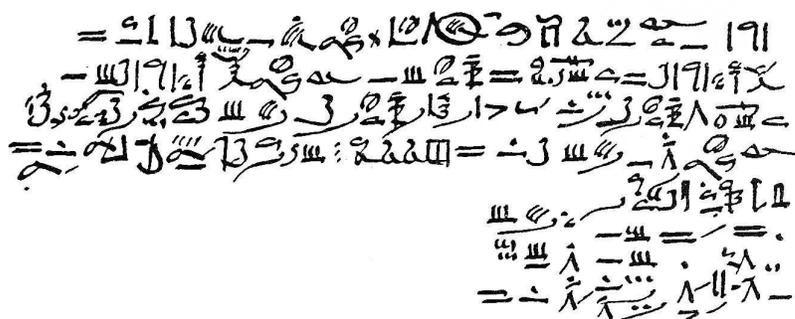
Vient 960

C'est la contenance en khars

Prends 1/20 de 960

Vient 48

48 quadruples hekats de grains y seront contenus.



1. Quelle première impression vous laisse ce texte ?
2. Il s'agit maintenant pour vous de comprendre et de justifier les calculs du scribe. Pour cela vous utiliserez vos connaissances sur les volumes ainsi que les quelques pistes données ci-dessous.

Piste n°1 :

- de quel nombre $3 + 13/81$ est il une approximation ?
- démontrer que $3 + 13/81 = 4 (1 - 1/9)^2$
- les égyptiens ne connaissaient que les fractions de la forme $1/n$, ils ne pouvaient donc pas écrire $3 + 13/81$.

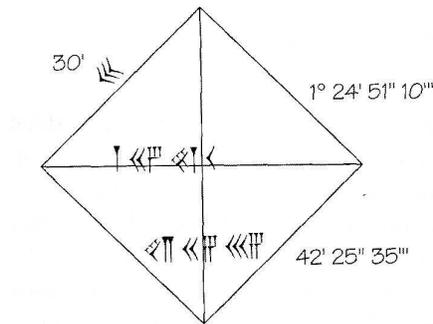
Piste n°2 :

Sachez que pour le scribe :

- l'unité de longueur utilisée était le « meh »
- pour l'unité de volume plutôt que d'utiliser le « meh³ » on préférait le « khar » et que :
- $1 \text{ khar} = 2 / 3 \text{ meh}^3$
- enfin : $20 \text{ khars} = 1$ « quadruple hekat »

Document 8 :

La figure ci-dessous est une représentation de la tablette babylonienne numéro 7289 de la collection de Yale (elle date également de la période entre le XVIII^e et le XV^e siècle av. J.-C). Les caractères cunéiformes correspondent à l'écriture décimale de nombres. Or les babyloniens calculaient en base 60 ! On a retranscrit à côté les nombres en utilisant une notation plus moderne (voir piste n°1)



1. Il s'agit pour vous de comprendre et de justifier les calculs présentés sur la tablette. Pour cela vous utiliserez vos connaissances de géométrie et les pistes données ci-dessous.

Piste n°1 : l'écriture $1\ 24' 51'' 10'''$ signifie $1 + 24/60 + 51/60^2 + 10/60^3$

- donner alors les sept premiers chiffres du développement décimal de ce nombre.
- de quel nombre $1\ 24' 51'' 10'''$ est-il une approximation ?

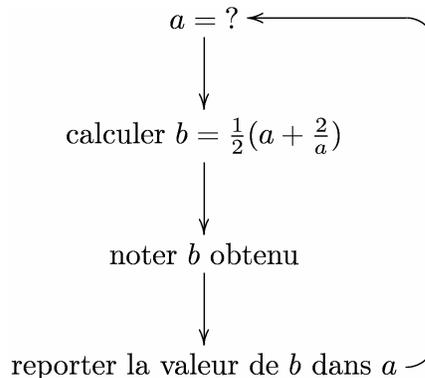
Piste n°2 :

- chercher le lien entre les trois nombres mentionnés sur la tablette

2. Dessinez vous-même un carré et munissez vous d'une règle gradué puis :

- a) en mesurant le côté et la diagonale de ce carré quelle approximation de $\sqrt{2}$ obtenez vous ?
- b) quelle aurait dû être la taille du carré tracé afin d'obtenir la précision des Babyloniens sur $\sqrt{2}$? Est- il raisonnable de penser que les Babyloniens aient pu obtenir cette précision en mesurant des longueurs ?

3. L'algorithme ci- dessous est attribué à Héron d'Alexandrie mais il est probablement bien antérieur. Pour déterminer une approximation de $\sqrt{2}$, on utilise la boucle suivante :



Pour commencer, il faut entrer une première valeur de a que l'on choisit : prenons $a = 1$ (une première valeur approchée de $\sqrt{2}$). On a alors pour le premier tour de boucle : $a = 1$, $b = \frac{1}{2}(1 + 2) = \frac{3}{2}$ et on repart.
Faire trois tours successifs de boucle et vérifier la qualité de l'approximation de $\sqrt{2}$ obtenue avec b à chaque fin de tour.

Suite de la fiche élève activité 2

Désignation : le passage du montrer au démontrer dans l'histoire des mathématiques (suite)

Organisation générale :

- le travail proposé va déboucher sur une production individuelle (devoir à la maison à rendre à une date fixée).
- Pour vous aider à aborder ce devoir à la maison, une séance préliminaire vous est proposée durant laquelle des « acteurs confirmés » vont mettre en scène pour vous le texte objet central de votre devoir.
- Durant cette séance vous allez être spectateurs mais aussi acteurs puisque vous serez amenés à répondre aux sollicitations des personnages que vous allez découvrir.
- N'hésitez pas à prendre des notes durant cette séance, elles vous seront sans aucun doute d'une aide précieuse par la suite.

Énoncé des consignes :

Devoir maison

Partie A :

1. Proposez votre traduction de la démonstration d'Euclide pour la proposition CXVII (document 9 ci-dessous) en gardant évidemment le même souci de rigueur.
2. Comparez votre traduction avec le texte d'Euclide : expliquez ce qui les distingue.
3. Expliquez en quelques mots en quoi consiste un raisonnement par l'absurde.
4. A quels moments Euclide utilise-t-il un raisonnement par l'absurde dans sa proposition CXVII ?
5. Reprenez les propositions 47.10, 29.9 et 11.8. et pour chacune d'elles :
 - a) énoncez la propriété à démontrer ;
 - b) démontrez cette propriété avec vos propres connaissances.

Partie B : Cette partie du devoir porte sur l'ensemble des documents de la deuxième activité.

1. En vous basant sur les documents 7, 8 et 9 (qui sont représentatifs des productions des deux époques en question) qu'est ce qui distingue fondamentalement les mathématiques grecques des mathématiques égyptiennes et babyloniennes ?
2. D'après vous quelles sont les raisons qui ont amené au développement des mathématiques grecques ?

Partie C : Pour terminer sur une note philosophique :

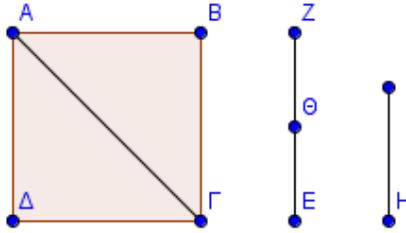
1. lisez le document 10 proposé ci-dessous
2. Quelles est, d'après Platon, la nature des objets mathématiques ?
3. Quel est, d'après Platon, le rôle de la figure ?
4. Étant données de telles conceptions, comprenez vous pourquoi un raisonnement qui est bâti sur un découpage n'a pas valeur de preuve ?

Document 9 :

PROPOSITION CXVII

Qu'il nous soit proposé de démontrer que dans les figures carrées la diagonale est incommensurable en longueur avec le côté.

Soit le carré $AB\Gamma\Delta$, et que $A\Gamma$ soit sa diagonale ; je dis que la droite $A\Gamma$ est incommensurable en longueur avec AB .



Qu'elle lui soit commensurable, si cela est possible ; je dis qu'il s'en suivrait qu'un même nombre serait pair et impair. Or il est évident que le carré de $A\Gamma$ est le double du carré de AB (47.10) ; mais $A\Gamma$ est commensurable avec AB . Que $A\Gamma$ ait avec AB la raison que le nombre EZ a avec le nombre H , et que les nombres EZ , H soient les plus petits de ceux qui ont la même raison avec eux. Puisque ΓA est à AB comme EZ est à H , le carré de ΓA sera au carré de AB comme le carré de EZ est au carré de H . Mais le carré de ΓA est double du carré de AB ; le carré de EZ est donc double du carré de H ; le carré du nombre EZ est donc pair. Le nombre EZ est donc pair ; car s'il était impair, son carré serait impair (29.9) ; le nombre EZ est donc un nombre pair. Partageons le nombre EZ en deux parties égales en Θ . Puisque les nombres EZ , H sont les plus petits de ceux qui ont la même raison avec eux, ces nombres sont premiers entr'eux. Mais le nombre EZ est pair ; le nombre H est donc impair. Car s'il était pair, les nombres EZ , H , qui sont premiers entr'eux, seraient mesurés par deux ; parce que tout nombre pair a une partie qui en est la moitié, ce qui est impossible. Le nombre H n'est donc pas un nombre pair ; il est donc impair. Mais EZ est le double de $E\Theta$; le carré de EZ est donc quadruple du carré de $E\Theta$ (11.8). Mais le carré de EZ est le double du carré de H ; le carré de H est donc double du carré de $E\Theta$; le carré de H est donc pair ; le nombre H est donc pair, d'après ce qui a été dit (29.9). Mais il est aussi impair, ce qui est impossible ; la droite $A\Gamma$ n'est donc pas commensurable en longueur avec AB ; elle lui est donc incommensurable. Ce qu'il fallait démontrer.

Document10 :

Platon, dans *La République*, fait dialoguer Socrate avec Glaucon. Voici un extrait du livre VI :

Tu n'ignores pas, je pense, que ceux qui s'occupent de géométrie, d'arithmétique et autres sciences du même genre, supposent le pair et l'impair, les figures, trois espèces d'angles et d'autres choses analogues suivant l'objet de leur recherche : qu'ils les traitent comme choses connues, et que, quand ils en ont fait des hypothèses, ils estiment qu'ils n'ont plus à en rendre aucun compte ni à eux-mêmes ni aux autres, attendu qu'elles sont évidentes à tous les esprits ; qu'enfin, partant de ces hypothèses et passant par tous les échelons, ils aboutissent par voie de conséquences à la démonstration qu'ils s'étaient mis en tête de chercher.

Oui, dit-il, cela, je le sais.

Par conséquent, tu sais aussi qu'ils se servent de figures visibles et qu'ils raisonnent sur ces figures, quoique ce ne soit point à elles qu'ils pensent, mais à d'autres auxquelles celles-ci ressemblent. Par exemple c'est du carré en soi, de la diagonale en soi qu'ils raisonnent, et non de la diagonale telle qu'ils la tracent, et il faut en dire autant de toutes les autres figures. Toutes ces figures qu'ils modèlent ou dessinent, qui portent des ombres et produisent des images dans l'eau, ils les emploient comme si c'était aussi des images, pour arriver à voir ces objets supérieurs qu'on n'aperçoit que par la pensée.

C'est vrai, dit-il.

Annexe 1 : quelques éléments d'histoire des mathématiques

Egyptiens-Babyloniens

On a retrouvé toute une série de tablettes ou de cylindres où étaient écrites des tables d'opérations :

- des tables pour les calculs des carrés et des cubes pour les constantes géométriques permettant, par exemple, d'obtenir l'angle d'une figure en fonction des ses éléments
- des tables pour les constantes techniques, par exemple, indiquant la quantité de goudron qu'il faut utiliser par unité de surface quand on veut effectuer telle ou telle technique.

La gamme de ces tables était suffisamment étendue pour leur permettre d'effectuer les calculs assez vite en lisant les résultats.

Mais, dans cette mathématique, on trouve essentiellement des résolutions de problèmes. Nous n'avons pas de traités donnant des théorèmes ou de problèmes accompagnés de justification de la procédure à suivre.

Les problèmes traités montrent parfois une grande virtuosité technique mais, la transmission de ces savoirs par les écrits des scribes ne s'accompagne pas d'un souci de justification

Grecs

C'est à compter du début du VI^e siècle avant J.-C., **avec l'apparition de la géométrie grecque que naîtront progressivement le raisonnement déductif et la démonstration.**

C'est alors une période de grande civilisation pour les Grecs qui habitent la côte ouest de l'Asie Mineure (les Ioniens). On y voit apparaître les premières écoles de pensée philosophique et mathématique.

De Thalès (625-546 av. J.-C.) à Socrate (470-399 av. J.-C.) s'esquisse la figure du philosophe « l'ami de la sagesse », aspirant à un savoir pratique et théorique fondé sur la raison (le logos), seul outil nécessaire et suffisant à toute connaissance. Objets de discussions, les propositions mathématiques ne sont plus de simples énoncés traduisant des faits empiriques, mais nécessitent désormais une preuve afin de convaincre son auditoire.

- Avec Thalès, on renonce à recourir aux dieux et aux forces magiques pour expliquer l'ordre du monde.
- Avec Pythagore (582-500 av. J.-C.) la connaissance est gouvernée par un effort de l'esprit pour reconstituer derrière les apparences – parce que nos sens limités ne nous donnent que l'apparence des choses – et souvent contre elles, des principes élémentaires naturels n'empruntant rien à la mythologie religieuse. Pythagore, pour qui le nombre est l'essence même des choses, fonde ainsi l'arithmétique comme discipline théorique.
- Avec Platon (427-347 av. J.-C.) on prend pleinement conscience du caractère abstrait des mathématiques. Son école distingue le monde réel du monde des Idées où résident les Vérités éternelles et immuables. C'est donc là qu'il s'agit de chercher la connaissance vraie. Cette perception des mathématiques comme distincte du monde physique a des conséquences sur le plan de la démonstration : tout recours à l'expérience est désormais à proscrire. Les platoniciens préconisent l'usage exclusif du raisonnement déductif, et ce choix transforme radicalement les mathématiques.
- Aristote (384-322 av. J.-C.), quant à lui, pose les règles de la logique dont celles du raisonnement déductif. Pour lui, « savoir, c'est connaître par le moyen de la démonstration ».

Ainsi, pour les pythagoriciens, le nombre, c'est le nombre entier qui est représentable géométriquement. Cette conception du nombre induit un lien systématique entre grandeur géométrique et nombre.

Concernant le problème des rapports c'est à dire des comparaisons de longueurs, persuadés que derrière les longueurs il y a des nombres entiers, ils estiment que derrière les rapports de longueurs il y a donc des rapports de nombres entiers. Au final, soit on a un nombre entier soit on a un nombre fractionnaire.

La diagonale du carré perturbe cet édifice rationnel et naturel parce que le rapport de la diagonale du carré à son côté ne peut pas s'exprimer sous forme de fraction. On pourrait dire que c'était un fait déjà connu des babyloniens (mais pas en ces termes là) car ils savaient calculer les décimales de $\sqrt{2}$ et avaient remarqué qu'un tel développement ne fait pas apparaître de périodicité. Or les rationnels sont caractérisés par la périodicité de leur développement décimal.

De tels problèmes sont à l'origine d'efforts considérables que fourniront les mathématiciens grecs pour **démontrer par un raisonnement logique que certaines de leurs convictions sont fausses** ($\sqrt{2}$ n'est pas un nombre rationnel par exemple).

Euclide (323-25 av. J.-C.) présentera environ 300 avant J.-C. ses *Eléments* composés de 13 livres qui proposent une fondation et une construction rigoureuse de la géométrie et de l'arithmétique. On y trouve, dans la partie arithmétique, la démonstration de l'irrationalité de $\sqrt{2}$.

Les éléments d'Euclide sont une synthèse des connaissances mathématiques de l'époque dans un ordre rigoureux où chaque propriété est énoncée puis démontrée à partir de propriétés précédemment énoncées et démontrées. En ce sens, on peut parler d'une chaîne puisque pour démontrer il faut connaître les énoncés antérieurs eux mêmes déjà validés.

Annexe 2 : introduction au document 9

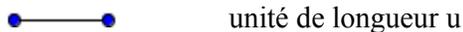
Les Pythagoriciens considèrent les nombres comme éléments « constitutifs » de la matière : de même que les constellations ont un nombre qui leur est propre, toutes les choses connues ont un nombre.

Par nombre ils entendent **nombre entier** (L'Unité comme l'Etre ne peuvent se diviser).

Ces nombres sont représentés géométriquement par des segments de droites.

Par exemple :

Représentation



Nombre 2



Nombre 3



Les opérations sont aussi représentées géométriquement :

On additionne deux nombres en mettant bout à bout les segments qui les représentent.

Le produit ab des deux nombres a et b correspond à l'aire du rectangle de côtés a et b.

Un produit de trois nombres correspondra à un volume.

