



L'idée de science chez des écoliers du secondaire en lien avec l'enseignement reçu

**Jean-Claude NOVERRAZ¹ et Jean-Michel PARISOD¹,
Bernard CHABLOZ¹**
HEP-VD et HEP-BEJUNE, Suisse

L'étude présentée ici concerne plusieurs classes de 9e année et une classe expérimentale de 8e année de la région Lausannoise. Nous nous sommes intéressés aux conceptions épistémologiques de ces élèves (ce qu'ils pensent de la science, des démarches et des comportements des scientifiques). Nous voulions savoir si ces conceptions dépendent de l'enseignement reçu et de l'orientation scolaire. Nous avons soumis à l'examen des hypothèses selon lesquelles ces conceptions peuvent évoluer sous l'effet de l'enseignement prodigué et si des élèves de cet âge sont capables de construire seuls une démarche qui respecte certains canons de la recherche scientifique.

A cette fin, nous avons utilisé plusieurs moyens d'investigation : un questionnaire ouvert et un questionnaire fermé de type QCM adressés à plusieurs classes dont la classe expérimentale, des productions d'élèves et un questionnaire « après coup » adressés à la classe expérimentale seulement.

Les données recueillies montrent certains impacts d'un enseignement fondé sur une approche socioconstructiviste de l'apprentissage et sur une vision épistémologique contemporaine de l'enseignant. Ils nous permettent de penser que les conceptions épistémologiques des élèves dépendent en partie de l'enseignement qui leur est prodigué.

Nous tentons enfin de tirer quelques enseignements de cette recherche pour la formation initiale et continue des enseignants. Cette étude nous encourage en effet à mettre l'accent sur la dimension épistémologique de l'enseignement des sciences afin que les enseignants puissent pleinement endosser leur responsabilité épistémique face aux élèves.

Introduction

Préambule

Auteurs du travail présenté ici, nous ne sommes pas des chercheurs mais des formateurs et enseignants, des didacticiens qui ont à l'esprit des

1. Contact : jean-claude.noverraz@edu-vd.ch; jean-michel.parisod@edu-vd.ch;
bernard.chabloz@hep-bejune.ch



questions de recherche. Notre travail ne s'est pas construit selon le schéma classique (du moins tel qu'il est rendu public) des chercheurs en sciences de l'éducation. C'est le contexte dans lequel nous nous mouvons qui a orienté les hypothèses, déterminé le public cible et les outils qui sont décrits ici. Des opportunités se sont présentées :

- accompagnement d'un mémoire professionnel sur les représentations des élèves de 9e année en sciences expérimentale et l'influence de ces représentations sur l'intérêt porté aux sciences (Aubert, 2004),
- conception d'un cours de formation à l'épistémologie (interactions avec des étudiants),
- demande d'un praticien formateur (Jean-Michel Parisod) soucieux de construire sa pratique sur des bases théoriques solides (recherche action),
- volonté partagée par les trois auteurs de développer des outils didactiques utilisables en formation initiale et continue des enseignants (recherche développement).

Le défi est de tirer de nos investigations et expériences, une présentation qui soit compréhensible pour le lecteur tout en ne dénaturant pas la complexité du dispositif de recherche et en respectant autant que faire se peut les canons des publications scientifiques. Avons-nous réussi ? Le lecteur appréciera...

Contexte pratique

Notre étude a touché 241 élèves de deux écoles secondaires de la région lausannoise. Âgés de 15 à 16 ans, ils sont en 9e année scolaire, en voie secondaire de baccalauréat (VSB) préparant aux études longues ou en voie secondaire à option (VSO) préparant aux apprentissages professionnels. A ces 241 élèves s'ajoutent les 20 élèves d'une classe expérimentale de 8e année de la VSB (classe 8VSB-exp). L'enseignement des sciences comporte deux heures de cours hebdomadaires pour tous les élèves concernés.

L'équipe de recherche est constituée d'un praticien formateur et de deux formateurs devenus chercheurs. Un chercheur (Jean-Claude Noverraz) a formulé les hypothèses de travail, conçu les outils de recueil de données puis a travaillé en duo avec le praticien (Jean-Michel Parisod) pour construire et mettre en œuvre le travail proposé aux élèves. Les deux chercheurs (Bernard Chabloz et Jean-Claude Noverraz) ont analysé les données recueillies. Le praticien a donné son accord pour la diffusion du texte final.

La phase préparatoire, la phase « action » et la phase rédactionnelle de la recherche se sont étendues sur trois ans. La partie expérimentale avec les élèves de la classe 8VSB-exp s'est déroulée durant trois mois, au printemps 2004. Ces élèves ont encore été sollicités à deux reprises pour des post-tests en novembre 2004 et en mars 2005.

Cadre interprétatif et état de la recherche contemporaine

Introduction

De nombreuses études ont décrit les conceptions des étudiants et enseignants à propos de la science. Ces conceptions posent problème car elles n'intègrent que partiellement les avancées du 20^e siècle en la matière. De plus, elles sont partiellement incohérentes. Beaucoup de ces études concluent que des changements sont à attendre d'une meilleure formation des enseignants notamment en ce qui concerne l'épistémologie et l'histoire des sciences. La similitude des conceptions des étudiants et des enseignants laisse à penser que celles des premiers sont au moins entretenues, si ce n'est façonnées par celles des seconds. Plusieurs études postulent que la posture épistémologique de l'enseignant détermine sa manière de présenter la science en classe et contribue à modeler les conceptions de ses élèves. Nous allons évoquer certaines de ces études en commençant par poser brièvement le cadre théorique auquel elles se réfèrent, parfois explicitement, et qui est aussi le nôtre.