La notion de rapport apparaît alors naturellement quand on veut comparer deux grandeurs.

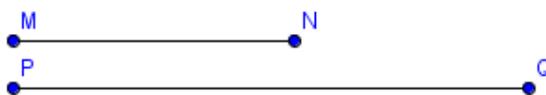
Par exemple, sur la figure ci-dessus, le rapport entre les longueurs EF et GH est de 2 sur 3 ; les Pythagoriciens disaient eux :

EF a avec GH la même raison que 2 avec 3 (ce que nous traduirons dans notre langage

contemporain par : $\frac{EF}{GH} = \frac{2}{3}$)

La notion de rapport (pour nous le nombre rationnel) existe donc bel et bien mais **n'a pas pour les Pythagoriciens le statut de nombre** : ils considèrent simplement ce rapport comme une technique pratique dans certains calculs.

Dans le contexte que nous venons de décrire considérons deux segments :



Pouvoir les comparer suppose donc pour les Grecs que **l'on dispose d'une même unité de longueur dans laquelle on va pouvoir les mesurer** : c'est-à-dire qu'il faut supposer l'existence d'une unité u dans laquelle :

- le segment MN sera mesuré par un nombre entier a
- le segment PQ sera mesuré par un nombre entier b

Les Grecs disent alors que **les segments MN et PQ sont commensurables en longueur**.

Dans notre langage contemporain, nous écrivons que $MN = au$ et $PQ = bu$ puis que le rapport

$\frac{MN}{PQ} = \frac{a}{b}$. Réciproquement, étant donnée une telle égalité de fractions, nous choisissons l'unité de

telle sorte que $PQ = bu$; il en résulte alors que $MN = au$ en simplifiant, donc que l'unité u mesure

MN et PQ. Finalement, les segments MN et PQ sont commensurables en longueur si et seulement si $\frac{MN}{PQ}$ est un nombre rationnel.

L'idée que deux grandeurs sont forcément commensurables a longtemps eu pour les Grecs valeur de vérité indiscutable. La découverte de l'incommensurabilité de la diagonale du carré avec son côté (c'est-à-dire en termes contemporains l'irrationalité du nombre $\sqrt{2}$) remonte très probablement aux Pythagoriciens et a dû être un choc pour eux car c'était contraire à leur intuition.

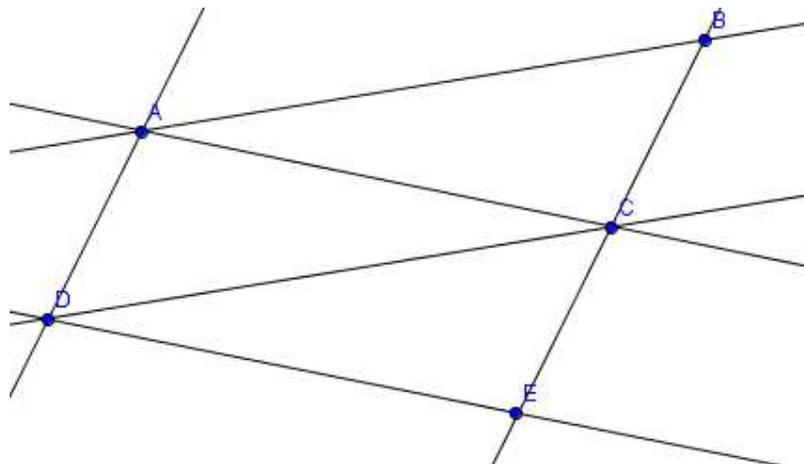
La première preuve de ce résultat dont on possède une trace écrite est celle donnée par Euclide dans son traité *Les Eléments*.

Fiche élève activité 3

Désignation : la chaîne des raisons

Pour comprendre « cette longue chaîne de raisons » dont les géomètres ont coutume de se servir (comme le dira bien plus tard Descartes, 1596-1650), examinons le fil d'une petite démonstration telle que nous la faisons aujourd'hui.

Document 11 :



A, B, C, D, E sont des points tels que ABCD et ACED sont des parallélogrammes. On veut démontrer que le point C est le milieu du segment [EB]

1. Pour cela, à la manière d'Euclide, efforcez-vous tout au long de votre démonstration d'être le plus convaincant possible en :

- donnant une définition claire des objets géométriques en jeu dans cette activité (parallélogramme, milieu, ...)
- énonçant rigoureusement les propriétés géométriques (des parallélogrammes, ...) que vous serez amenés à utiliser au fur et à mesure de votre démonstration.

Euclide a intégré la plupart des propriétés géométriques connues à son époque en un système déductif unique, exposé dans *les Eléments*, en dégagant les propriétés de base (les axiomes) desquelles découlent toutes les autres par simple déduction logique. Les axiomes sont en nombre minimal et n'ont pas à être démontrés. Ils s'appuient sur une intuition de l'espace. Par exemple, voici les quatre premières « demandes » ou « postulats » d'Euclide :

- Mener une ligne droite de tout point à tout point.
- Prolonger continûment en ligne droite une ligne droite limitée.
- Décrire un cercle à partir de tout centre et au moyen de tout intervalle.
- Et que tous les angles droits soient égaux entre eux.
- Le cinquième postulat (postulat des parallèles) a l'air moins évident. Euclide l'énonce comme suit :

Et que si une droite tombant sur deux droites fait les angles intérieurs et du même côté plus petits que deux droits, les deux droites, indéfiniment prolongées, se rencontrent du côté où sont les angles plus petits que deux droits.

2. Donnez une traduction plus intelligible pour nous de ce 5^{ème} postulat (on peut utiliser une figure pour illustrer la situation ; on veillera à mettre en évidence hypothèses et conclusion).

A partir de ces axiomes, Euclide énonce alors toute une série de propositions qu'il démontre successivement sachant que toute proposition se démontre en considérant comme acquis les axiomes (les postulats) et les propositions précédentes elles même déjà démontrées.

Parmi cette longue série de propositions en voici deux (que pour simplifier j'ai nommé 1 et 2) qui vont nous être utiles pour la suite :

Proposition 1 : Une ligne droite tombant sur des droites parallèles fait des angles alternes internes égaux entre eux.

Proposition 2 : Deux triangles ayant un côté de même longueur compris entre deux angles de même mesure sont superposables.

3. Donnez pour chacune des propositions 1 et 2 une traduction modernisée qui mette clairement en évidence hypothèses et conclusions. On pourra illustrer l'énoncé à l'aide d'une figure.
4. Vous allez supposer dans cette question que les propositions 1 et 2 ont été démontrées. Démontrez alors la propriété utilisée pour l'exercice du document 11 et que voici ré-énoncée sous le nom de proposition 3 :
Proposition 3 : si un quadrilatère a des côtés opposés parallèles alors ses côtés opposés ont même longueur.
5. Revenons en arrière. Démontrez maintenant la proposition 1 en utilisant uniquement les axiomes (et évidemment plus particulièrement l'axiome 5).

Fin de l'histoire et début d'une autre :

A propos de l'axiome 5

Euclide était persuadé que ce fameux 5^{ème} axiome, qui par la complexité de son énoncé dénotait des autres, devait en fait sûrement être démontrable (autrement dit qu'il ne s'agissait pas d'un axiome posé comme acquis mais d'une propriété qui se démontrait), mais ses tentatives visant à démontrer le 5^{ème} axiome restèrent vaines.

A l'instar d'Euclide, les mathématiciens qui lui ont succédé ont longtemps poursuivi le même but. On arriva simplement à démontrer que ce 5^{ème} axiome avait un énoncé équivalent plus simple que voici :

5^{ème} axiome (bis) : *Par un point on peut mener une parallèle et une seule à une droite donnée.*

Pour démontrer cette nouvelle version de l'axiome 5, certains d'entre eux eurent l'idée de raisonner par l'absurde : il s'agissait donc de supposer que par un point on peut mener soit plusieurs soit aucune droite parallèle à une droite donnée. Et partant de cette hypothèse il ne restait plus alors qu'à prouver qu'elle entraînait forcément une contradiction

Mais en procédant ainsi, malgré tous leurs efforts, de contradiction ils ne trouvèrent pas.

Alors naquit l'idée qu'en fait, on pouvait construire d'autres géométries que la géométrie euclidienne ! Pourquoi, par exemple, ne pas imaginer une géométrie où l'on remplacerait l'axiome 5 d'Euclide par le nouvel axiome suivant : *Par un point, il passe une infinité de droites parallèles à une droite donnée ?*

C'est ainsi qu'apparurent vers 1830 de nouvelles géométries que l'on nommera géométries non euclidiennes et que nous utilisons aujourd'hui pour décrire par exemple la structure de l'espace dans les théories cosmologiques.

Mais ceci est une autre histoire...

Expérimentation prévue en 2009-10 au lycée Jean Moulin de Béziers

	IREM 6- Compte-rendu(s) d'expérimentation au cours des mises en œuvre successives	 E. M. R. I. de 1 Montpellier
--	--	--

Expérimentation prévue en 2009-10 au lycée Jean Moulin de Béziers

Dahan-Dalmedico, A. et Peiffer, J. (1986). *Une histoire des mathématiques : routes et dédales*. Points Sciences Le Seuil.

Commission Inter-IREM Histoire et Épistémologie des Mathématiques (1987). *Mathématiques au fil des âges*. Paris : Gauthier-Villars.

Commission Inter-IREM Histoire et Épistémologie des Mathématiques (1990). *La démonstration mathématique dans l'histoire, Actes du 7ème colloque inter-IREM Épistémologie et Histoire des Mathématiques – Besançon – 12 et 13 mai 1989*. IREM de Besançon et IREM de Lyon.

Guichard, J. (1993). *Statut et fonctions de la démonstration en mathématiques : quelques repères*. Brochure de l'IREM de Poitiers.

Odifreddi, P. et Bartocci, C. (2009). *La grande histoire des mathématiques; T1 : les lieux et les hommes*. Préface de Blay, M. CNRS Eds.

Nouveau programme de mathématiques en classe de seconde générale et technologique (juillet 2009) : [BO n°30 du 23 juillet 2009](#)

ÉduSCOL (juillet 2009). *Mathématiques – Lycée – Ressources pour la classe de seconde – Notations et raisonnement mathématiques*. Consultable sur <http://www.eduscol.education.fr>

ÉduSCOL (juin 2009). *Mathématiques – Collège – Ressources pour les classes de 6e, 5e, 4e, 3e du collège – Raisonnement et démonstration*. Consultable sur <http://www.eduscol.education.fr>

ÉduSCOL (juillet 2009). *Mathématiques – Collège – Ressources pour les classes de 6e, 5e, 4e, 3e du collège – Géométrie au collège*. Consultable sur <http://www.eduscol.education.fr>

Etape	Date	Réalisations	Contributeurs
1	novembre 2009	travail bibliographique : étude historique et épistémologique de la démonstration mathématique	Thomas Hausberger, Bernadette Rumeau
2	janvier 2009	germe d'activité 1 : recueil de situations de monstrations et de démonstrations	Thomas Hausberger, Bernadette Rumeau
3	mars 2009	sélection de documents historiques illustrant l'ère pré-démonstrative d'une part et l'apparition de l'exigence démonstrative d'autre part ; écriture de la fiche élève de l'activité 2	Thomas Hausberger, Bernadette Rumeau
4	juin 2009	rédaction de la fiche élève de l'activité 3	Thomas Hausberger, Bernadette Rumeau
5	juillet 2009	écriture des scénarios pédagogiques détaillés	Bernadette Rumeau
6	septembre 2009	commentaires didactiques et épistémologiques, finalisation des fiches	Thomas Hausberger
7	octobre 2009	relecture	Équipe IREM Sciences

	Les mirages	
--	--------------------	---

SOMMAIRE

1- Fiche d'identification	2
2- Fiche professeur	4
3- Détail des activités	5
3-1- Description de la partie I de l'activité	6
3-2- Description de la partie II de l'activité	12
4- Scénarios d'usage	17
- Scénarios d'usage - Partie I	17
- Scénarios d'usage - Partie II	17
5- Fiches élève	19
6- Traces de travaux d'élèves	25
7- Compte-rendu(s) d'expérimentation au cours des mises en œuvre successives	30
8- Bibliographie	31
9- Evolution de la ressource (CV)	32

Discipline scientifique	PHYSIQUE CHIMIE	
Thème	Les mirages optiques	
Niveau	Lycée : classes de seconde, option DCS, première L, terminales S	
Cadre	Notions scientifiques travaillées	<ul style="list-style-type: none"> - bases de l'optique géométrique - propagation de la lumière, rayon lumineux - loi de la réfraction - mirage optique - démarche d'investigation
	Notions épistémologiques de référence	<ul style="list-style-type: none"> - construction des savoirs historiquement située - représentation - observation - modèle
Objectifs	Compétences épistémologiques	<p>On cherchera à amener l'élève à :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contextualiser la construction d'un savoir sur le plan historique. - 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.
	Compétences transversales	<ul style="list-style-type: none"> - Trier des informations, décrire une expérience, un phénomène. - Utiliser un vocabulaire scientifique, rédiger une argumentation en utilisant à bon escient les conjonctions (car, donc, si, alors, etc.). - s'appropriier l'énoncé et se sentir acteur capable de répondre aux questions posées.

		<ul style="list-style-type: none"> - exercer son esprit critique - prendre part au débat de façon constructive : écouter, réfléchir, prendre la parole, argumenter. - comprendre et analyser des documents.
Modalités pratiques de déroulement	Durée	Deux séances I et II d'une heure et demie à deux heures chacune.
	Equipement spécifique	<ul style="list-style-type: none"> - lanterne de disque optique - demi-cylindres plein et creux - rétroprojecteur et transparents
Dispositifs pédagogiques	<ul style="list-style-type: none"> - I : travail collectif (1/2 classe : 16 à 18 élèves) - II : travail en 5 groupes de 3 à 4 élèves 	
Description de l'activité	<ul style="list-style-type: none"> - partie I : Discussions et débats conduits par le professeur au cours desquels on cherchera à susciter le questionnement de l'élève sur la construction du savoir scientifique. - partie II : Utilisation des textes originaux pour amener l'élève à proposer un schéma explicatif du phénomène des mirages. Manipulations simples pour l'étude de la réflexion totale. 	
Fichiers constitutifs de la ressource	<ul style="list-style-type: none"> - Document d'accompagnement - fiche élève - texte original de Descartes : la dioptrique - texte original de Monge : la compagne d'Égypte 	
Mots-clés	optique géométrique, mirage, Monge, Descartes, réflexion totale, histoire des sciences, modèle, esprit critique, observation scientifique.	
Auteurs	groupe IREM Montpellier II	

Programme officiel	<u>B.O. Hors Série N°2 du 30 août 2001</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ L'enseignement des sciences au lycée (cf. annexes) ○ Programme de physique-Chimie de la classe de seconde : <u>Lois de Descartes sur la réfraction :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Connaître et appliquer les lois de Descartes ▪ Étudier expérimentalement la loi de Descartes sur la réfraction (Utiliser un dispositif permettant d'étudier les lois de la réfraction, repérer un angle entre un rayon lumineux et une référence, mesurer un angle
	Commentaires : <p>La présente activité peut être mise en œuvre dans le cadre de thèmes au choix en seconde. L'étude des mirages, est en effet un prolongement possible aux lois de Descartes, et l'approche épistémologique propose un éclairage différent sur le thème. Elle peut également trouver sa place dans le cours de première L où les illusions optiques sont abordées. On peut utiliser la première partie (nécessitant très peu de pré-requis scientifiques) avec le professeur de philosophie en classe de terminale.</p>
Pré requis	partie I : aucun partie II : notion de rayon lumineux, condition de visibilité d'un objet, notion d'image, lois de la réfraction.
Intérêt	<ul style="list-style-type: none"> - faire prendre conscience aux élèves qu'ils ne doivent pas recevoir passivement les savoirs et les connaissances, mais exercer et développer leur esprit critique. - présenter un visage plus vivant de la science en revenant sur les textes originaux parfois fort éloignés des énoncés modernes. Ce retour à l'histoire des découvertes permet de situer la problématique abordée en classe et met en évidence l'importance du questionnement. - prendre conscience que la construction du savoir scientifique est une activité humaine qui dépend du contexte socio-historique (initiation à l'épistémologie).

objectifs	Compétences épistémologiques⁽¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> - Comprendre la différence entre une description et un jugement de valeur. La description donne une représentation d'une situation alors que le jugement de valeur énonce ce que, selon certains, il est souhaitable de faire, voire ce que l'on devrait faire. - Comprendre qu'un phénomène peut être appréhendé sous plusieurs angles différents : physique, psychologique, psychique, social, etc. Les éclairages possibles ne sont pas en concurrence et tentent d'apporter des explications dans des domaines différents. En outre, pour un domaine donné, les explications fournies, les caractéristiques retenues pour la description, les représentations proposées sont fortement influencées par le contexte socioculturel. - Comprendre que la réalisation d'une observation ne consiste pas en la réception passive d'une série d'informations préexistantes. Au contraire, c'est interpréter, construire une représentation de ce que l'on voit en fonction d'un projet, d'un contexte et avec des critères choisis et non donnés. - Comprendre que se donner une représentation de l'état du monde correspond à une simplification. La représentation n'est pas le « réel » mais un objet artificiel (fait par et pour les humains) qui, dans les réflexions et les discussions, peut tenir la place du réel. Elle est valable, dans certains contextes et en vue de certains projets. - Comprendre qu'un modèle, une classification, un concept, une théorie, une loi scientifique, etc., sont des manières de se représenter le monde qui nous entoure pour nous permettre de le comprendre, d'en parler et d'y agir. Ces grilles ont des limites (champs d'application pratique, domaine de validité...).
	Compétences transversales	<ul style="list-style-type: none"> - trier des informations, décrire une expérience, un phénomène, - utiliser un vocabulaire scientifique, rédiger une argumentation en utilisant à bon escient les conjonctions (car, donc, si, alors, etc.). - s'approprier l'énoncé et se sentir acteur capable de répondre aux questions posées. - exercer son esprit critique. - prendre part au débat de façon constructive : écouter, réfléchir, prendre la parole, argumenter. - comprendre et analyser des documents.
	Compétences scientifiques	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser un modèle pour interpréter un phénomène physique - Réaliser une observation scientifique - Effectuer des mesures

(1) d'après le référentiel proposé par Englebert et al, 1998

LES GRANDES LIGNES :

Il s'agit de mettre les élèves en situation de questionnement sur des points qui sont souvent passés sous silence : Nos représentations spontanées sont-elles dégagées de toute influence ? Quelle est l'intention cachée derrière une proposition de représentation ? Comment juger de la valeur d'une observation ? Un phénomène comme les mirages est-il réductible à son aspect physique ? Cette première activité repose donc sur une forte participation des élèves. Ceux-ci sont d'abord mis en situation d'illustrateurs de dictionnaire et doivent proposer un dessin accompagnant la définition du mot « mirage ». Les représentations proposées sont ensuite examinées et discutées collectivement. Le professeur joue le rôle d'animateur du débat en introduisant progressivement des textes ou des questions qui le relancent. Les élèves conservent la trace de toutes les questions posées et rédigent un bilan personnel en fin de séance.