Ce que nous ont appris les épistémologues du 20^e siècle...

L'idée de science qui s'est développée au 20^e siècle est notamment due aux contributions de Gaston Bachelard (1884-1964), Karl Popper (1902-1994), Imre Lakatos (1922-1974), Thomas Kuhn (1922-1996), Paul Feyerabend (1924-1994) et Alan F. Chalmers (1936).

Pour faire court, disons que personne aujourd'hui ne prétend que l'on puisse définir LA méthode scientifique. Et l'idée d'une science qui construit des certitudes à partir d'une approche inductive directement fondée sur des observations est morte.

On admet qu'aucune expérience ne peut prétendre au statut d'expérience cruciale, ce qui n'empêche pas que les tests expérimentaux destinés à confirmer ou à réfuter des hypothèses demeurent essentiels dans les démarches conduites par les scientifiques. La dimension sociale de la science et son caractère humainement irrationnel sont reconnus. Un certain relativisme est accepté bien que des balises existent, qui permettent d'opposer science et non science. La connaissance est constituée de modèles qui s'articulent à l'intérieur de théories générales, mais plus rien n'est considéré comme définitivement acquis. Les modèles sont contextuels et leurs limites précisées. La construction du savoir est vue comme un processus social et la « certitude » scientifique conçue comme le résultat d'un consensus historiquement situé. Une conception dynamique de cette construction, impliquant des abandons et des reconstructions, a pris la place d'une conception statique dans laquelle les savoirs se juxtaposent.

Un courant pédagogique, né des théories socioconstructivistes de l'apprentissage, reprend cette vision à son compte. On considère



généralement (Bachelard et Piaget y sont pour quelque chose) qu'il y a une forme d'isomorphisme entre la manière dont le savoir se construit au travers des générations et la manière dont il se construit dans la tête d'un apprenant. Le « modèle allostérique » d'apprentissage de Giordan (1995) est exemplaire à cet égard (allostérique : vocable provenant d'une métaphore par laquelle André Giordan compare les mécanismes de construction du savoir aux mécanismes de développement de certaines protéines qui changent de forme et de fonction sous l'action du milieu).

Dans le monde de l'enseignement, tout au moins du côté de la formation des maîtres, un mythe est tombé : celui d'une démarche d'inspiration positiviste, connue sous l'appellation OHERIC (pour *Observation – Hypothèse – Expérience – Résultat – Interprétation – Conclusion*). Des modèles plus conformes à la science telle qu'elle se pratique sont proposés çà et là. Cariou (2003), par exemple, en propose un sous l'acronyme DiPHTeRIC pour *Données initiales – Problème – Hypothèses – Tests – Résultats – Interprétation – Conclusion*. Ce modèle met l'accent sur la problématisation du savoir à construire et sur l'importance de la dévolution des problèmes et des méthodes aux élèves. C'est un tel modèle qui inspire l'enseignement des sciences prodigué à certaines des classes qui font l'objet de notre étude (enseignement donné par le praticien formateur de l'équipe de recherche).

... et ce que pensent les enseignants et futurs enseignants

Un profil de croyances domine, qui mêle des points de vue empiriste, réaliste naïf et positiviste. Cette position empirico-réaliste coexiste avec des idées comme la véridicité relative et contextuelle des connaissances scientifiques et leur subjectivité, ou bien l'idée que les théories scientifiques ne sont qu'une façon d'interpréter la réalité et donc peuvent être ébranlées à tout moment. Roletto (1998), qui cite des travaux de Guilbert & Meloche (1993), a conduit à ce sujet une recherche portant sur 120 futurs enseignants du primaire et sur 171 futurs enseignants du secondaire licenciés en physique ou chimie. Des données tirées d'un questionnaire semi-ouvert construit sur des enquêtes préalables, il tire ces conclusions :

La majorité des sujets partage un point de vue empiriste, quant à la nature des connaissances scientifiques : réaliste, quant à leurs objets; inductiviste, quant à leurs démarches; relativiste et contextualiste, quant à leur statut. En outre, les sujets accordent très peu d'importance à la dimension sociale des sciences et aux aspects créatifs de l'activité des scientifiques. (p. 11)

Améliorer la formation des enseignants et renouveler les pratiques pédagogiques

De manière générale, Guilbert et Meloche (1993), Robardet (1998), Roletto (1998), Guilbert et Mujawamariya (2003) et d'autres encore constatent une déficience de la formation des enseignants relative aux

questions d'épistémologie; il s'ensuit que pour les enseignants en sciences, qu'ils soient généralistes ou de formation scientifique universitaire, la question même du fondement d'un choix pédagogique ne se pose que peu.