La présentation qui suit fait référence aux différentes parties du document élève repérées par des lettres. Le document élève est préalablement découpé et les différentes parties, distribuées au fur et à mesure.

- - - - - partie (A) du document - - - - -

1- Présentation de l'activité

- A1
 - présentation de l'activité

Le professeur présente l'activité en précisant notamment que son objectif est de mettre les élèves en situation de questionnement et non de donner des connaissances théoriques sur le phénomène des mirages. Il insiste sur le fait que c'est la participation au débat qui est formatrice et que toutes les questions et les réponses apportées seront intéressantes. Le professeur précise que son rôle est d'animer le débat en garantissant la parole et l'écoute de chacun. Cette présentation a pour but de mettre tous les élèves en confiance et notamment ceux qui éprouvent des difficultés lors des séances plus classiques.

Il est également demandé aux élèves de conserver une trace écrite de la séance. Pour cela, le texte de l'activité préalablement découpé est distribué au fur et à mesure. Les élèves collent la partie du document distribuée et prennent des notes au-dessous. Si les élèves ne sont pas à l'aise avec la prise de notes, on peut leur demander de relever simplement les questions posées. Ce découpage permet d'adapter l'activité à la réactivité de la classe. Toutes les parties ne seront pas forcément utilisées. Il permet aussi de structurer la trace écrite de l'élève.

Un quart d'heure sera réservé à la rédaction d'une synthèse personnelle, en fin de séance.
 - consignes pour la trace écrite

2- Illustration et définition

- A2
- mise en situation proposée par le professeur
 - production des illustrations par les élèves
 - rédaction de la définition par les élèves // examen et affichage des productions par le professeur
- Le professeur met les élèves en situation de rédacteurs de dictionnaire par exemple et leur demande de proposer individuellement une illustration et une définition du mot « mirage », aucune autre précision n'est apportée.
- Pour faciliter l'examen collectif des productions, les illustrations sont réalisées anonymement en couleur sur des ½ feuilles A4. Il est demandé aux élèves de commencer par l'illustration et de réfléchir ensuite à la définition au brouillon. Les illustrations seront relevées et le professeur pourra ainsi commencer à les examiner pendant la rédaction de la définition.
- Les représentations proposées constituent la matière première de la séance et le point de départ de la discussion. Il est donc important d'accorder suffisamment de temps à leur réalisation : on pourra engager les élèves les plus rapides à soigner le rendu esthétique ou à commencer la rédaction de la définition au brouillon. Tous les élèves doivent arriver à produire une illustration personnelle et réfléchie car la suite de l'activité repose en grande partie sur ces dessins, la définition au brouillon est plus secondaire.
- En cours de réalisation, les élèves peuvent poser des questions ou demander des précisions : Les élèves ne doivent pas craindre que leurs productions soient jugées par rapport aux attentes supposées du professeur. et ce dernier doit bien exprimer qu'il n'y aura pas de réponses exactes ni fausses mais seulement des propositions à commenter collectivement. Il encouragera une production personnelle en ne fournissant pas de réponses aux questions éventuellement posées en cours de réalisation : *Doit-on faire une légende ? Est-ce qu'on doit représenter ceci ou cela ? Est-ce que c'est juste si je dessine ceci ou cela ? Pour quel dictionnaire travaille-t-on ?* et en réagissant éventuellement par d'autres questions : *Pourquoi est-il important de connaître le type de dictionnaire ? Quelles sont les différences entre une illustration de dictionnaire et un schéma légendé ? etc.*
- Les illustrations sont relevées puis les élèves rédigent la définition au brouillon.
- Le professeur a ainsi le temps d'examiner les dessins en vue de leur exploitation. Dans la suite de l'activité on attirera, par exemple l'attention sur : le choix de la localisation (désert /route /mer...), la représentation ou non d'un observateur, les éléments qui s'adressent à l'affect (larmes des observateurs représentés, postures abattues, éléments inquiétants du décor...), les suggestions d'hallucinations, les schémas avec des traits etc.
- Les illustrations seront fixées au tableau dans le désordre pour être toutes présentes en même temps sous

les yeux des élèves. Les élèves seront invités à les organiser de différentes façons et ajouter des commentaires à la craie. Restant ainsi affichées au tableau, il sera facile d'y faire référence par la suite. On peut évidemment utiliser à un autre moyen de présentation mais permettant autant de souplesse (scan des images puis diaporama, webcam...).

- examen collectif des représentations

On propose aux élèves de se réunir autour du tableau pour examiner les illustrations et on les laisse réagir librement en se contentant de noter leurs réactions. Le professeur les invite à développer ou à argumenter les commentaires, à proposer des catégories ou à réagir sur une proposition en particulier. Aucun jugement de valeur sur les retours des élèves ne doit être émis.

Le point le plus frappant est la fréquence plus élevée des représentations type désert par rapport aux représentations type route. Le professeur fait remarquer aux élèves que cela est assez étonnant car ce n'est pas le mirage auquel ils sont le plus souvent confrontés et leur propose de rechercher l'origine de cette représentation.

----- partie (B) du document -----

3- La représentation type désert

- recherche internet et discussion rapide sur l'origine de cette représentation

Les élèves recherchent dans leur livre d'histoire et/ou sur internet les événements autour de 1800 expliquant l'intérêt accordé au phénomène des mirages à cette époque. Ils découvrent que Gaspard Monge faisait partie des scientifiques accompagnant les troupes Napoléoniennes lors de la campagne d'Égypte. Le professeur incite les élèves à émettre des hypothèses expliquant pourquoi ces mirages « désert » ont tellement marqué les esprits.

- - - - - partie (C) du document - - - - -

- lecture expliquée des textes

Les textes descriptifs sont alors introduits : ils permettent d'une part, d'illustrer l'aspect historique précédemment évoqué et constituent d'autre part, un support à la suite de la discussion. Le professeur lit chacun des textes en apportant les explications nécessaires pour qu'ils soient aussi compréhensibles l'un que l'autre.

- discussion

Le débat est lancé à partir de la question posée sur la valeur de ces deux textes : lequel donne une meilleure description du phénomène ? On peut être surpris par la formulation de cette question qui sous entend déjà qu'un texte a une plus grande valeur absolue que l'autre alors que c'est précisément l'idée contraire qu'on aimerait voir émerger. Poser ainsi la question, quitte à rompre temporairement le contrat didactique, suscite des échanges plus investis et donc mieux argumentés que ne l'aurait permis une question plus neutre du style *En quoi ces textes diffèrent-ils l'un de l'autre ?*

Pour faire avancer le débat, le professeur engage les élèves – s'ils ne le font pas spontanément- à pointer les différences entre les deux textes : l'un est un poème lyrique qui insiste davantage sur le ressenti face à un mirage et la cruelle déception qui s'en suit, l'autre se veut plus dans la description visuelle du phénomène. On pourra faire réagir les élèves en revenant sur les illustrations proposées et en remarquant que beaucoup mettent en scène des éléments qui traduisent les émotions de l'observateur. Les élèves considèrent donc comme important d'associer le ressenti de l'observateur au phénomène.

La discussion doit permettre aux élèves de prendre conscience qu'on ne décrit jamais qu'un aspect d'un phénomène. Le poème et le texte se complètent et l'on peut difficilement soutenir qu'une description est meilleure que l'autre. Ces deux textes proposent deux éclairages différents du phénomène. Un mirage observé provoque en effet des émotions : étonnement, déception, émerveillement... Lorsqu'on fait une étude scientifique du phénomène, on choisit un angle d'approche en passant sous silence de nombreux aspects. Toute représentation résulte donc d'un choix par rapport au but poursuivi et ne peut prétendre rendre compte de toute la complexité et de la richesse de l'objet décrit.

On peut enfin revenir sur la question posée par le professeur en demandant aux élèves de la reformuler de manière plus pertinente, notamment en précisant le cadre dans lequel on demande de juger de la qualité de chacun des textes (approche scientifique, concours de poésie...).

, - - - - - partie (D) du document - - - - -

4- La proposition du professeur

- discussion de la proposition de photo du professeur
- Le but est ici de réinvestir ce qui a émergé lors de la discussion précédente en réfléchissant aux choix du professeur lorsqu'il propose une photo destinée à illustrer le phénomène du mirage.
- Le but de ce questionnaire est de faire prendre conscience aux élèves que la représentation proposée n'est pas donnée par hasard et qu'elle est le résultat d'un choix conscient. La proposition du professeur est discutée afin de révéler les intentions cachées derrière ce choix : On peut ainsi imaginer que le mirage « type route » a été retenu car c'est le plus fréquemment observé et que le professeur veut que ses élèves se sentent concernés par ce phénomène courant et espère ainsi susciter leur intérêt. Le fait de choisir une photo n'est pas non plus innocent car cela permet d'évacuer l'idée que le mirage est une hallucination.

, - - - - - partie (E) du document - - - - -

5- Définition

- élaboration collective de la définition
- La définition est élaborée avec les élèves . par exemple : *le mirage est un phénomène optique lors duquel l'observateur voit, selon sa position, un objet et son reflet alors qu'il n y a pas de surface réfléchissante.*

, - - - - - partie (F) du document - - - - -

6- Observation du phénomène

- association entre les observateurs et les observations
- Les élèves associent rapidement les observations aux différents personnages. La discussion est lancée en demandant aux élèves d'expliquer comment ils ont fait ces associations, l'objectif est de leur faire prendre conscience qu'une observation est réalisée dans un but précis. Le peintre, le soldat ou le poète n'observent pas les mêmes aspects du mirage car ils poursuivent des buts différents. Cette partie retravaille (comme au C) le fait qu'il n'est pas pertinent de juger les différentes observations comme « bonnes » ou « mauvaises » dans l'absolu. Les observations proposées ne sont valables si elles sont en adéquation avec le but poursuivi. Cette partie amène le questionnaire suivant sur les critères d'une « bonne » observation scientifique.
- Cette partie peut remplacer la partie C ou ne pas être traitée si tous les points importants ont déjà émergé.

- - - - - partie (G) du document - - - - -

- observation scientifique

Le texte de Biot mis en relation avec le texte précédent de Monge permet de distinguer observation et description, et permet de lister les caractéristiques d'une « bonne » observation scientifique c'est-à-dire destinée à l'étude et à la compréhension de l'aspect physique d'un phénomène. Ainsi observer un phénomène en physique ce n'est pas seulement le regarder avec ses yeux pour le décrire c'est :

- Choisir les éléments décrits pour caractériser le phénomène (*dépression des objets et de l'horizon*), il ne s'agit pas de chercher à lister de façon exhaustive tous les éléments.
- Identifier les paramètres jouant un rôle déterminant dans le phénomène (*température, circonstances météorologiques*).
- Choisir et utiliser les instruments adaptés pour réaliser les mesures (*quart de cercle de Bird*)
- Recueillir les éléments qui permettront de construire, de vérifier ou d'invalider une théorie explicative *il n'a rien omis de ce qui pouvait servir à vérifier la théorie mathématique de ces faits*)

Les critères de l'observation scientifique seront retravaillés lorsque les élèves auront à étudier le phénomène de réflexion totale dans la partie II.

Le professeur pourra prolonger la discussion en posant les questions suivantes :

Qu'est-ce qui détermine le choix des instruments ?

→ la technologie, les connaissances déjà amassées ou construites sur le phénomène et les éléments théoriques.

Un non scientifique peut-il faire une bonne observation scientifique ?

→ Il y a peu de chance qu'un observateur non averti recueille toutes les informations pertinentes car il ne connaît pas la méthode du scientifique et ne se représente pas les finalités de l'observation.

Lorsqu'on rend compte d'une observation, pourquoi indique-t-on les instruments avec lesquels on l'a réalisée ?

→ pour que l'observation puisse être réalisée par un autre scientifique (reproductibilité)

- - - - - partie (H) du document - - - - -

7- Synthèse personnelle

- rédaction de la synthèse

On demande aux élèves de rédiger une synthèse de la séance. Ils peuvent émettre des commentaires positifs ou négatifs mais il leur est demandé de les développer. La forme et la longueur sont libres.

LES GRANDES LIGNES :

Le but est ici d'amener les élèves à proposer et à critiquer un schéma explicatif du phénomène des mirages en s'appuyant sur les textes originaux de Descartes et de Monge. Il est dans un premier temps nécessaire de rappeler et d'introduire quelques éléments théoriques (lois de Descartes et phénomène de réflexion totale) pour que les élèves puissent ensuite proposer un schéma explicatif intégrant la description en couches d'air introduite par Monge.

L'activité s'articule en trois temps :

- rappel des lois de la réfraction et discussion autour du texte original de Descartes
- manipulation permettant la mise en évidence et l'observation de la réflexion totale
- proposition et discussion des schémas explicatifs proposés

- - - - - partie (A) du document - - - - -

1- Rappel des lois de Descartes

- Comparaison des extraits originaux et de l'énoncé moderne

Le professeur introduit les documents en demandant aux élèves de retrouver l'énoncé moderne des lois dans leur manuel et de pointer les différences et les points communs par rapport aux extraits originaux. La dioptrique ne contient aucune équation, ni le recours à la forme \sin ou \sinus , ni la définition de l'indice optique et se présente comme un traité pour tailler les verres des lunettes. On peut, par exemple, faire une recherche d'occurrences sur le texte complet des dioptriques. La relation quantitative entre les angles d'incidence et de réfraction est uniquement obtenue par la construction géométrique figurant sur les dessins.

En fait, on peut bien se demander pourquoi l'inventeur des coordonnées cartésiennes n'exprime pas sa loi par une formule mathématique. Le dessin qui fait figurer le sinus (un cercle est bien dessiné) montre que la loi était connue, c'est juste une question de formulation. Il faut y voir une tradition de l'écriture scientifique par les savants, encore très rhétorique ; d'autre part, le symbole \sin est apparu vers 1583 (bien que le sinus soit connu de Regiomontanus depuis 1533). Il a fallu attendre que l'usage s'installe de l'employer !

- Le modèle analogique de Descartes

On peut également revenir sur l'analogie de la balle frappée utilisée par Descartes et la critiquer, elle a en effet été une aide précieuse pour trouver la relation entre les angles d'incidence et de réfraction mais ne rend en rien compte du comportement de la lumière qui n'est pas un objet matériel assimilable à une balle.

Il s'agit dans cette partie d'essayer de démystifier la construction du savoir scientifique. Celui-ci ne naît pas

aussi lisse et parfait que peuvent le laisser penser les manuels scolaires par exemple tant au niveau de la forme (Descartes n'a pas énoncé les lois de la réfraction sous la forme efficace $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$ rencontrée dans les programme de la classe de seconde) que du fond (la lumière se déplace plus vite dans les milieux dilués que dans les milieux denses contrairement à ce que suppose Descartes).

Confronter les élèves au texte original permet de prendre conscience que la science est avant tout une activité humaine et collective. En effet, les modèles et les théories scientifiques se construisent dans le temps, dans un certain contexte socio-historique et à plusieurs.

- - - - - partie (B) du document - - - - -

2- Phénomène de réflexion totale

Pour rappeler (ou introduire) le phénomène de réflexion totale nécessaire à l'explication du mirage on propose une manipulation aux élèves par groupes de 4. Le matériel utilisé est la lanterne du disque optique posée directement sur le document sans recours au disque rapporteur habituellement utilisé. Les milieux transparents sont l'air et le milieu d'un demi-cylindre creux ou en plexiglas.

La manipulation s'articule en trois temps :

- | | |
|---|---|
| <p>B1</p> <ul style="list-style-type: none">- utilisation du matériel | <ul style="list-style-type: none">- observation et tracé de rayons réfractés ($n_2 < n_1$) en complétant le document B₁ : le but est ici que les élèves se familiarisent avec le matériel proposé. |
| <p>B2</p> <ul style="list-style-type: none">- mise en évidence de la réflexion totale | <ul style="list-style-type: none">- En relevant la marche des rayons réfractés correspondant aux rayons incidents tracés sur la feuille, les élèves mettent en évidence la réflexion totale. |

- B3
- réalisations des observations et conclusions
 - Il est alors demandé de réaliser des observations du phénomène à la manière de M. de Humboldt : les groupes ne sont pas aidés et doivent prendre des notes sur leurs manipulations et résultats. Ils disposent de différents matériaux de différentes formes. Ils doivent préparer un transparent destiné à être discuté par la classe exposant les manipulations réalisées et les conclusions tirées.

 - mise en commun et discussion
 - Les élèves présentent leur transparent à la classe. S'ensuit une discussion critique sur la valeur de chacune des observations réalisées à la lumière des critères pointés dans la partie I-G : mesures précises au rapporteur, angles mesurés bien définis (par rapport à la normale, au faisceau incident, au dioptre ?), milieux transparents bien précisés, étude de plusieurs milieux transparents, estimation des incertitudes...

 - synthèse collective sur la réflexion totale
 - A partir du travail présenté les élèves et la classe élaborent une description du phénomène de réflexion totale, par exemple : Lorsque la lumière passe d'un milieu transparent homogène (1) à un milieu (2) transparent homogène mais moins réfringent ($n_1 > n_2$), le rayon réfracté n'existe plus lorsque l'angle d'incidence dépasse une certaine valeur. On observe alors un rayon réfléchi par la surface séparant les deux milieux transparents. L'angle maximal permettant d'observer le rayon réfracté dépend de l'indice optique de chacun des milieux.

- - - - - partie (C) du document - - - - -

3- Proposition d'un modèle

- présentation du modèle de l'atmosphère introduit par Monge
 - Le professeur décrit et explique l'apport de Monge concernant le modèle de l'air au-dessus d'une plaine surchauffée en veillant à n'introduire aucun schéma.
- élaboration d'un schéma explicatif par les élèves
 - Il demande ensuite aux élèves (par groupes de 4) de proposer un schéma utilisant la description de l'atmosphère de Monge et représentant les rayons lumineux permettant d'expliquer le phénomène des mirages. Les schémas sont ensuite discutés collectivement.
- mise en commun et discussion

- (D- partie facultative)**
 - (discussion à partir du schéma du document)
 - Si les élèves n'arrivent pas à proposer des modèles on peut introduire des aides progressivement ou discuter directement le schéma proposé par le professeur : quelle est la signification de chaque élément représenté ? quels aspects permet-il d'expliquer ? quelles sont ses limites ?

- discussion sur la fonction et les limites d'un modèle physique

Le schéma proposé présente un palmier stylisé, le désert et l'atmosphère divisé en deux couches en première approximation. Les flèches représentent les rayons lumineux diffusés par l'objet. L'œil de l'observateur est également schématisé.

Il manque beaucoup d'éléments par rapport à ce qu'on pourrait observer sur une photo mais ici on n'a retenu que les éléments qui ont un rôle par rapport à l'explication physique qu'on souhaite proposer. La position de l'observateur est importante mais le fait que ce soit un homme, une femme ou un chameau ne l'ait pas pour l'interprétation physique.

La lumière est représentée sous forme de rayons lumineux car ce modèle est adapté et suffit pour expliquer les mirages, il ne serait pas sensé d'utiliser un modèle plus détaillé (modèle ondulatoire avec la notion de longueur d'onde par exemple) si l'on n'en exploite pas la complexité, cela reviendrait à utiliser un ordinateur très puissant pour effectuer une simple multiplication par exemple.

Il est intéressant de confronter ce schéma au texte de Monge de la partie I-D texte B) et de relever les aspects qu'il permet d'expliquer :

Tous les rayons ne se réfléchissent pas car comme les élèves l'ont constaté dans la manipulation précédente, la réflexion totale ne se produit qu'à partir d'une valeur minimale de l'angle d'incidence. La surface réfléchissante qu'est la couche d'air près du sol n'a donc pas les mêmes propriétés qu'un miroir pour lequel on observerait toujours la réflexion.

Suivant sa position, l'œil de l'observateur reçoit des rayons qui proviennent directement de l'objet (rayons horizontaux qui se propagent sans changer de milieu) et des rayons qui correspondent à l'information lumineuse du palmier mais qui semblent venir du sol après réflexion. L'observateur reçoit donc deux informations identiques mais qui proviennent de points différents. On pourra prolonger les rayons réfléchis pour localiser la position de l'image du palmier.

Lorsque l'observateur s'approche, l'angle d'incidence des rayons qu'est susceptible de recevoir son œil diminue, et la réflexion totale n'a plus lieu, l'image du palmier n'est donc plus observée : le mirage s'évanouit. L'indice dépend de la température et donc selon les conditions météorologiques la distance à laquelle est visible le mirage pourra varier.

Ce modèle ne permet pas d'expliquer l'aspect flou des images, ici, l'image serait aussi nette que l'image formée par un miroir plan, le modèle ne rend pas compte des éventuelles turbulences de l'air.

Les rayons sont présentés comme étant rectilignes dans la couche supérieure mais les deux couches d'air ne sont pas homogènes, les rayons seraient représentés courbés dans un modèle plus raffiné.

Ce modèle permet d'expliquer le phénomène mais aussi de prévoir certains éléments : Connaissant la température de la couche d'air supérieure et de la couche d'air près du sol, on peut déterminer la distance minimale à laquelle doit être placé l'observateur pour observer un mirage. Cela peut donner lieu à un prolongement lors d'une troisième séance en travaillant avec un outil de simulation (optgeo par exemple) ou en construisant la simulation à l'aide d'un tableur.

On peut conclure en évoquant les autres modèles rencontrés par les élèves (atome, gaz, liaison covalente, courant électrique ...) en précisant à chaque fois les aspects que le modèle proposé permet d'expliquer mais aussi ses limites. On s'efforcera de faire émerger l'idée qu'aucun modèle aussi raffiné soit-il ne peut prétendre rendre compte de l'infinie complexité de la réalité, il est important d'utiliser le modèle adapté aux buts poursuivis en ayant conscience de son domaine d'application.

, - - - - - **partie (E) du document** - - - - -

4- Synthèse personnelle (15')

- | | |
|----------------------------|--|
| - Rédaction de la synthèse | Les élèves rédigent une synthèse des apports de la séance. |
|----------------------------|--|

- Scénarios d'usage - Partie I

Phases	Acteur	Description de la tâche	Situation	Outils et supports	Durée 1h50
1	le professeur	A1 - Présentation de l'activité - Consignes pour la trace écrite			5'
2	le professeur	A2 - mise en situation			5'
	les élèves	- production des illustrations	individuelle		15'
	les élèves // le professeur	- rédaction de la définition - examen et affichage des productions	individuelle		5'
	le professeur et la classe	- examen des représentations	collective		10'
3	les élèves	B - recherche internet et discussion rapide sur l'origine de cette représentation	collective		5'
	le professeur et la classe	C - lecture expliquée des textes - discussion	collective		5' 10'
4	élèves	D - discussion de la proposition de photo du professeur	collective		5'
5	le professeur et la classe	E - élaboration d'une définition du mot mirage	collective		5'
6	les élèves	F - associations observateurs/observations	individuelle		2'
	les élèves	G - observation scientifique	collective		10'
7	les élèves	H - synthèse personnelle	individuelle		15'

- Scénarios d'usage - Partie II

Phase	Acteur	Description de la tâche	Situation	Outils et supports	Durée 1h50
1	le professeur et la classe	<p>A</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparaison des extraits originaux et de l'énoncé moderne - loi physique 	discussion collective	document, manuel scolaire	10' 5'
2	les élèves	<p>B1</p> <ul style="list-style-type: none"> - utilisation du matériel <p>B2</p> <ul style="list-style-type: none"> - mise en évidence de la réflexion totale <p>B3</p> <ul style="list-style-type: none"> - réalisations des observations et conclusions - mise en commun et discussion critique - synthèse 	<p>par groupe de 4 aidés</p> <p>groupes de 4 aidés</p> <p>groupes de 4 seuls</p> <p>chaque groupe expose son travail au reste de la classe</p> <p>collective</p>	<p>disque optique, rapporteur, équerre, calculatrice</p> <p>transparents</p> <p>rétroprojecteur</p>	5' 5' 20' 20' 5'
3	<p>le professeur</p> <p>élèves</p> <p>les élèves et le professeur</p> <p>les élèves et le professeur</p>	<p>C</p> <ul style="list-style-type: none"> - présentation du modèle de l'atmosphère introduit par Monge - élaboration d'un schéma explicatif par les élèves - mise en commun et discussion <p>D</p> <ul style="list-style-type: none"> - utilisation (facultative) du schéma du document - discussion sur la fonction et les limites d'un modèle physique 	<p>groupes de 4 seuls</p> <p>collective</p> <p>collective</p>	<p>transparent</p> <p>rétroprojecteur</p>	5' 15' 10' 5'
4	élèves	<p>E</p> <ul style="list-style-type: none"> - rédaction de la synthèse 	individuelle		15'

PARTIE I – La représentation et l'observation des mirages

A₁

L'activité qui va se dérouler pendant la séance a pour but de vous faire réfléchir à la façon dont se construit le savoir scientifique. Il n'y a pas de mauvaises réponses il faut prendre part à la discussion, oser faire des propositions et poser des questions. Le thème est celui des mirages.
Pour chaque partie, recopier les questions posées lors des discussions, prendre des notes. Une synthèse personnelle sera rédigée en fin de séance.

1- A quoi ressemble un mirage ?

A₂

Pour vous ?

→ Vous travaillez pour un éditeur de dictionnaires et l'on vous demande de proposer une définition du phénomène de mirage ainsi qu'une illustration. Faites une proposition de définition accompagnée d'une illustration. L'illustration sera faite sur une demi-feuille blanche en couleur et la définition écrite sur votre brouillon ensuite.

→ Discussion

B

Du XIX^{ème} à aujourd'hui ?

Les travaux de Descartes publiés en 1637 suffisent à expliquer le phénomène des mirages observé par ailleurs depuis l'antiquité. Pourtant ce n'est qu'autour de 1800 que, Gaspard Monge en France et William H. Wollaston en Angleterre publient les premiers écrits pour expliquer le phénomène.

→ Rechercher les événements qui, d'après vous, ont suscité l'intérêt pour le phénomène des mirages autour de 1800.

→ Discussion

C

Comment décrire le phénomène ?

Voici deux textes décrivant le phénomène de mirage :

A) une description poétique d'un mirage publiée en 1828 par deux poètes marseillais :

« Voilà que le Désert, aux voyageurs surpris,
Déroule à l'Orient de fortunés abris ;
Une immense oasis, dans les vapeurs lointaines,
Avec ses frais vallons, ses humides fontaines,
Son lac étincelant, ses berceaux de jasmin,
Surgit à l'horizon du sablonneux chemin.
Salut ! belle oasis, île de fleurs semée,
Vase toujours chargé des parfums d'Idumée !
Cette nuit, Bonaparte et ses soldats errans
Fouleront les sentiers de tes bois odorans,
Et sur les bords fleuris de tes fraîches cascades,
Sous la nef des palmiers aux mouvantes arcades,
Dans le joyeux bivouac qui doit les réunir,
Des tourmens du Désert perdront le souvenir.
Doux rêve de bonheur ! l'oasis diaphane,
Fantôme aérien, trompe la caravane ;
Les crédules soldats, qu'un prestige séduit,
Vers le but qui s'éloigne errent jusqu'à la nuit.

Alors, comme un jardin qu'une fée inconnue
De sa baguette d'or dissipe dans la nue,
L'île miraculeuse aux ombrages trompeurs
Se détache du sol en subtiles vapeurs,
Disperse en variant leurs formes fantastiques,
Ses contours onduleux, ses verdoyans portiques,
Et des yeux fascinés trompant le fol espoir,
Mêle ses vains débris aux nuages du soir.
Ils sont tous retombés sur leur lit d'agonie ;
Tous reprochent au ciel sa poignante ironie,
Et muets de stupeur, d'un œil désenchanté,
Contemplant du Désert la pâle nudité. »

A.Barthélémy et J. Méry, 1828

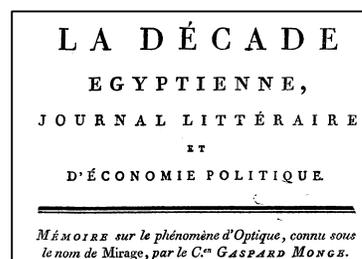
B) un extrait de la publication de G. Monge :

« Le soir et le matin, l'aspect du terrain est tel qu'il doit être; et entre vous et les derniers villages qui s'offrent à votre vue vous n'apercevez que la terre; mais dès que la surface du sol est suffisamment échauffée par la présence du soleil, et jusqu'à ce que, vers le soir, elle commence à se refroidir, le terrain ne paraît plus avoir la même extension, et il paraît terminé à une lieue environ par une inondation générale. Les villages qui sont placés au delà de cette distance paraissent comme des îles situées au milieu d'un grand lac, et dont on serait séparé par une étendue d'eau plus ou moins considérable. Sous chacun des villages on voit son image renversée, telle qu'on la verrait effectivement, s'il y avait en avant une surface d'eau réfléchissante : seulement, comme cette image est à une assez grande distance, les petits détails échappent à la vue, et l'on ne voit distinctement que les masses ; d'ailleurs les bords de l'image renversée sont un peu incertains, et tels qu'ils seraient dans le cas d'une eau réfléchissante, si la surface de l'eau était un peu agitée.

A mesure qu'on approche d'un village qui paraît placé dans l'inondation, le bord de l'eau apparente s'éloigne ; le bras de mer qui semblait vous séparer du village se rétrécit : il disparaît enfin entièrement, et le phénomène qui cesse pour ce village se reproduit sur-le-champ pour un nouveau village que vous découvrez derrière à une distance convenable. »

→ Quel est selon vous le texte qui décrit le mieux le phénomène ?

→ Discussion



D

La proposition du professeur :

Pour illustrer le phénomène des mirages le professeur propose la photo ci-dessous. A-t-il fait ce choix par hasard ?

→ Discussion



E

→ Quelle définition peut-on proposer pour le mot « mirage » ?

F

2- Qu'est-ce qu'une bonne observation ?

Trois personnes se trouvent confrontées à un mirage en plein désert et l'observent.
En lisant leurs propos, essayer de découvrir laquelle réalise chacune des observations :
peintre / poète / soldat de Napoléon

- A) « Oh que c'est impressionnant ! Observons l'effet que cela produit en moi : On se croirait dans un songe, comme si le paysage se mettait à vivre et cherchait à m'attirer par un sortilège fascinant »
- B) « Est-ce un frais oasis au loin où je pourrai de me désaltérer ? Observons les indices de la présence d'eau : le reflet s'éloigne lorsque je m'avance, le sol semble aussi aride au loin qu'ici, et je vois des chameaux marchant sur l'eau ! »
- C) « Que c'est beau ! Observons toutes ces nuances de couleurs et ces contours flous et dansants et cette brillance extraordinaire ...».

→ Quelle est la meilleure observation selon vous ?
→ Discussion

G

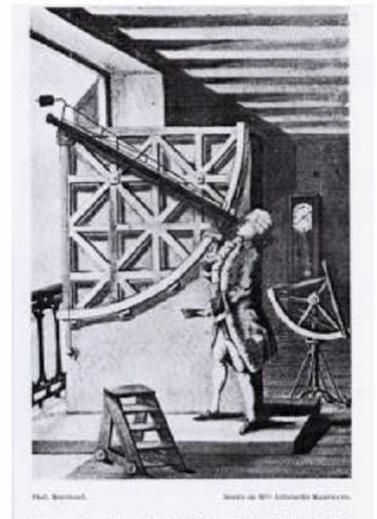
Jean-Baptiste Biot (1774 - 1862) est un physicien, astronome et mathématicien français. Il a montré comment déterminer par le calcul les trajets suivis par la lumière lors des mirages. Pour ce faire, il a utilisé les observations recensées et réalisées en divers endroits du globe et diverses circonstances. L'exposé de ses travaux commence par le rappel des observations qui lui ont été plus ou moins utiles.