Roletto (1998) relève chez les enseignants du secondaire « un manque profond de culture en matière de réflexion sur l'élaboration du savoir scientifique, puisqu'une bonne partie des futurs enseignants interrogés est porteuse d'un mélange non réfléchi et donc peu cohérent d'idées appartenant à différentes philosophies de la science » (p. 27). Il précise : « Ils ont mené leurs études au sein d'institutions dont l'objectif est de pousser les élèves à apprendre des connaissances toutes prêtes plutôt que de développer la production de connaissances, en étouffant ainsi leur créativité » (p. 27).

De son côté, Coquidé (1998) met en rapport les conceptions des enseignants avec le statut confus des pratiques expérimentales qu'ils mettent en place dans l'enseignement de la biologie. Elle relève le peu de place laissée à l'exploration et à la modélisation dans les activités expérimentales des apprenants.

Plus récemment, Guilbert et Mujawamariya (2003), en conclusion d'une recherche ayant porté sur deux groupes de respectivement 45 et 73 futurs enseignants et futures enseignantes de trois IUFM du Canada francophone, en appellent à des changements de pratiques pédagogiques tant à l'école qu'en formation des enseignants :

Il s'agit, en fin de compte, de la mise en place de stratégies pédagogiques authentiques.

Nous entendons par là des stratégies mobilisant et développant les compétences des élèves, qui y voient une finalité, une pertinence et un sens à leurs apprentissages (...)

Par exemple, une utilisation accrue dans les activités pédagogiques de controverses socioscientifiques contemporaines (OGM, clonage, cellules souches, eugénisme, xénogreffes, énergie nucléaire, etc.) pourrait aider les élèves à mieux comprendre les rôles et les tâches des scientifiques ainsi que certaines de leurs caractéristiques. Et c'est vrai même pour des élèves du secondaire. En effet, nous croyons que plus vite on démystifie les scientifiques, plus vite les jeunes pourront acquérir une pensée critique en ce qui regarde la construction des connaissances scientifiques. (pp. 230-231)

Ici, ces auteures citent, entre autres, l'approche pédagogique connue sous le vocable STS (Science-Technologie-Société). Elles poursuivent :

Une formation articulée des enseignants et des enseignantes à l'anthropologie, à l'épistémologie et à l'histoire des sciences est, selon nous, non pas une visée de formation uniquement théorique, mais bien une visée éminemment pratique. En effet, elle devrait fournir une grille de lecture élargie pour les enseignants et les enseignantes et, nous le souhaitons par ricochet pour leurs élèves, des débats contemporains. Les citoyens et les citoyennes ont et auront de plus en plus un rôle décisif à jouer face aux enjeux technoscientifiques. Pour ce faire, ils ne devront pas laisser l'entière liberté aux experts scientifiques,



mais bien être parties prenantes aux enjeux dont les aspects éthiques, économiques, scientifiques, légaux, sociologiques deviennent imbriqués au point d'être parfois indissociables. (p. 231)

Consensus

Le cadre interprétatif que nous venons de décrire ici fait l'objet d'un fort consensus. Les études publiées à ce propos convergent largement. A tel point qu'on peut parler d'un véritable paradigme. Les conceptions épistémologiques des futurs enseignants, et parfois celles des enseignants expérimentés ont fait l'objet de nombreuses communications. On trouve aussi des publications à propos des conceptions des collégiens ou lycéens (17 ans et plus). Il est plus difficile de trouver des travaux qui concernent les conceptions épistémologiques des plus jeunes élèves.

Hypothèses et élèves concernés par notre étude

Deux hypothèses

Comme nous l'avons vu, Guilbert et Mujawamariya (2003) postulent que les représentations des élèves à propos de la science peuvent être orientées par les actes d'enseignement.

Ce postulat est confirmé par une expérience développée par Larochelle et Désautels (1992), réalisée avec 35 élèves d'un collège d'enseignement général et professionnel. Ces auteurs montrent que les conceptions de ces collégiens de 17 ans et plus sont susceptibles d'évoluer sous l'effet d'un enseignement ciblé sur une réflexion épistémologique.

Nous nous sommes intéressés à des élèves plus jeunes, encore à l'école obligatoire, et nous avons formulé deux hypothèses susceptibles d'être testées empiriquement dans le contexte de travail qui est le nôtre :

- 1. Ce que les élèves pensent de la science, en fin de scolarité obligatoire, peut dépendre de l'enseignement qui leur a été prodigué et de la posture épistémologique de leur enseignant.**
- 2. Des jeunes adolescents, placés dans des conditions idoines, sont capables de concevoir et mettre en œuvre un certain nombre d'éléments d'une démarche de caractère scientifique.**

Elèves et enseignants concernés

Il s'agit de :

- 60 élèves de trois classes de 9e année en VSB d'un établissement A ayant eu, durant deux ans et demi, comme professeur de sciences, le praticien formateur de l'équipe de recherche (Jean-Michel Parisod). C'est un enseignement dans lequel les élèves sont engagés dans des démarches inspirées par le modèle DiPHTeRIC (voir plus haut, p. 308). De plus, cet enseignement stimule les interactions sociales au sein des

classes ainsi qu'entre élèves et partenaires extérieurs. Il responsabilise les élèves et leur propose des finalisations tangibles (produire des objets, des modèles, faire des communications, pratiquer des études de cas). Nous désignons par la suite ces trois classes par l'abréviation **9VSBsocio** (allusion au socioconstructivisme).