Voici le commentaire que Biot fait de l'observation rapportée par M. Vince :

Il est fâcheux que M. Vince se soit contenté d'observer ces curieux phénomènes avec le télescope sans les mesurer, sans prendre, avec des instrumens, la dépression des images et celles de l'horizon de la mer.

Puis les louanges qu'il adresse à un autre observateur M. de Humboldt :

M. de Humboldt, à qui aucun genre de recherches n'échappe parmi celles qui sont utiles aux sciences, a fait aussi des observations de suspension et de mirage pendant son voyage aux Tropiques; mais habitué à connaître le prix des données exactes, il ne s'est pas contenté d'une simple description. Il a mesuré les dépressions des objets et celles de l'horizon de la mer avec un quart de cercle de Bird bien rectifié. Il a noté soigneusement la température et toutes les circonstances météorologiques; enfin, ce qui est le talent d'un bon observateur, quoiqu'il ne connaît pas la théorie mathématique de ces faits, il n'a rien omis de ce qui pouvoit servir à l'établir ou à la vérifier. Aussi ces observations qu'il a bien voulu me communiquer m'ont-elles été fort utiles.



→ Quel adjectif qualifierait le mieux le type d'observations recherchées par M. Biot pour ses travaux ?
→ Quelles sont les caractéristiques d'une « bonne » observation selon lui ? Justifier en citant les textes.
→ Les observations de M. de Humboldt sont-elles « bonnes » pour le peintre ?
→ Discussion

H

Relisez les questions consignées ainsi que les notes prises lors des discussions et rédigez quelques lignes pour expliquer ce que la séance vous a apporté.

PARTIE II – Comment expliquer les mirages ?

1- Les lois de Descartes

Éléments théoriques :

A

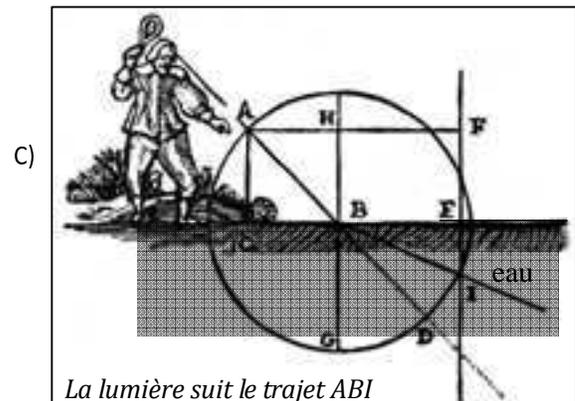
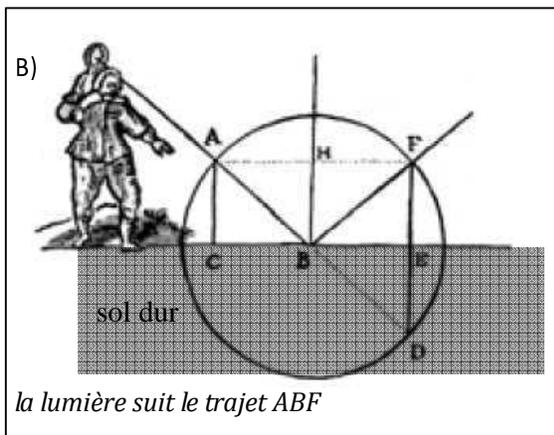
Pour expliquer le phénomène des mirages, G. Monge a utilisé les lois de Descartes et le fait que l'air au-dessus d'un sol surchauffé ne peut pas être considéré comme un milieu homogène.

- Les lois de Descartes par Descartes :

René Descartes publie "La dioptrique" en 1637. Il y expose le moyen de déterminer les directions des rayons lumineux lorsqu'ils subissent des réflexions ou des réfractions. Il considère pour cela que la lumière se comporte comme une balle frappée par une raquette et rencontrant différentes surfaces (sol dur, surface d'un lac...).

→ Voici trois extraits (un texte (A) et deux schémas (B) et (C) de la publication originale de Descartes. Associer un énoncé moderne à chacun des extraits :

A) "Au reste, ces rayons doivent bien être ainsi toujours imaginés exactement droits, lorsqu'ils ne passent que par un seul corps transparent, qui est partout égal à soi-même : mais, lorsqu'ils rencontrent quelques autres corps, ils sont sujets à être détournés par eux."



→ La lumière se comporte-t-elle comme une balle, d'après vous ?

2- Phénomène de réflexion totale

Descartes évoque aussi le cas où la lumière passe d'un milieu transparent à un milieu transparent moins dense, de l'eau vers l'air par exemple. Que se passe-t-il alors ?

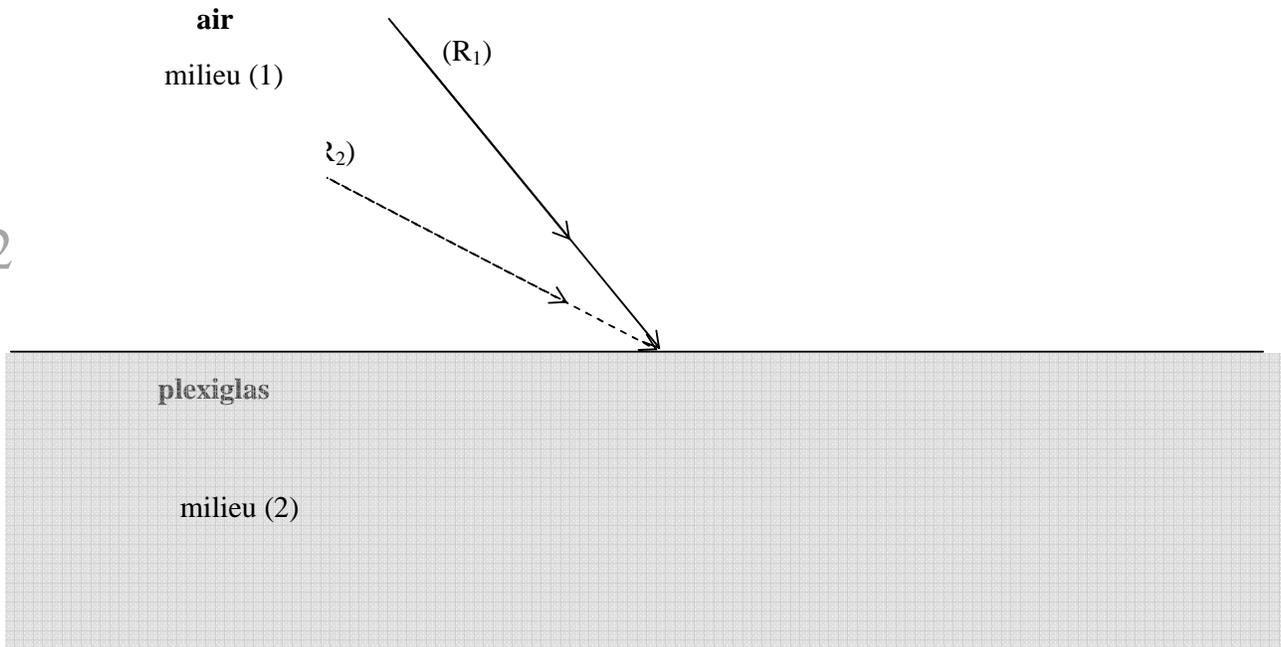
Détermination expérimentale de la marche des rayons

- de l'air vers le plexiglas

B₁

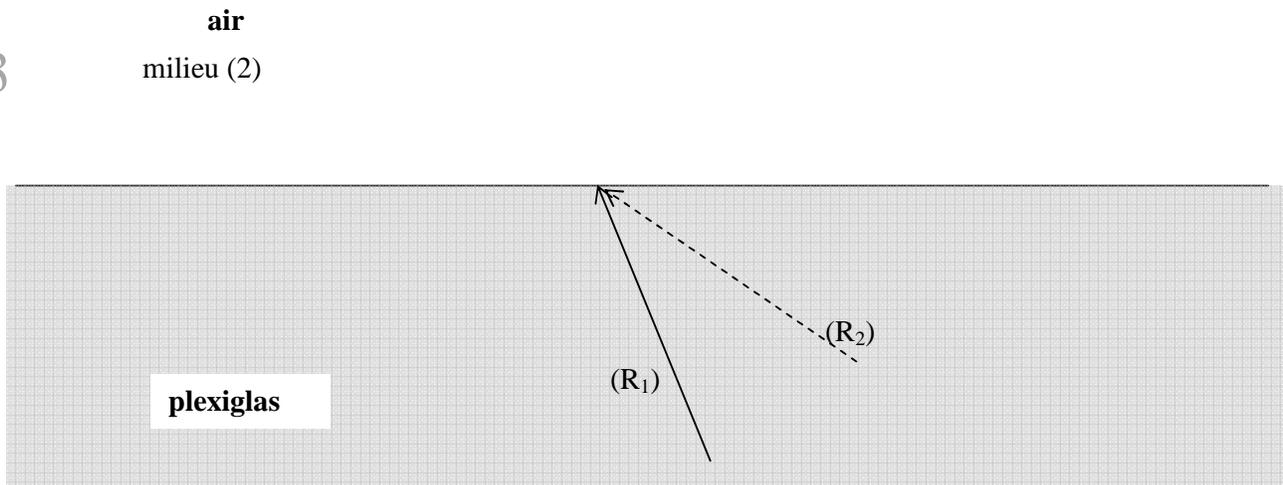
En utilisant la lanterne et le demi-cylindre de plexiglas posés directement sur la feuille, déterminer les directions des rayons réfractés correspondant aux rayons incidents représentés. Appeler le professeur pour vérification.

B₂



- du plexiglas vers l'air
Procéder comme précédemment et notez vos observations. Appelez pour vérification.

B₃



→ notez vos observations

Etude du phénomène de réflexion totale

Le phénomène observé lorsque la lumière passe dans un milieu moins réfringent ($n_2 < n_1$) est appelé réflexion totale. Réaliser les manipulations qui vous permettent, selon vous, d'étudier cette réflexion totale. Vous noterez vos observations et vos conclusions sur transparents pour ensuite les exposer à l'ensemble de la classe.

L'interprétation de Monge :

Monge écrivait :

C

Ainsi, vers le milieu du jour, et pendant la grande ardeur du soleil, la couche de l'atmosphère qui est en contact avec le sol est d'une densité sensiblement moindre que les couches qui reposent immédiatement sur elle.

L'apport de Monge est de considérer que l'air n'est pas un milieu homogène. L'air est en effet plus chaud près du sol, donc moins dense et par conséquent d'indice optique n plus petit.

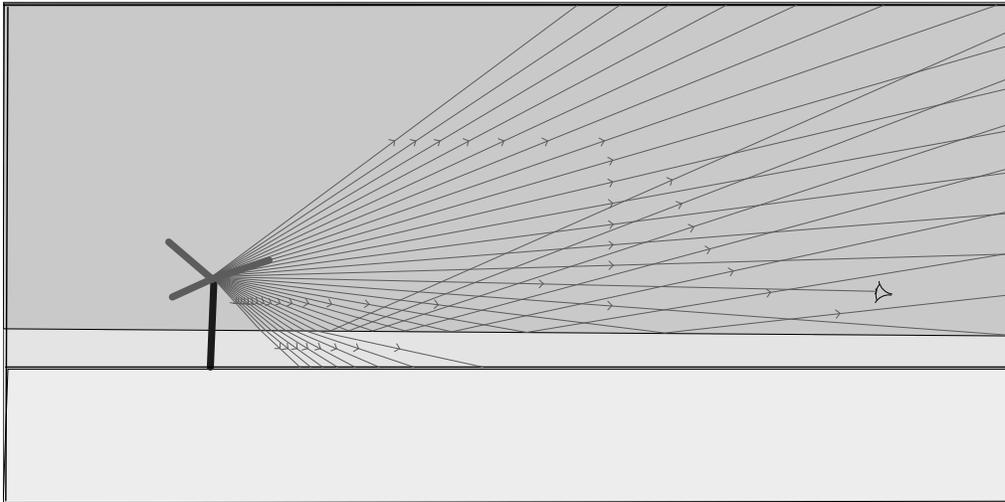
On peut donc modéliser le milieu de propagation par deux couches d'air :

Une couche d'air de quelques cm près du sol et d'indice plus faible que le reste du milieu considéré comme homogène en première approximation.

→ par groupe de 4 proposer un schéma permettant d'expliquer le phénomène des mirages. Le schéma comportera un objet (palmier par exemple), un observateur, les couches d'air et les rayons lumineux issus de l'objet. Le schéma sera réalisé sur transparent pour être discuté par l'ensemble de la classe.

On propose le schéma suivant :

D



→ Que représentent les différents éléments de ce schéma ?

→ Interpréter le phénomène des mirages en vous appuyant sur le schéma.

→ Indiquer quelques positions de l'œil de l'observateur permettant d'observer le mirage. Le mirage est-il visible quelle que soit la distance à l'objet ?

→ Quelles observations ce schéma ne permet-il pas d'interpréter ?

E

Relisez les questions consignées ainsi que les notes prises lors des discussions et rédigez quelques lignes pour expliquer ce que la séance vous a apporté.

Aspect de la trace élève

→ densité plus forte au même texte?
Nos représentat^{ns} convergentes plus au 1^{er} texte.
Interprétat^{ns} du texte 2 = plus riches, @ contextuel.

→ qu'est-ce que le mirage provoque chez nous?
→ souffrance (désert)
→ soif (Quartier) = pas seulement phénomène physique c'est aussi un regard
→ choc

La science n'est pas la meilleure façon de décrire ... c'est
une façon parmi d'autres

Qu'est-ce qu'une bonne observation ?

2- Qu'est-ce qu'une bonne observation ?

Trois personnes se trouvent confrontées à un mirage en plein désert et l'observent.
En lisant leurs propos, essayer de découvrir laquelle réalise chacune des observations :

peintre / poète / soldat de Napoléon

- A) « Oh que c'est impressionnant ! Observons l'effet que cela produit en moi : On se croirait dans un songe, comme si le paysage se mettait à vivre et cherchait à m'attirer par un sortilège fascinant »
- B) « Est-ce un frais oasis au loin où je pourrai de me désaltérer ? Observons les indices de la présence d'eau : le reflet s'éloigne lorsque je m'avance, le sol semble aussi aride au loin qu'ici, et je vois des chameaux marchant sur l'eau ! »
- C) « Que c'est beau ! Observons toutes ces nuances de couleurs et ces contours flous et dansants et cette brillance extraordinaire ... »

→ Quelle est la meilleure observation selon vous ?
→ dis...

Alex

→ Qui réalise chacune de ces observations ?
A → poète → voit ce que ça produit en lui
→ B → Soldat de Napoléon → peut pas se désaltérer
C → peintre → parle de couleur / nuance

exemples de synthèses personnelles

Intérêt pour la séance : → nouveauté → débat : différent !

→ discussion avec le professeur ouvert

→ droit à la parole !

→ pas de bon ou mauvais, des paroles simplement, pas de vrai ou faux.

→ ≠ du scolaire

→ critiquer et prendre conscience que ce qu'on nous montre n'est pas anodin, il y a toujours des

idées derrière.

→ parfois influencé sans s'en apercevoir

→ par ma part, je ne savais pas vraiment ce qu'était un mirage ... (effet de notre imagination)!

→ Aussi, ça m'a fait rendre compte de chose dont je n'avais pas conscience. Il est vrai que certaines images sont encrées dans nos têtes et qu'on ne voit m^{ême} pas ça

→ Aussi, ne pas se fier à une seule observation, soit faire notre observation, soit trouver le but de l'observateur, car nous n'avons pas tous le m^{ême} but.

→ Se trouve cela bien de se détacher de la science pour observer des phénomènes

* BILAN PERSONNEL

Cette séance m'a plus car on constate que les gens ont des avis différents et qu'on a une ouverture d'esprit puisqu'on explique notre avis, tout en écoutant les autres même s'ils pensent le contraire de soi. Les arguments peuvent même permettre de faire changer d'avis quelqu'un comme pour la seconde question, car au départ je ne savais pas vraiment, et grâce aux arguments j'ai pu ensuite me faire une idée.

On a donc vu que selon le but, l'utilisation de la description est différente, on a donc une subjectivité qui permet une diversité. En effet, on peut avoir un usage poétique, un usage pictural ou un usage scientifique.

S'il y a donc découverte des notions et apprécié cela, d'autant plus de l'ambiance assez calme où tout le monde pouvait s'exprimer.