Quatre groupes d'élèves appartenant à des classes témoins, ayant reçu un enseignement des sciences que nous qualifierons ici de « traditionnel »:

- 58 élèves de trois classes de 9e année en VSB de l'établissement **A**, classes **9VSB-A**;
- 56 élèves de quatre classes de 9e année en VSO de l'établissement **A**, classes **9VSO-A**;
- 41 élèves de deux classes de 9e année en VSB d'un établissement **B**, classes **9VSB-B**;
- 26 élèves de deux classes de 9e année en VSO de l'établissement **B**, classes **9VSO-B**.

A cela s'ajoutent les 20 élèves de la classe expérimentale **8VSB-exp** (établissement **A**). : 11 filles et 9 garçons de 8e année, âgés de 14 à 15 ans. Ces élèves ont été orientés en VSB deux ans plus tôt. Depuis un an et demi, l'enseignement des sciences leur est prodigué par le praticien formateur de l'équipe. C'est lui également qui a conduit la classe dans l'expérience que nous décrirons.

Dans la section 4.6. on trouvera un tableau précisant quels outils de recueil de données ont été utilisés avec quels élèves.

Démarche et outils de recueil de données

Démarche de recherche

Les principaux éléments de notre démarche sont les suivants:

- Administration d'un questionnaire ouvert et d'un questionnaire fermé de type QCM à plusieurs classes de profils différents.
- Explicitation des résultats : panorama des conceptions observées.
- Conduite d'une séquence d'enseignement « élèves chercheurs » avec la classe expérimentale et prise de données en cours de route (recueil de productions d'élèves).
- Analyse des impacts de l'expérience sur les apprentissages opérés par les élèves et sur leurs conceptions épistémologiques.
- Discussion à propos de nos hypothèses et des enseignements à tirer du point de vue de la formation des enseignants.

**Le questionnaire ouvert**

Les élèves ont répondu par écrit aux trois questions suivantes :

1. Qu'est-ce qui fait que quelque chose est scientifique ou pas scientifique ?
2. Que veut dire « prouvé scientifiquement » ?
3. Que se passe-t-il lorsque deux scientifiques ne sont pas d'accord entre eux ?

Ils avaient tout le temps nécessaire et n'étaient pas limités quant à la longueur des textes attendus.

Nous avons été en contact avec les élèves de la classe 8VSBexp ce qui nous a permis d'avoir avec eux de petits entretiens grâce auxquels nous avons pu préciser le sens qu'ils donnaient à leurs réponses. On le verra, les réponses données par les élèves de cette classe n'ont pas été comparées à celles des autres classes, mais entre elles d'un prétest à un post-test.

Le questionnaire fermé (QCM)

Ce QCM comporte trois questions (Nos 1, 2 et 3) (annexe 1) avec, pour chacune, quatre réponses proposées. Le sujet doit indiquer la réponse qu'il préfère et celle pour laquelle il opte en 2e choix. Pour une partie des enquêtes, ces trois questions ont été dédoublées (questions Nos 4, 5 et 6) (annexe 2), chacune dans une nouvelle formulation.

La première question est relative à ce que nous avons appelé l'axe de la démarche scientifique, la deuxième question renvoie à un axe concernant la nature philosophique de la science et la troisième est axée sur la nature sociale de la science. A l'intérieur de ces axes, nous avons défini des catégories conceptuelles en nous inspirant des travaux de Porlán Ariza *et al.* (1998), Fourez (1996), Fourez, Englebert-Lecomte et Mathy (1997), Gagnon et Hébert (2000) ainsi que Chalmers (1987). Chacune de ces catégories est représentée par une réponse proposée au choix de l'élève.

Ces catégories sont définies comme suit :

1er axe : Démarche (D..) scientifique

- DEI empirisme inductif : les découvertes sont fortuites; des observations a priori les permettent
- DEM empirisme modéré : va-et-vient entre les observations et les hypothèses théoriques, l'observation étant première
- DER empirisme renversé : les investigations expérimentales sont soumises à la formulation préalable d'hypothèses
- DRa rationalisme : la théorie prime sur les observations; le chercheur se méfie de ces dernières.

2e axe : Nature philosophique (P..) de la science

- PRN réalisme naturel : les lois et théories donnent une image vraie d'un monde qui existe indépendamment de l'homme
- PRC réalisme critique : les lois et théories donnent une représentation simplifiée d'un monde dont on n'a par ailleurs qu'une image déformée par nos sens
- PId idéalisme : le monde perçu est une illusion produite par les sens; ce monde n'est pas accessible même s'il existe en soi
- PIn instrumentalisme : on demande aux lois, formules et théories d'être efficaces mais on ne leur demande pas de dire ce qu'est le monde

3e axe : Nature sociale (S..) de la science

- SAE absolutisme empirique : il y a une seule vérité et une seule manière d'exprimer cette vérité par des lois, formules et théories
- SEF empirisme faillible : les chercheurs peuvent arriver à des lois ou des théories différentes car la vérité est difficile à trouver
- SRe relativisme : une vérité unique peut être exprimée par des lois, formules et théories différentes
- SSo socioconstructivisme : la vérité n'existe pas en soi, elle est ce qu'une communauté décide de déclarer vrai

Il faut souligner que nous avons prévu de proposer aux élèves une réponse relevant d'un empirisme naïf (le chercheur observe bien son objet et induit directement une théorie à partir cette observation). Mais des explorations préparatoires nous ont montré que très rares étaient les élèves qui adhéraient à une vision aussi simpliste.