Bilan :

J'ai apprécié cette séance car ça change des exercices que l'on fait d'habitude. Aujourd'hui c'était plus basé sur la réflexion personnelle.

En parlant d'un simple mot : "mirage", on a pu dire beaucoup de choses, et on s'est posé beaucoup de questions. La séance était dynamique : on analyse les dessins, on se pose des questions, on a plusieurs points de vue, on lit des textes, on fait des recherches sur internet...

Cette séance m'a appris beaucoup de choses : parler un esprit critique sur ce qui on voit, toujours se poser des questions, ...

Bilan personnel

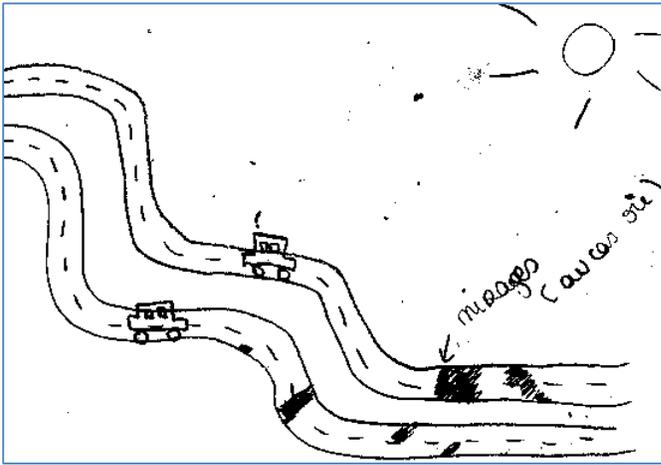
~~Minimim~~

J'ai beaucoup apprécié cette séance car elle m'a appris beaucoup de chose. Pour moi, le mirage était quelque chose d'abstrait et d'im réel. J'ai vu que c'était en fait un véritable phénomène optique qui était étudié depuis des années. Grâce, cette séance était assez originale car d'habitude, on nous demande une réponse exacte et il n'y a qu'une seule réponse alors que là, c'était beaucoup plus de la réflexion sur un phénomène. Le fait d'être plusieurs, de se poser des questions, d'y réfléchir ensemble était vraiment intéressant ; c'est dommage qu'on n'est n'ait pas plus l'occasion de travailler de cette manière. Lors de cette séance, j'ai appris qu'une observation était très différente d'une personne à l'autre, car une observat° dépend de beaucoup de choses et que chacun interprète les choses différemment. Le fait d'avoir les avis de tout le monde et d'argumenter si l'on n'est pas d'accord était vraiment bien. Cela nous change des cours normaux. Cette séance était variée, on a discuté, comparé des dessins, critiqué une image, fait des recherches sur internet, donné notre avis... Cette séance m'a beaucoup apporté, tant sur les mirages, que sur la réflexion et les échanges d'idées.

* et aussi ça m'a appris à réfléchir par mon esprit critique et à toujours donner mon avis "pourtout" !!

Quelques représentations de mirages

une seule représentation du mirage « route » pour 30 représentations « désert »



L'affect est important lorsqu'on est témoin d'un mirage : la première représentation est à rapprocher de la cruelle ironie évoquée dans le poème, les deux autres n'oublient pas d'évoquer le désespoir de l'observateur.



Equipe IREM Sciences

IREM de Montpellier

<http://www.irem.univ-montp2.fr/Enseignement-Scientifique>

	RESSOURCE SVT - PASTEUR	
--	--------------------------------	---

Sommaire

1- Fiche d'identification	2
2- Fiches professeur	4
Introduction : analyser mes conceptions sur la science	5
Activité 1 :	6
Activité 2 :	8
Conclusion : analyser mes conceptions sur la science	12
Des prolongements possibles :	14
3- Scénarios d'usage	16
Scénario de l'introduction :	16
Scénario de l'activité 1 :	16
Scénario de l'activité 2 :	17
Scénario de la conclusion :	18
4- Fiches techniques	19
5- Fiches élève	20
Fiche élève n°1 :	20
Fiche élève n°2 :	21
Fiche élève n°3 :	23
6- Traces de travaux d'élèves	24
7- Compte-rendu(s) d'expérimentation au cours des mises en œuvre successives	25
8- Bibliographie	26
9- Évolution de la ressource (CV)	27

IREM 1- Fiche d'identification	
---	--

Discipline scientifique	Sciences de la vie et de la Terre (S.V.T)	
Thème	Histoire des Sciences - Epistémologie	
Niveau	Seconde en option Démarches et Culture Scientifique (DCS) Seconde – Thème « Cellule, ADN et unité du vivant » ou en tant que thème d'étude Applicable à tout autre niveau de lycée	
Cadre	Notions scientifiques travaillées	La fermentation
	Notions épistémologiques mises en scène	<ul style="list-style-type: none"> - Hypothèses théoriques - Observation scientifique - Imagination - Preuve scientifique - Outils technologiques et transdisciplinarité (chimie, biologie)
Objectifs	Compétences épistémologiques	<ul style="list-style-type: none"> • avoir une approche historique de deux découvertes majeures : 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
	Compétences transversales	<ul style="list-style-type: none"> • identifier sa propre perception sur la science ; voir si elle est amenée à évoluer • argumenter, débattre, prendre position,... • utiliser les TICES
	Autres compétences travaillées	<ul style="list-style-type: none"> • recueillir des références sur la thématique choisie
Modalités pratiques de	Durée	Variable : de 3 à 4 séances de 1h30 jusqu'à 6 séances de 1h30

déroulement		Prolongements possibles
	Equipement spécifique	CDI, salle équipée d'ordinateurs, salle de TP ou salle de TP avec dispositif ExAO
Dispositifs pédagogiques	Travail en groupe de 3 à 4 élèves	
Description de l'activité	Proposition d'un ensemble de 2 activités : – <u>En introduction</u> : analyser mes conceptions sur la science (petit questionnaire – durée : 15 minutes) – <u>Activité 1</u> : Histoire des sciences – Pasteur (3 à 4 séances) – <u>Activité 2</u> : Histoire des sciences – La fermentation (2 séances) – <u>En conclusion</u> : analyser mes conceptions sur la science (retour sur le petit questionnaire – durée : 30 minutes)	
Fichiers constitutifs de la ressource	– Ressource SVT – Pasteur Fichiers : Ressource_SVT_Pasteur.odt – Activité 2 : Histoire des sciences – La fermentation : <i>Texte</i> : « <i>Les ferments d'une théorie</i> » Fichiers : Ressource_SVT_Pasteur_Activite2_Texte.odt	
Mots-clés	Histoire des sciences, Pasteur, controverses scientifiques, protocoles	
Auteurs	Groupe SCIENCES IREM de Montpellier	

Programme officiel	Contenus	<p><u>BO hors série n°2 du 30 août 2001</u> <u>page 8 L'enseignement des sciences au lycée</u> <u>page 27 Sciences de la vie et de la Terre</u></p> <p>Rappel de la place de l'histoire des sciences et de l'épistémologie dans l'enseignement des sciences au lycée.</p> <p>Programme de Seconde – Thème « Cellule, ADN et unité du vivant » (toujours en vigueur au 01/09/09) <i>La cellule fonde l'unité et la diversité du vivant.</i> Elle définit un compartiment intracellulaire où a lieu le métabolisme. L'hétérotrophie et l'autotrophie sont deux grands types de métabolisme.</p>
	Commentaires	<p>Identification des besoins nutritifs et énergétiques des cellules. Culture de cellules. Comparaison des cellules autotrophes et hétérotrophes (échange gazeux, besoins nutritifs). Mesure de la croissance d'une population cellulaire (étalement de cellules et comptage de clones, spectrophotométrie).</p>
Prérequis	Pas de prérequis nécessaires	
Intérêt	<p>Analyser le processus de démarche scientifique et le rôle des théories initiatrices. Aborder une thématique scientifique et Analyser le contexte socio-historique dans les recherches scientifiques. Développer l'esprit critique.</p>	

Détail des activités :

Proposition d'un ensemble de **2 activités** :

- En introduction : analyser mes conceptions sur la science (petit questionnaire – durée : 10 minutes)
- Activité 1 : Histoire des sciences – Pasteur (3 à 4 séances)
- Activité 2 : Histoire des sciences – La fermentation (2 séances)
- En conclusion : analyser mes conceptions sur la science (retour sur le petit questionnaire – durée : 30 minutes)

A titre de prolongement possible : différentes manipulations sont proposées pour rendre le phénomène de la fermentation plus concret et illustrer la théorie.

Introduction : analyser mes conceptions sur la science

- L'élève répond rapidement et spontanément à un petit questionnaire sur ses conceptions sur la science (questionnaire issu du travail d'Hélène Hagège). Travail individuel sur sa représentation de la science et du travail des scientifiques.
- Une exploitation du questionnaire est proposée en conclusion.

Activité 1 :

Désignation : HISTOIRE DES SCIENCES – PASTEUR

Objectifs	Compétences épistémologiques	<ul style="list-style-type: none">• avoir une approche historique de deux découvertes majeures : identifier quelques savants et institutions, théories, idées défendues par ces savants ; les situer dans le temps et dans un contexte socioculturel et économique• 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 les affrontements entre les partisans des différentes théories
	Compétences transversales	<ul style="list-style-type: none">• identifier sa propre perception sur la science ; voir si elle est amenée à évoluer• argumenter, débattre, prendre position,...• utiliser les TICES
	Compétences scientifiques	<ul style="list-style-type: none">• acquérir des connaissances sur la thématique choisie

Description de l'activité :

Travail de recherches et de réflexions sur des thématiques liées à l'œuvre de Louis Pasteur.

Par exemple :

- A. La pasteurisation
- B. La fermentation
- [C. La vaccination (antirabique)
- D. autre...]

Pasteur a, entre autres, et en interaction avec son entourage, élaboré le principe de la pasteurisation, démontré que la fermentation est un processus initié par des organismes vivants, et mis au point un vaccin contre la rage. Pour cela, il a réalisé un certain nombre d'expériences et travaillé avec d'autres scientifiques et différentes institutions.

Dans le cadre d'étude d'une des deux thématiques proposées, la **pasteurisation** ou la **fermentation**, il s'agira pour les élèves :

- de proposer une **définition** simple de la notion considérée ;
- d'identifier sommairement un ensemble d'**expériences** menées par Pasteur ;
- d'établir des **liens** entre Pasteur et d'autres personnes (ou un groupe de personnes ou une institution) qui ont joué un rôle avant, pendant ou après l'expérience et/ou qui ont « fait adhérer le public à la preuve » ou « ont convaincu le public de la portée de la découverte ou de l'utilité de la théorie proposée » ;
- chaque lien devra être **daté** (au moins approximativement) et placé relativement par rapport à l'expérience elle-même ;

- chaque lien sera tiré d'une source **fiable**.

Modalités et mise en oeuvre :

- Les élèves se répartissent par exemple en 6 groupes de 3 élèves ;
- 3 groupes travaillent autour du thème A et les 3 autres groupes autour du thème B ;
- une séance (1h30) préparatoire au travail de recherches pourra avoir lieu en collaboration avec la documentaliste de l'établissement sur « *Comment trouver des informations pertinentes sur Internet ?* », « *Comment établir des liens valables ?* », « *Qu'est-ce qu'une source fiable ?* » ;
- une première séance (1h30) sera consacrée au travail de recherches à partir d'un ensemble documentaire fourni et/ou à partir de ressources en libre accès (livres de la bibliothèque, périodiques scientifiques, sélection de quelques sites Internet,...) ; si le sujet de recherche est annoncé suffisamment en avance (environ 3 semaines), on peut aussi envisager que l'élève fasse des recherches personnelles et ait déjà constitué sa banque de ressources. On peut également imaginer que certains groupes (un A et un B) travaillent à partir d'un ensemble de documents sélectionnés par le professeur et que les autres groupes travaillent en « autonomie de recherches ».
- une seconde séance (1h30) sera consacrée à la mise en forme du travail de recherches : création d'un diaporama ou d'un support visuel faisant appel au traitement de texte,...
- une troisième séance (1h30) sera consacrée à la restitution argumentée du travail de chaque groupe. Ainsi, chaque trinôme disposera d'environ 10 minutes pour présenter le résultat de ses recherches. La demi-heure restante sera consacrée à une analyse comparée des différents travaux et donnera l'occasion de débattre de la pertinence des liens établis et des sources retenues.

Activité 2 :

Désignation : HISTOIRE DES SCIENCES - LA FERMENTATION

Description de l'activité :

Objectifs	Compétences épistémologiques	<ul style="list-style-type: none">• avoir une approche historique de la fermentation : identifier quelques savants et quelques découvertes, 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• mettre en évidence le rôle des outils (techniques)• constater les divergences possibles de la communauté scientifique face à un problème et que parfois deux ou plusieurs théories s'affrontent
	Compétences transversales	<ul style="list-style-type: none">• identifier sa propre perception sur la science ; voir si elle est amenée à évoluer ;• argumenter, débattre, prendre position,...
	Compétences scientifiques	<ul style="list-style-type: none">• prendre des connaissances sur la thématique choisie

Modalités et description de l'activité :

- Chaque élève lit l'extrait remanié de l'article « *Les ferments d'une théorie* » tiré de la revue scientifique trimestrielle *Les Génies de la science* (N°33 – Novembre 2007 / Janvier 2008) puis par groupe de trois, répond aux questions posées.

- Phase de mise en commun :

Par question, un élève porte-parole de son groupe fait part des réponses trouvées. S'ensuit un moment de discussion (les autres groupes confirment, infirment, complètent les éléments de réponse) et de débat des points de vue.

- Phase de bilan :

Chaque élève rédige à partir de ses notes et des éléments qui ont émergé lors de la phase de mise en commun, une synthèse du travail effectué.

Quelques éléments de réponse pour la phase de mise en commun :

1. Quelles sont les deux thèses concernant la fermentation qui s'opposent dans cet article ?

On distingue :

- *la thèse biologique : la fermentation a lieu grâce à la levure qui est une substance vivante ;*
- *la thèse chimique : la fermentation est uniquement un phénomène chimique dans lequel la levure ne joue aucun rôle ou si elle joue un rôle, c'est en tant que substance morte.*

2. Citer les savants défenseurs de chaque thèse. Quelles sont leurs motivations ou leurs projets ?

Quelles informations apporte ce texte en ce qui concerne le fonctionnement des sciences ?

Pour la thèse chimique, on peut citer :

- *LIEBIG (1803-1873) : chimiste allemand, inventeur du lait artificiel, de l'extrait de viande, des tablettes de bouillon, fondateur d'une entreprise ;*
- *LAVOISIER (1743-1794) : chimiste français ;*
- *THENARD (1777-1857) : chimiste français ;*
- *GAY-LUSSAC (1778-1850) : chimiste français.*

Pour la thèse biologique, on peut citer :

- *PASTEUR (1822-1895) : chimiste français, étudie la fermentation lactique (travaux rares, aucune levure lactique n'a encore été décrite, grande production d'acide lactique dans la fermentation de la betterave ce qui préoccupe les industriels) ;*
- *FABBRONI (1752-1822) : physicien et agronome italien ;*
- *CAGNIARD DE LA TOUR (1777-1859) : physicien français ;*
- *SCHWANN (1810-1882) : physiologiste allemand.*

Les sciences fonctionnent sur le principe d'un débat contradictoire entre pairs (par publications et par relectures) : de nombreux exemples dans le texte « les ferments d'une théorie » le soulignent (lignes 12-13 ; 38-42 ; 120-121).

Mais, puisque faites par des hommes, elles intègrent aussi des dimensions sociologiques, psychologiques (luttres de pouvoirs, d'egos : lignes 29-30, 64) et économiques (lignes 94-100) ; il y a également un lien sciences et techniques (cf ci dessous rôle du microscope).

3. Le texte insiste lignes 16 à 27 sur le rôle du microscope et donc des interrelations entre sciences et techniques.

Expliquer le rôle qu'il a eu à l'époque concernant la nature des levures. Préciser la taille des levures.

Le microscope a permis de faire émerger le questionnement sur la nature vivante ou non des levures. C'est ce qui a choqué certains chimistes pour qui la fermentation était un processus purement chimique. D'où la controverse (cf ligne 20).

Comment appelle-t-on les « globules » de nos jours ?

On les nomme des cellules !

L'auteur du texte nous dit que van Leeuwenhoek n'a pas donné une lecture scientifique de son observation.

Qu'est-ce qu'une lecture scientifique ? D'après vous, pourquoi cela n'a-t-il pas été le cas ?

Une lecture scientifique est une interprétation. Cette interprétation prend son sens dans un cadre théorique particulier. Ici, le concept de cellule (prenant son sens dans la théorie cellulaire) fait référence à l'unité vivante élémentaire.