La séquence expérimentale d'enseignement « élèves chercheurs » et les productions des élèves de la classe 8VSB-exp

Cette séquence d'enseignement s'est déroulée sur une vingtaine d'heures de cours réparties sur une période de trois mois.

La séquence d'enseignement conduite dans la classe 8VSB-exp a consisté pour l'essentiel à placer les élèves dans une situation qui les incitait à « jouer » aux chercheurs et à porter un regard sur les mécanismes de recherche qu'ils mettaient en œuvre. Nous avons choisi une question de recherche qui soit authentique et dont nous n'avions pas la réponse. Les élèves le savaient, ce qui rompait avec le contrat didactique habituel dans lequel l'enseignant conduit la classe à un résultat qu'il connaît déjà. Pour cela, nous avons lancé aux élèves le défi suivant : « qui d'entre vous est capable de déceler, en la goûtant, la plus petite concentration de sucre dans de l'eau et quelle est cette concentration ? » Nous avons



indiqué aux élèves que nous attendions une réponse de la classe et non pas de quelques élèves et que cette réponse pouvait être convergente ou faire état de désaccords éventuels au sein de la classe. En cours de route, nous avons même précisé que la classe pouvait décréter que la réponse à la question posée est impossible à donner et fournir les arguments qui mènent à cette conclusion. Dans cette démarche, nous avons respecté un principe méthodologique strict : à aucun moment, nous ne nous sommes substitués aux élèves. Nous avons posé le problème, mais ils ont géré cette situation de manière autonome. Les seuls appuis fournis étaient d'ordre logistique (matériel, documents, moyens audio-visuels).

Ce défi a poussé les élèves à élaborer des démarches de travail. Ils ont formulé des hypothèses et imaginé des tests de validation, conçu des protocoles et pris en charge des décisions sur la validité de ces résultats. Comme ils travaillaient au laboratoire en alternance par demi-classes, ils ont dû faire des communications adressées à leurs camarades et interpréter celles qui leur étaient destinées.

Ce que la classe a appris

En cours de travail, nos élèves ont dû rédiger un document de synthèse, commun à toute la classe, résumant ce qu'ils ont appris, sur le plan de la démarche, en s'affrontant au défi. Un texte consensuel a été produit par les élèves après la mise en commun de travaux de groupes.

Ce que chacun a appris

Après le bouclage de cette partie expérimentale, nous avons demandé à chaque élève ce qu'ils pensaient avoir appris par ce travail. Nous avons collecté des textes rédigés individuellement.

Conformément à notre choix méthodologique, nous ne sommes pas intervenus dans ces rédactions.

Le questionnaire « après-coup »

Vraie/fausse recherche ?

Près d'une année après cette expérience, nous avons à nouveau interrogé les élèves de notre classe expérimentale et leur avons posé, entre autres, les questions suivantes :

- Penses-tu que la recherche à laquelle tu as participé l'année dernière et qui visait à trouver qui, dans la classe, est capable de détecter la plus faible concentration de sucre dans de l'eau était une vraie recherche scientifique ?
- Que faut-il ou que faudrait-il pour que des élèves, dans le cadre d'un cours de sciences, fassent une vraie recherche scientifique ?

Croisement entre les élèves concernés et les outils de recueil de données

Le tableau ci-dessous donne une vue globale de notre méthodologie de recherche. On voit quels groupes d'élèves nous ont fourni des données au travers du questionnaire ouvert, du QCM, des productions dans l'action et du questionnaire « après coup ». Nous avons aussi précisé, dans ce tableau, quelles hypothèses étaient testées, avec quels élèves et quels outils.

Elèves	Trois classes 9VSO-A, ens. « traditionnel »	Trois classes 9VSB-A, ens. « traditionnel »	Trois classes 9VSB socio	Classe expérimentale 8VSB-exp	Deux classes 9VSB-B	Deux classes 9VSO-B
	Etablis. A	Etablis. A	Etablis. A	Etablis. A	Etablis. B	Etablis. B
Outils	56 élèves	58 élèves	60 élèves	20 élèves	41 élèves	26 élèves
Questionnaire ouvert	Comparaison des trois groupes d'élèves ← 1 ^e hypothèse →			Prétest (avant séquence d'ens.)		
				Post-test (après séquence d'enseign.) 1 ^e hypothèse		
QCM				Comparaison des trois groupes d'élèves * Simultanément, Questions 1, 2 et 3 prétest pour la classe 8VSB-exp (avant séquence d'enseign.) ← 1 ^e hypothèse → Questions 1 à 6		
				Post-test (après séquence d'enseign.) Questions 1 à 6 1 ^e hypothèse en lien avec le questionnaire « après coup »	* Les élèves de l'établissement B ont répondu au QCM dans le cadre d'un mémoire professionnel conduit par Aubert (2004).	
Productions d'élèves dans l'action				Ce que la classe a appris 2 ^e hypothèse		
Défi sur le goût sucré				Ce que chacun a appris 2 ^e hypothèse		
Questionnaire « après coup » Un an après la séquence d'ens.				Vraie/fausse recherche ? 1 ^e hypothèse en lien avec le QCM		



Panorama des conceptions observées

Questionnaire ouvert

Les réponses des élèves aux trois questions du questionnaire ouvert se chevauchent et se complètent. Nous les avons analysées conjointement. Une première lecture des réponses et quelques entretiens avec des élèves nous ont permis de dresser des catégories conceptuelles. Nous avons ensuite défini des indicateurs sémantiques repérables dans les textes produits par les élèves. Ces indicateurs peuvent être un mot comme *test*, *analyse*, *tester*, ou des associations de mots comme *expérience qui explique la théorie* ou *expériences prouvant le résultat désiré*. Nous avons pu ainsi faire entrer les élèves dans les catégories conceptuelles présentées dans les tableaux qui suivent. Les nombres en % sont relatifs à chacun des trois groupes considérés.

Difficultés à répondre

Un certain nombre d'élèves n'ont pas répondu à l'une ou l'autre des questions ou ont donné des réponses du genre « scientifique : qui a un quelconque rapport avec la science » ou « prouvé scientifiquement, ça veut dire qu'on a fait une étude scientifique pour prouver la chose ». Nous avons qualifié ces réponses de tautologiques. En consultant le tableau 1, on constate qu'un élève sur deux donne une réponse non informative en 9VSO-A. Ce nombre tombe à un élève sur quatre en 9VSB-A et à un élève sur dix en 9VSBsocio.

Tableau 1 : Non-réponses et réponses non significantes

	Classes 9VSO-A ens. « traditionnel » 56 élèves	Classes 9VSB-A ens. « traditionnel » 58 élèves	Classes 9VSBsocio 60 élèves
Non-réponse	16 % 9 élèves	3 % 2 élèves	7 % 4 élèves
Réponses tautologiques	36 % 20 élèves	24 % 14 élèves	5 % 3 élèves
Réponses non informatives (totaux)	52 % 29 élèves	27 % 16 élèves	12 % 7 élèves

Visions naïves de la science

D'autre part, certaines réponses d'élèves permettent de déceler une vision de la science que nous qualifierons de naïve. Cette naïveté se décline sous trois aspects :

- **Science = tests** : la science est vue comme le lieu où l'on teste, où l'on met à l'épreuve (le cliniquement testé, le scientifiquement contrôlé). On retrouve ici la conception de la science entretenue par les médias

notamment au travers de la publicité commerciale et qui invoque une science garante de vérité et de certitude.;

- **Science = calculs, chiffres** : la science est fondée sur la rigueur des calculs, la preuve mathématique;
- **Science = recherche** : la science consiste à faire de la recherche par curiosité. C'est une vision naïve dans la mesure où, pour ces élèves, la science se ramène à « rechercher » ou « étudier ».

Tableau 2 : Trois visions naïves de la science

Répartition des réponses selon les trois groupes d'élèves	Exemples de textes produits par les élèves
Science = tests 9VSO-A : 45 % 25/56 élèves 9VSB-A : 31 % 18/58 élèves 9VSBsocio : 22 % 13/60 élèves	<ul style="list-style-type: none">• Prouvé scientifiquement, ça veut dire que c'est scientifique avec des tests, des comparaisons.• Prouvé scientifiquement : quand un scientifique travaille sur un sujet comme pour le dentifrice par ex., ce produit est testé par des personnes qui disent que ce dentifrice fait soigner les gencives [...]• On peut très bien prouver quelque chose par la parole en ayant de bons arguments, mais « prouvé scientifiquement » c'est prouvé par la science [...] en ayant fait une démarche scientifique, en ayant fait des expériences.• Ce qui fait que quelque chose est scientifique : La manière dont elle a été découverte. La manière dont les analyses ou les tests ont été faits.
Science = calculs, chiffres 9VSO-A : 2 % 1/56 élèves 9VSB-A : 22 % 13/58 élèves 9VSBsocio : 7 % 4/60 élèves	<ul style="list-style-type: none">• Scientifique : C'est quelque chose qui peut être prouvé par calcul.• Prouvé scientifiquement : C'est ce qu'il faut prouver avec des calculs ou des expériences scientifiques.• Prouvé scientifiquement : Que c'est une chose sûre, qu'on a contrôlée par des études, des calculs. Ce n'est pas quelque chose que l'on pense, que l'on suppose.• Prouvé scientifiquement : C'est que c'est prouvé par la science et qu'on a utilisé plein de chiffres et de mots compliqués.• Prouvé scientifiquement : Prouvé par un calcul et qui marche dans tous les cas.
Science = recherche 9VSO-A : 30 % 17/56 élèves 9VSB-A : 16 % 9/58 élèves 9VSBsocio : 55 % 33/60 élèves	<ul style="list-style-type: none">• [La science, c'est] de la recherche approfondie d'une chose quelconque.• Scientifique : On fait des recherches sur la chose ou l'objet pour [en] déterminer l'utilité et le fonctionnement.• Scientifique : Quand on étudie un sujet précis : par exemple si on veut savoir si les feuilles sont vertes on les étudie scientifiquement.• Prouvé scientifiquement : C'est qu'on a essayé de prouver quelque chose en faisant des recherches sur « comment sont faites les choses », « de quoi est-ce composé ».