Van Leeuwenhoek n'a pas donné une lecture scientifique de son observation car ce n'était pas son objectif. Ce qui l'intéressait, c'était de mettre au point des instruments d'optique et

d'observer différentes substances pour en donner une description. De plus, il n'a pas eu connaissance des travaux scientifiques qui ont conduit à l'émergence de la notion de cellule. Ainsi, il ne disposait pas non plus d'un cadre théorique lui permettant une telle lecture.

Remarque : on pourra s'inspirer de l'extrait suivant, tiré de la « Revue des deux mondes, volume 1868 – p.398 »

<http://books.google.fr/books?>

[id=pDgoAAAAYAAJ&pg=PA398&dq=Leeuwenhoek&lr=&ei=4qeTSvnQFKO4ywS2tOCcBw#v=onepage&q=Leeuwenhoek&f=false](http://books.google.fr/books?id=pDgoAAAAYAAJ&pg=PA398&dq=Leeuwenhoek&lr=&ei=4qeTSvnQFKO4ywS2tOCcBw#v=onepage&q=Leeuwenhoek&f=false)

Pour bien apprécier les travaux de **Leeuwenhoek**, il est essentiel de connaître un peu l'observateur lui-même. Les investigateurs qui nous ont déjà occupé étaient de véritables savans, ils possédaient une instruction solide et souvent une vaste érudition. Profondément versés dans la connaissance des langues anciennes, ils étaient encore plus ou moins familiarisés avec les principales langues modernes. **Leeuwenhoek** au contraire, vivant à une époque où la langue latine était d'un usage général parmi les auteurs, ne sait pas un mot de latin. Tout idiome étranger lui est absolument inconnu ; toute notion scientifique sérieuse concernant l'organisation de l'homme et des animaux lui manque. **Leeuwenhoek** n'a presque rien appris de ce que l'on apprend par la lecture ou par la parole des maîtres. Il ne cherchera jamais à s'instruire davantage. Dominé par une seule pensée, il poursuivra son but avec intelligence et surtout avec une patience inébranlable. Comprenant la nécessité d'avoir des instrumens supérieurs à tous ceux que l'on possède pour porter l'investigation au-delà des limites où elle a déjà été portée, il saura devenir le plus habile constructeur de microscopes. Pourvu d'instrumens sans pareils à son époque, si l'on en juge par les résultats des observations, **Leeuwenhoek** se met au travail. Il regarde presque au hasard avec son microscope, et, comme le plus souvent il est le premier à regarder dans les conditions où il a su se placer, il découvre. Il décrit ce qu'il a observé, et, heureux d'avoir révélé des choses inconnues, son ambition se trouve satisfaite. Pendant près d'un demi-siècle, cet homme ingénieux, doué d'un esprit pénétrant, examinera sans suite, sans méthode, les substances organiques, les liquides, les êtres les plus infimes de la création. Ses études le conduiront à faire les découvertes les plus inattendues, à connaître les faits les plus propres à jeter de nouvelles lumières sur les plus importans phénomènes de la vie, mais jamais son esprit ne saura s'élever à une conception générale.

4. Donner l'équation algébrique de la fermentation proposée par Lavoisier.

L'équation algébrique est : sucre → alcool + CO₂

Pourquoi, d'après lui, la levure ne joue-t-elle aucun rôle ?

Au début et à la fin, elle est présente en même quantité.

D'après vos connaissances en chimie, l'argument de Lavoisier est-il encore recevable de nos jours ?

Non, car il existe des catalyseurs, absents de l'équation bilan.

5. En quoi l'explication de Liebig est-elle différente de celle de Lavoisier ?

La levure joue un rôle mais en tant qu'élément mort. La putréfaction se transmet de la levure au sucre.

6. Pourquoi la thèse chimique l'a-t-elle emportée dans un premier temps ?

Parce que Liebig était au sommet de sa gloire, donc très réputé. Ses ouvrages convaincants étaient largement diffusés.

7. Quels sont, avant les travaux de Pasteur, les arguments en faveur de la thèse de la vitalité et du rôle de la levure ? Sont-ils convaincants ?

D'après De La Tour : la levure est un organisme vivant car elle bourgeonne et en tant qu'être vivant consomme du sucre et produit du CO₂ et de l'alcool. A priori, il n'a pas d'expérience à l'appui (à part l'observation du bourgeonnement) et fait un raisonnement analogique.

Schwann fait une expérience : il reproduit le procédé de conservation d'Appert en le modifiant ; il tire la conclusion qu'il y a un élément dans l'air qui est détruit par la chaleur et qui est nécessaire à la fermentation. Les limites : on n'est pas sûr que cet élément soit la levure ; de plus, un composé chimique peut également être détruit par la chaleur.

8. Quelles sont les conclusions de Pasteur ? Il démontre que la fermentation est corrélative de la vie, de l'organisation des globules.

Quelle(s) expérience(s) donne(nt) à penser que ce n'est pas la mort des levures qui provoque la fermentation ?

Pasteur répète l'expérience des chimistes Pelouze et Gélis et observe l'apparition de taches grises dans le milieu. Ces taches grises contiennent les levures.

Il le démontre en inséminant ces particules dans un milieu composé de sucre, craie et d'un nutriment liquide issu d'un extrait de levure de bière (dilué, chauffé et filtré). Il constate la croissance du ferment qui devient alors identifiable au microscope optique.

Il y a donc fermentation lactique de manière corrélative avec le développement des levures et non la mort des levures.

La thèse du rôle des levures est-elle démontrée ?

Si « corrélatif de » n'est pas équivalent à dire que les levures sont des agents responsables de la fermentation, il y a toutefois de grandes présomptions pour que cela soit le cas. D'autant plus que le dernier paragraphe nous dit que si les autres agents supposés : caséine, albumine,... sont remplacés par d'autres substances azotées, on obtient les mêmes résultats : la croissance de la levure aux dépens de ces substances.

Pour être davantage convainquant, il faudrait détailler l'action de la levure sur le sucre. En fait, la thèse du rôle des levures ne peut être démontrée dans l'absolu : il se peut que l'on identifie un jour un autre agent, grâce à l'amélioration des moyens d'investigation, et le développement des levures ne serait qu'une conséquence de l'action de cet agent. La thèse du rôle des levures sera valide tant que la communauté scientifique la jugera la plus pertinente pour expliquer la fermentation.

Remarque : On évitera de dire « cette expérience prouve que... ». Si une expérience permet dans une démarche scientifique d'infirmer ou de valider une hypothèse, cette formulation occulte le fait que c'est la communauté scientifique qui valide, que souvent l'hypothèse ne peut être vérifiée dans l'absolu, que l'hypothèse est une théorie dont on éprouve par l'expérience la fécondité explicative et la cohérence. Il se peut qu'ultérieurement cette cohérence soit remise en question ou qu'un meilleur modèle explicatif soit trouvé.

Conclusion : analyser mes conceptions sur la science

- L'élève répond rapidement et spontanément (sans trop réfléchir) au même petit questionnaire qu'en introduction.

La question qui se pose est : à la vue du travail effectué dans les activités 1 et 2, certaines des réponses données initialement s'en trouvent-elles modifiées ?

- Le professeur anime la discussion et donne des éléments de réponse et de réflexion.

Voici quelques pistes :

Les phrases de ce questionnaire ont été conçues pour correspondre soit à une vision constructiviste/idéaliste (C), soit à une vision positiviste/réaliste (P). On peut donner un éclaircissement succinct de ces différents aspects :

- Selon une vision constructiviste, toute connaissance est liée au sujet qui connaît et est construite par les humains. De plus, toute nouvelle connaissance implique une réorganisation de connaissances antérieures.
- Selon une vision idéaliste, le monde n'est pas intimement connaissable (ce sont les idées qui sont objets de connaissance et non pas les objets réels qui constituent le monde).
- Selon une vision positiviste, il existerait une méthode scientifique qui garantirait la véracité du savoir produit. Chaque connaissance ainsi vérifiée serait ajoutée à la précédente comme on ajoute des unités d'information les unes aux autres (et les connaissances antérieures ne se verraient pas modifiées par les nouvelles).
- Selon une vision réaliste, les sciences expliquent le monde tel qu'il est.

Bien que ce rapprochement ne soit pas philosophiquement exact, les visions ont été regroupées deux par deux pour les raisons suivantes :

La vision C correspond à une image de la science comme une activité humaine, qui est soumise à des changements permanents. Dans cette vision, la place de la sémantique est importante : le sens donné aux concepts et aux théories est construit par une communauté de chercheurs et dépend d'un langage, donc d'une culture et d'une histoire particulière. Cette vision invite donc, si ce n'est à un certain relativisme, du moins à contextualiser les savoirs scientifiques produits pour en saisir le sens. De plus, les changements de théories s'opèrent parfois de manière brutale. Ainsi, les théories de la relativité Einsteinienne ont bouleversé la physique classique : le sens des connaissances antérieures s'en est trouvé changé (la notion de matière n'a plus la même signification sous Einstein que sous Newton). Cette vision est plus cohérente avec les résultats contemporains de l'épistémologie que la vision P, plus « naïve ». En effet, selon cette dernière, les savoirs correspondent à des unités d'informations qui s'ajoutent de manière à tendre asymptotiquement vers la vérité. Leur sens n'est pas construit, mais donné (par la Nature ou par le monde qui nous entoure). Au lieu d'y voir un univers de significations partagées, on voit dans les savoirs scientifiques un moyen d'appréhender le monde *en dehors de toute condition humaine*.

Entre parenthèses, après le numéro de la question, est indiqué si la phrase relève d'une vision P ou C.

■ Questions Q1 (C) « Le savoir scientifique est construit par les scientifiques. » et Q2 (P) « Le savoir scientifique est découvert par les scientifiques. » :

Le terme usuel de « découverte » signifie littéralement que l'activité scientifique consiste à révéler du déjà-là (comme on découvre un objet préexistant en retirant la couverture qui le cachait). Les études épistémologiques incitent à envisager les objets (concepts) comme construits et non « donnés par la Nature ». Par exemple, la « découverte de la

fermentation » a nécessité la construction de la notion de « globules », des idées qu'ils pouvaient être vivants, qu'ils pouvaient provoquer des réactions chimiques et être nécessaires à ces dernières. Ce processus long et non linéaire suppose des ajustements, des confrontations entre les différentes subjectivités des savants du domaine, des tests expérimentaux (qui peuvent être différemment interprétés à l'aune de différentes théories, comme la présence de caséine et de fibrine). Il prend place et fait sens dans un certain contexte historico-culturel. Le savoir scientifique n'est donc pas découvert, ni « donné par la Nature » ni déjà-là ; il est construit par une communauté humaine dans un certain contexte.

■ **Questions Q3** (C) « Le savoir scientifique dépend en partie des préjugés et des opinions des scientifiques. » et **Q8** (P) « Les chercheurs n'utilisent pas leurs croyances pour faire de la science. »

Les croyances peuvent être définies comme les représentations mentales auxquelles on accorde une certaine confiance. Les scientifiques, comme tout un chacun, ont une grande foi dans leur façon de voir le monde, qui correspond à un fort sentiment de réalité. Cette façon de voir le monde, basée sur des croyances (de comment le monde est fait, comment il fonctionne...), guide chacun dans ses actions et ses attitudes.

Pasteur emploie à plusieurs reprises le terme « d'opinion » pour évoquer les positions adverses (l. 13, 65) et le terme « d'avis » pour sa propre position (l. 120). Bachelard écrivait que la science se construit contre l'opinion (sous-entendue non questionnée). Le produit de cette construction n'est autre qu'une croyance – selon la définition donnée – qui fait que les scientifiques ont confiance dans la façon dont ils voient le monde. Ainsi Lavoisier et ses compères n'imaginaient pas un monde où les transformations de matière puissent nécessiter l'action d'organismes vivants minuscules. Pasteur était guidé par une croyance (une opinion) adverse, qui le motivait à apporter des arguments pour montrer la supériorité de sa théorie sur celle de ses détracteurs (l. 88).

Plus généralement, on peut montrer comment une vision du monde (de la société, de l'humain...) influe sur les théories scientifiques (par exemple Darwin qui s'est inspiré du modèle Malthusien de l'économie pour interpréter l'évolution des formes de vie dans la nature car il était persuadé que c'était une loi de la nature – à l'œuvre dans la société comme en dehors – qu'il y a compétition pour les ressources, que le mieux adapté survit etc.). Cette foi en la manière de voir le monde d'une manière plutôt que d'une autre correspond, sur le plan psychologique, à ce que l'on appelle une croyance. Notez que d'autres modèles sont développés en écologie, qui sont basés sur la coopération comme facteur explicatif de l'évolution au lieu de la compétition...

■ **Questions Q4** (C) « On ne peut pas faire d'observation scientifique sans une théorie qui guide l'observation. » et **Q6** (P) « Dans la phase d'observation, un scientifique n'interprète en rien ce qu'il voit. » :

De nombreuses expériences en psychologie (voir notamment T. Kuhn « La structure des révolutions scientifiques » ou Fourez « La construction des sciences ») montrent que l'on ne peut voir que ce que l'on est prêt à voir (c'est-à-dire, en fait, lorsque l'on dispose d'une théorie pour interpréter ce que l'on voit).

Par exemple, lorsque Pasteur identifie la levure et la cultive (l.116), il mobilise, pour observer les résultats de ses expériences, des concepts, des théories (plus ou moins personnelles à l'époque) sur la notion de globule vivant, d'espèce, de croissance, de purification... Pour comprendre l'idée sous-jacente à ce qui est avancé ici, imaginons qu'un papou ou qu'un indien d'Amazonie ait assisté aux expériences de Pasteur : il n'aurait sans

doute pas observé la même chose que lui, car il n'aurait pas disposer des notions évoquées plus haut ni des concepts de milieu de culture, de microscope, de récipient utilisé pour les cultures..."Les instruments sont des théories matérialisées" (Bachelard). Pour un exemple plus caricatural, comment observer les résultats d'une expérience réalisée à l'aide d'un cyclotron sans connaître les concepts modernes d'atome, d'électron, etc.?

De plus, le sentiment de réalité structuré par une théorie peut induire l'observation d'un « objet inexistant » (e.g. l'homonculus de Hartsoecker, qui observait au microscope des petits hommes préformés dans les spermatozoïdes humains). Au contraire, l'absence de théorie empêche de voir ce qui peut être devant les yeux (e.g. les habitants de l'île de Pâques ne voyaient pas un navire à 20 mètres du bord car ils n'en avaient jamais vus et pour eux rien d'une telle taille et flottant sur la mer ne pouvait exister).

■ **Questions Q5 (P)** « Un chercheur isolé peut faire de la science. », **Q9 (C)** « C'est à partir des confrontations au sein de la communauté scientifique que naît le savoir scientifique. » et **Q10 (P)** « Même un chercheur isolé peut décider si une connaissance donnée peut être ajoutée au savoir scientifique. » :

Les sciences sont des activités typiquement collectives : un savoir non validé par une communauté ou dont une seule personne aurait connaissance, ne peut pas prétendre au statut de savoir « scientifique ». Popper, notamment, a montré comment l'objectivité scientifique (c.-à-d. la capacité à standardiser des vues et à les ériger ainsi en « faits » ou en « objets ») naît d'un processus de construction intersubjective.

Par exemple, Pasteur s'appuie sur des travaux antérieurs (l. 70-85) et structure sa pensée et ses expériences en opposition avec d'autres théories (l. 88). La vision populaire de l'histoire des sciences véhicule souvent l'image de génies solitaires (e.g. Mendel), dont les historiens ont montré qu'il ne s'agissait que de mythes, les scientifiques développant leur activité dans un contexte socio-culturel participant de la dynamique de leurs recherches.

L'idée qu'une seule personne pourrait, sans confrontation avec d'autres, développer un savoir de nature scientifique correspond à la vue P qui postule l'existence d'une méthode garantissant la véracité du savoir (méthode que personne n'a jamais vue ni mise en pratique, car les méthodes considérées comme valides sont négociées en permanence dans les différentes disciplines scientifiques et sont donc en évolution permanente).

■ **Question Q7 (P)** « Il y a des connaissances scientifiques qui sont considérées comme acquises et sur lesquelles on ne reviendra jamais. » :

Cf Thomas Kuhn.

Nous mettons aujourd'hui derrière le terme de « levure » des choses bien différentes de ce que Pasteur mettait derrière celui de ferment (et nous n'y mettons pas tous la même chose...). Les biologistes ont depuis lors construit une vision du vivant évolutive, basée aujourd'hui sur l'importance de la notion d'information (par rapport à celle de matière et d'énergie). En fait la sémantique est en évolution constante : penser « la Terre tourne autour du soleil aujourd'hui » n'est pas ancré dans le même réseau de significations que 100 ans après Galilée. De plus, peut-être que dans 100 ans, après des développements de la théorie des cordes, ce « fait » sera considéré comme tout à fait erroné. Ainsi, non seulement le sens des concepts évolue constamment (et dépend du contexte), mais aussi certaines notions « de base » peuvent être remises en question. Par exemple on a pensé que les protéines étaient la base de la spécificité de la vie, puis l'ADN, puis l'ARN. Aujourd'hui on pense cela plus en terme de réseaux de gènes, de protéines etc.

■ **Question Q11** (P) « Une théorie scientifique n'est acceptée que si elle est vérifiée par des tests expérimentaux. » :

Cette affirmation correspond à la théorie falsificationniste de Popper (« une théorie n'est scientifique que si elle peut être réfutée par le crible de l'expérience »). Une théorie n'est en fait acceptée que si elle permet de résoudre des problèmes que l'on a envie de résoudre. D'autres facteurs rentrent également en jeu dans l'acceptation des théories, comme la réputation des personnes qui les soutiennent (l. 64-68, et ce, toujours de nos jours). LA confiance accordée à une « preuve » dépend de bien d'autres facteurs que la « seule force de la preuve ». Notons également que certaines théories « de base » sont non falsifiables (c'est-à-dire que l'on ne peut pas faire d'expériences qui permettraient éventuellement de montrer qu'elles sont fausses) : e.g. « il y a de l'information dans la séquence des bases de l'ADN », « l'énergie de l'univers est constante, son entropie augmente » (2 premiers principes de thermodynamique) : on ne peut pas faire d'expérience qui montre que l'énergie de l'univers est constante. Les éléments théoriques au cœur des disciplines scientifiques sont en général des sortes de croyances non falsifiables sur lesquelles tout le reste de l'édifice théorique repose. Ce sont, selon Michel Morange dans « Histoire de la biologie moléculaire », les « planches pourries » qui servent de fondation à la construction de toute la biologie moléculaire.

■ **Question Q12** (P) « La construction des théories scientifiques se fait indépendamment du milieu socioculturel. »

Le contexte socio-culturel de Pasteur (par exemple les développements industriels) a influé sur l'état de la recherche de l'époque, les objets d'étude, les questionnements posés et même les choix des modèles d'étude (e.g. l. 94-100).

Nous avons déjà cité l'exemple de Darwin, qui s'est inspiré d'une théorie économique contemporaine pour bâtir la sienne. Nous pouvons citer également l'évolution des sciences biologiques à l'échelle moléculaire et cellulaire :

- Dans la première moitié du XX^{ème} siècle, on étudiait les enzymes, le métabolisme, la biochimie et on voyait le vivant comme régit par un flux de matière et d'énergie, dont la croissance et la nutrition s'expliquait par le fonctionnement de ces petites usines thermodynamiques (les enzymes). Dans le reste de la société, le développement des industries, consacrant la transformation de la matière par l'utilisation de l'énergie, faisait suite à la révolution industrielle

- Au milieu du siècle, l'avènement de la théorie de l'information donna un nouvel outil de pensée : le concept d'information... et on vit désormais le vivant comme régit par un flux d'information, tandis que se développait dans la société le secteur tertiaire, lié au commerce des biens immatériels.

- Aujourd'hui, à l'heure de la globalisation et d'internet, on n'espère plus expliquer la physiologie avec des gènes, mais avec des réseaux de gènes...

Les scientifiques puisent donc leur inspiration dans le monde qui les entourent. Le sens qu'ils donnent aux objets scientifiques - ainsi construits, ainsi que les développements technologiques qui accompagnent cette entreprise, contribuent réciproquement à faire évoluer la société. Ainsi la vision qui paraît plus convaincante est une co-construction sciences/société.

Des prolongements possibles :

Différentes manipulations sont proposées pour rendre le phénomène de la fermentation plus concret et illustrer la théorie.

1. **Des observations :**

Cette activité sur la fermentation peut être complétée par l'observation au **microscope optique** (MO) d'une préparation de levures :

- à partir d'une solution eau + levures
- à partir d'une solution eau + glucose + levures (bourgeonnement).

L'élève pourra réaliser un (des) dessin(s) de ses observations OU faire une acquisition et un traitement d'image avec le logiciel MESURIM (contour, dénombrement...).

Remarque : pour l'observation au MO, on peut réaliser différents types de coloration à l'aide de colorants :

- Coloration vitale au rouge neutre : mettre une goutte de rouge neutre. Recouvrir d'une lamelle. Observer au microscope au grossissement maximum disponible (à l'immersion dans l'huile si possible).

Si l'observation ne dure pas trop longtemps, les vacuoles seront colorées en rouge-rose. Ensuite, la coloration diffuse dans le cytoplasme.

- Coloration à l'eau iodée : au microscope au grossissement maximum disponible (à l'immersion dans l'huile si possible).

Le cytoplasme des levures prend une couleur jaune, car ces champignons synthétisent du glycogène (polyholoside) qui précipite sous forme de granules bruns acajou.

- Coloration au bleu de méthylène : laisser agir 30 minutes puis tremper la lame dans une solution d'acide chlorhydrique à 0,05 mole.L⁻¹ pendant une à deux minutes. Rincer à l'eau distillée et mettre une lamelle. Observer au microscope au grossissement maximum disponible (à l'immersion dans l'huile si possible). Une coloration des réserves de phosphate est observable dans les vacuoles et les noyaux.

Les observations peuvent être complétées par la recherche de photos de levures prises au **microscope électronique MET ou MEB**. L'élève pourra légender les photos trouvées et travailler sur leur échelle.

On pourra discuter de l'évolution des instruments d'optique et de la découverte des cellules, de l'apport de l'évolution des techniques dans la construction des savoirs (éléments en faveur de la thèse de la vitalité de la levure).

2. **Des expériences :**

On peut prendre comme point de départ l'équation algébrique de la fermentation donnée par Lavoisier : $\text{sucre} \rightarrow \text{alcool} + \text{CO}_2$

On rappelle que la fermentation se fait en présence de levures (vivantes) et en condition d'anaérobiose (= sans dioxygène).

On peut proposer à l'élève les questions suivantes :

a) Énoncer les **évolutions attendues** au cours du temps de la concentration du substrat (sucre, ici glucose) et de celles des produits (CO₂ et éthanol).

b) Chercher des **protocoles expérimentaux** qui permettent de montrer :

- la consommation de glucose
- la production de CO₂

Les ferments d'une théorie

Extrait remanié d'un article tiré de la revue trimestrielle « Les génies de la science - Pasteur »
Novembre 2007 – Janvier 2008

Louis PASTEUR (1822-1895), chimiste français de grande renommée, a écrit dans son introduction à son *Mémoire sur la fermentation appelée lactique* (1857) :

5 *Je crois devoir indiquer en quelques mots comment j'ai été conduit à m'occuper de recherches sur les fermentations. [...] On s'étonnera peut-être de me voir aborder un sujet de chimie physiologique bien éloigné en apparence de mes premiers travaux. Il s'y rattache néanmoins très directement.*

10 *Dans l'une de mes dernières communications à l'Académie, j'ai établi que l'alcool amylique, contrairement à ce que l'on avait cru jusqu'alors, était une matière complexe formée de deux alcools distincts, isomères, l'un déviant à gauche le plan de polarisation de la lumière, l'autre dépourvu de toute action. [...] Je résolus dès lors de faire une étude approfondie des deux alcools amyliques, de déterminer, s'il était possible, les causes de leur production simultanée et leur véritable origine, sur laquelle certaines idées préconçues me portaient à ne point partager l'opinion commune. [...]*

15 Pasteur en vient donc à étudier le processus de fermentation conduisant à la formation des alcools en question. Il recourt cette fois au microscope, un instrument qui, à cette époque n'a pas sa place dans un laboratoire de biochimie tel que le sien, et avec lequel il commence à étudier les sucres de fermentation, filtrés ou non. C'est aussi le microscope qui permet aujourd'hui de comprendre l'état des connaissances de l'époque sur la fermentation et le duel qui, d'ici peu, opposera deux géants
20 européens de la science, Pasteur et le grand chimiste allemand Justus von Liebig (1803-1873).

Le premier à avoir observé les levures au microscope, celles de la bière en l'occurrence, fut le naturaliste hollandais Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723), qui les décrit comme formées de
25 petits globules sphériques ou ovoïdes. Mais celui qui en donna une première lecture scientifique fut l'italien Adamo Fabbroni qui, en 1787, dans son *Raisonnement sur l'art de faire du vin*, écrit qu'une matière végéto-animale du moût induisait la fermentation dans les corps auxquels elle se mélangeait.

30 Pasteur, dans son *Mémoire sur la fermentation alcoolique* de 1860, cite la contribution du savant italien, en réduisant toutefois son mérite, comme il le fait souvent avec ceux qui l'ont précédé : « Fabbroni, savant italien, au milieu de beaucoup de vues et de faits erronés, rapproche et identifie même la levure avec le gluten. C'était un progrès. Cela donnait une indication sur la place que doit occuper la levure parmi les produits organiques. [...] Cette assertion de Fabbroni mit en quelque
35 sorte à l'ordre du jour la question de la nature du ferment ».

Si Fabbroni est le chef de file de ceux qui voyaient dans la levure, nommée aussi *ferment*, l'agent responsable de la fermentation, les porte-étendards de l'opinion adverse, selon laquelle la fermentation est un phénomène chimique pur dans lequel la levure ne joue aucun rôle (du moins en tant que substance vivante), sont des savants renommés : Antoine Laurent de Lavoisier (1743-
40 1794), père de la chimie, et Justus von Liebig, chimiste réputé, membre de la *Royal Society* de Londres et de l'Académie des sciences de Paris, inventeur du lait artificiel, de l'extrait de viande homonyme, des tablettes de bouillon, et fondateur de l'entreprise du même nom.

45 Lavoisier avait appliqué à la fermentation la méthode qui lui avait permis de révolutionner la chimie
en son temps : il l'avait réduite à une formule algébrique. Selon Lavoisier, pour qui « rien ne se
perd, rien ne se crée », si on met du sucre sur un des plateaux d'une balance et, sur l'autre, l'alcool
formé et l'acide carbonique dégagé – les deux produits de la fermentation –, on obtient un équilibre
parfait. Dans ce processus, la levure ne joue aucun rôle, car « la levure étant résorbée comme elle
50 est rentrée, je ne puis en tenir compte ». Cette opinion fut partagée par les chimistes des générations
suivantes, notamment Louis Jacques Thénard (1777-1857) et Louis Joseph Gay-Lussac (1778-
1850).

En Allemagne aussi, von Liebig et à sa suite, nombre de savants allemands, considéraient la levure
vivante comme un simple spectateur de la fermentation. Toutefois, l'explication de von Liebig était
55 différente : « La levure de bière et en général toutes les matières animales et végétales en
putréfaction reportent sur d'autres corps l'état de décomposition dans lequel elles se trouvent elles-
mêmes ; le mouvement qui par la perturbation de l'équilibre s'imprime à leurs propres éléments se
communique également aux éléments des corps qui se trouvent en contact avec elle. » Ainsi, le
ferment ne joue pas un rôle parce qu'il est vivant, mais parce qu'il est mort : « C'est la portion morte
60 de la levure, celle qui a vécu et qui est en voie d'altération, qui agit sur le sucre. » Le processus se
déroulerait en deux étapes : la multiplication de la levure, puis sa transformation et sa mort, cette
dernière provoquant la fermentation.

Cette thèse, portée par la réputation et la personnalité de von Liebig, eut l'avantage. Qu'en pense
65 Pasteur lorsqu'il commence son étude de la fermentation ? « Liebig a développé ses opinions dans
la plupart de ses ouvrages avec une persistance et une conviction qui peu à peu les ont fait
triompher. Aujourd'hui elles sont admises généralement en Allemagne et en France », relate-t-il
dans son *Mémoire sur la fermentation alcoolique* de 1860.

70 La thèse de la vitalité et du rôle de la levure avait, pour sa part, deux défenseurs, l'un français, le
physicien et ingénieur, Charles Cagniard De La Tour (1777-1859), et l'autre allemand, le
physiologiste Theodor Schwann (1810-1882). Les deux hommes avaient publié indépendamment en
1836-1837 deux mémoires soutenant cette théorie. Le français affirmait : « La levure est un amas de
globules susceptibles de se reproduire par bourgeonnement, et non une matière simplement
75 organique ou chimique, comme on le supposait. [...] C'est très probablement par quelque effet de
leur végétation que les globules de levure dégagent de l'acide carbonique de la liqueur sucrée et la
convertissent en liqueur spiritueuse. » Quant à Schwann, il avait reproduit le procédé d'Appert
(confiseur parisien très prisé qui a mis au point la conservation des aliments par stérilisation), mais
en modifiant un point essentiel : « Au lieu de se borner à chauffer en vases clos à la température de
80 100° des liquides fermentescibles, il les place en contact avec de l'air ordinaire préalablement
calciné », raconte Pasteur dans son *Mémoire*. Aucune fermentation ou putréfaction ne s'était
développé dans ces préparations, même après plusieurs semaines, ce qui n'aurait pas été le cas avec
de l'air non calciné. Cela signifiait que l'oxygène n'était pas le seul composant de l'air nécessaire
pour la fermentation : il existait autre chose, et « ce quelque chose, germes, ozone, particules
85 solides, fluides..., est détruit par la chaleur » conclut Pasteur.

C'est donc sur les traces de Cagniard De La Tour et de Schwann que s'engage Pasteur en 1857 pour
démontrer que les affirmations de Lavoisier et de von Liebig sont erronées. En étudiant la
production d'alcool amylique par fermentation, puis la fermentation de l'acide tartrique, le jeune
90 savant se convainc que la fermentation est un processus biologique c'est-à-dire que la levure, son
agent, est un organisme vivant. Reste à le prouver.

Pour approfondir ses recherches, Pasteur étudie la fermentation lactique, c'est-à-dire la production

95 d'acide lactique, observée par exemple dans le lait aigri. Ce choix peut paraître étrange, car éloigné
des préoccupations des industriels, mais il n'est pas dicté par les seuls intérêts pratiques : les travaux
sur la fermentation lactique sont rares, contrairement à ceux sur la fermentation alcoolique, ce qui
laisse le champ libre à Pasteur. Notamment, aucune levure lactique n'a encore été décrite. En outre,
l'acide lactique est produit en grande quantité durant la fermentation défectueuse de la betterave qui
100 préoccupe tant les industriels. Enfin, l'acide lactique est un sous-produit de l'alcool amylique
optiquement actif.

Comme point de départ, Pasteur s'appuie sur une expérience présentée en 1843 à l'Académie des
sciences par Théophile Jules Pelouze et Amédée Gélis : les deux chimistes ont observé que l'acide
lactique, au fur et à mesure qu'il apparaît dans de l'eau sucrée en fermentation, inhibe sa propre
105 production mais qu'il suffit d'ajouter de la craie à la préparation pour en maintenir la neutralité et
relancer le processus de fermentation. Pasteur répète l'expérience et note, au-dessus de la craie et
sur les parois du récipient, l'apparition de petites taches grisâtres. Examinées au microscope, ces
taches semblent constituées de fibrine et de caséine, substances désignées par von Liebig et ses
partisans comme des réactifs chimiques indispensables à la fermentation.

110 Non convaincu, Pasteur a l'heureuse idée de prélever ces particules et de les inséminer dans un
milieu plus simple, composé de craie, de sucre et d'un nutriment liquide. Quel est ce nutriment ? Le
jeune savant a choisi un extrait de levure de bière, dilué, chauffé et filtré pour qu'il ne reste plus que
la partie soluble de la levure, c'est-à-dire ses nutriments. En effet, il suppose déjà que les taches
115 grisâtres sont ou contiennent un ferment vital, qui pourrait croître dans les mêmes conditions que la
levure de bière. C'est ce qui se passe. Pasteur non seulement identifie la levure, mais la cultive. En
avril 1857, dans son *Mémoire sur la fermentation appelée lactique*, il décrit ses expériences et
anticipe les étapes suivantes qui consistent à transposer les résultats obtenus pour la fermentation
lactique au cas alcoolique :

120 *Il m'est d'avis, au point où je me trouve de mes connaissances sur le sujet, que quiconque
jugera avec impartialité les résultats de ce travail et ceux que je publierai prochainement
reconnaîtra avec moi que la fermentation s'y montre corrélative de la vie, de l'organisation de
globules, non de la mort ou de la putréfaction de ces globules, pas plus qu'elle n'y paraît comme un
phénomène de contact, où la transformation du sucre s'accomplirait en présence du ferment sans
125 lui rien donner, sans lui rien prendre.*

Trois années d'expérimentations s'écoulaient encore avant que Pasteur ne présente à l'Académie son
Mémoire sur la fermentation alcoolique. La caséine, l'albumine et les autres substances qui, dans la
théorie de von Liebig, déclenchaient la fermentation par contact, sont ainsi reléguées au rang de
130 simples nutriments d'un acteur principal, le ferment. Pasteur démontre en outre qu'en les remplaçant
par un sel d'ammoniaque ou des composés azotés, on observe la croissance de la levure aux dépens
de ces substances : la levure les utilise comme nutriments.