Le tableau 2 montre que c'est en 9VSO-A que la formule science = tests, est la plus fréquemment exprimée (près d'un élève sur deux). Elle est aussi souvent exprimée en 9VSB-A mais de manière moindre (un élève sur trois).

Pour environ un élève sur cinq des 9VSB-A, la science tire ses certitudes du fait qu'elle repose sur des calculs (science = calculs, chiffres).

Quant à l'idée selon laquelle science = recherche, elle est partagée par plus d'un élève sur deux des classes des 9VSBsocio et près d'un élève sur trois en 9VSO-A.

5.1.3. Pour un certain nombre d'élèves, la science aurait pour projet de rationaliser le monde et sa finalité serait essentiellement d'établir des lois et des théories

Le tableau 3 se rapporte à des réponses selon lesquelles la science explique, fait comprendre, met les faits en évidence, met en formule, trouve les lois. C'est une image de la science omnipotente qui s'exprime ici. C'est clairement chez les élèves de la 9VSB-A que l'on trouve le plus fréquemment de tels points de vue. Si ces points de vue sont moins partagés en 9VSBsocio, c'est que les élèves de ce groupe ont souvent, comme on va le voir plus loin, une vision plus élaborée de la science.

Tableau 3 : Vision d'une science « rationaliste »

Répartition	Exemples de textes produits par les élèves
Science = rationalisation 9VSO-A : 20 % 11/56 élèves 9VSB-A : 40 % 23/58 élèves 9VSBsocio : 10 % 6/60 élèves	<ul style="list-style-type: none"> Scientifique : C'est quelque chose, qu'on étudie (comme le corps humain), qui est très précis, qui est exact. Scientifique : C'est des choses ou des phénomènes qu'on peut expliquer. Scientifique : C'est quelque chose qui ne se voit pas. C'est l'étude de « comment c'est fait », « qu'est-ce qui fait que quelque chose est comme ça ». Les faits réels sont des choses scientifiques, des faits qui ont été prouvés scientifiquement. Une légende n'est pas quelque chose de scientifique.
Science si théorie, lois, formules 9VSO-A : 2 % 1/56 élèves 9VSB-A : 16 % 9/58 élèves 9VSBsocio : 5 % 3/60 élèves	<ul style="list-style-type: none"> [...] Je pense que tout cela est précis et que prouver scientifiquement c'est arriver à des hypothèses, des formules. Scientifique : Que l'on a compris le mécanisme « qui fait que le phénomène se comporte ainsi, quand on peut expliquer le phénomène par des « lois » connues. Prouvé scientifiquement : Prouver à l'aide de formules des lois scientifiques Scientifique : Du moment qu'il y a eu une explication et une théorie, on peut dire que c'est scientifique.

La science vue comme un aller et retour entre théorie et observation ou entre hypothèses et expériences de validation

On a là des réponses qui mettent en avant une caractéristique fondamentale de la démarche scientifique. Elles font état d'une dialectique entre théorie et observation ou entre hypothèses et validation expérimentale. Pour faire court, nous qualifierons de « constructiviste » cette conception de la science.

Tableau 4 : Vision « constructiviste » de la science

Répartition	Exemples de textes produits par les élèves
9VSO-A : 2 % 1/56 élèves	<ul style="list-style-type: none">• C'est scientifique si la chose est prouvée par des théories scientifiques précédemment établies et est prouvée aussi par la pratique• C'est qu'une expérience est prouvée pratiquement, théoriquement, graphiquement.• Prouvé scientifiquement : Que l'on a démontré en public notre théorie avec des expériences.• Prouver grâce à une expérience qui explique une théorie.• Cela veut dire que l'on a testé, fait des expériences prouvant le résultat désiré.• lorsque deux scientifiques ne sont pas d'accord, ils doivent démontrer leur propre théorie en pratiquant des expériences
9VSB-A : 5 % 3/58 élèves	
9VSBsocio : 38 % 23/60 élèves	

Le tableau 4 montre que les classes 9VSBsocio se démarquent nettement des autres avec près de quatre élèves sur dix qui mettent en avant cette caractéristique de la démarche scientifique.

Pour certains élèves, le travail en équipe des chercheurs et la reconnaissance sociale de la communauté scientifique caractérisent la science

C'est là une vision beaucoup plus contemporaine de la science qui s'exprime. Alors que jusqu'ici, toutes les réponses évoquées nous décrivent une science désincarnée, voici que celle-ci prend une dimension sociale bien affirmée.

Dans le tableau 5, on voit que les élèves des classes 9VSBsocio se distinguent par leur relativement forte adhésion à cet aspect social de la science puisque plus de quatre élèves sur dix en font état. Chez les élèves de la 9VSO-A, deux élèves sur dix expriment aussi une vision sociale de la science.



Tableau 5 : Vision « sociale » de la science

Répartition	Exemples de textes produits par les élèves
9VSO-A : 20 % 11/56 élèves 9VSB-A : 5 % 3/58 élèves 9VSBsocio : 43 % 26/60 élèves	<ul style="list-style-type: none"> Scientifique : Ça veut dire que plusieurs scientifiques ont travaillé sur le sujet et ont peut-être voté (VSO). Si des scientifiques ne sont pas d'accord entre eux, ce qu'il se passe, c'est que les scientifiques demandent l'avis des autres (VSO). Prouvé scientifiquement : Que plusieurs scientifiques ont témoigné que le sujet est juste et prouvé pourquoi avec des explications (VSO). Prouvé scientifiquement : Qui a été évalué par plusieurs scientifiques, normalement les plus doués du monde (VSO). Prouvé scientifiquement : Cela veut dire que plusieurs scientifiques se sont mis d'accord sur une loi ou une autre chose. Ils ont fait des recherches qui ont prouvé que leur loi était la bonne (VSO). Prouvé scientifiquement : Que l'expérience faite plusieurs fois en présence de scientifiques a été positive (VSB). Quand une loi est scientifique, n'importe quoi est scientifique, c'est qu'elle découle de la communauté des scientifiques, de la science (VSBsocio). Scientifique : Qui ait un rapport avec les sciences, que l'expérience ait été prouvée, qu'elle soit reconnue aux yeux de tout le monde (VSBsocio). Scientifique : Ce sont les scientifiques qui établissent cela. Quand une majorité de scientifiques est d'accord pour quelque chose, elle [la chose] est acceptée (VSBsocio).

Pour une majorité des élèves, c'est par la collaboration que les scientifiques traitent de leurs désaccords (question ouverte No 3)

Ce sont exclusivement les réponses à la troisième question ouverte de notre questionnaire qui sont prises en compte ici. Cette question était « que se passe-t-il lorsque deux scientifiques ne sont pas d'accord entre eux ? »

Nous avons dégagé sept types de réponses que nous présentons dans le tableau 6.

La dimension sociale de la science, exprimée par un certain nombre d'élèves de 9VSO-A est ici renforcée puisque plus d'un sur deux pense qu'un désaccord se traite au travers d'une collaboration. Cette image des scientifiques collaborant entre eux est tout aussi présente chez les élèves de 9VSB-A. Par contre, seul un élève sur dix de 9VSBsocio partage cet avis. Les élèves de 9VSBsocio sont aussi ceux qui, le plus souvent, précisent que le désaccord remet en cause la théorie défendue par l'une des

parties ou remet en cause les expériences dont on tire des résultats contradictoires (en tout, près d'un élève sur deux).

Tableau 6 : Vision « sociale » de la science

	Lorsque deux chercheurs ne sont pas d'accord,...	9VSO-A	9VSB-A	9VSBsocio
1	Ils se séparent	2 %	0 %	3 %
2	Ils collaborent	55 %	57 %	12 %
3	Ils entrent en conflit	4 %	7 %	5 %
4	L'un a tort et l'autre raison	16 %	40 %	10 %
5	Un désaccord peut subsister sans que cela donne tort à l'un des protagonistes (vérité relative)	5 %	10 %	5 %
6	C'est la théorie qui est remise en cause	2 %	5 %	20 %
7	C'est l'expérience qui est remise en cause	11 %	3 %	25 %

Bilan : des profils distincts selon les parcours des élèves

L'analyse statistique des réponses au questionnaire ouvert nous a permis de mettre en évidence des profils distincts des élèves selon qu'ils appartiennent au groupe 9VSO-A, 9VSB-A ou 9VSBsocio.

Globalement, les élèves des classes de 9VSO-A voient la science comme très polarisée sur la pratique, très expérimentale, très peu polarisée sur les théories et peu mathématisée. C'est aussi la vision qui nous semble la plus marquée par le statut de la science dans notre société de consommation.

Les élèves de 9VSB-A ont une vision plutôt austère d'une science qui rationalise, formalise et mathématise le monde en laissant peu de place aux divergences.

Les élèves de 9VSBsocio, quant à eux, nous donnent très peu de réponses non informatives. Ils utilisent volontiers le verbe « chercher » ou « rechercher » pour qualifier la science. Ce sont aussi les élèves qui évoquent la plus souvent la dualité entre la théorie et l'expérience.

QCM

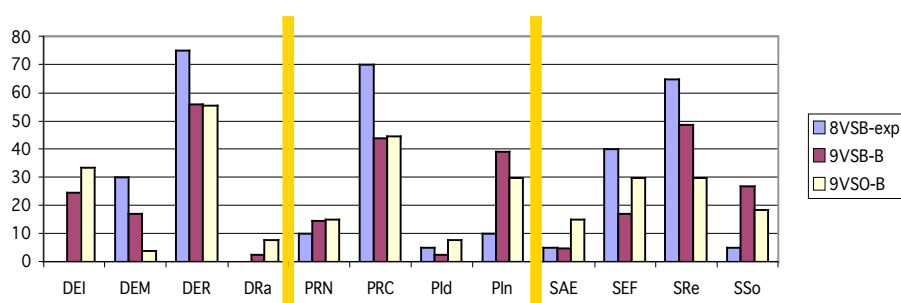
Le graphique 1 donne les profils comparés de trois groupes d'élèves : notre classe expérimentale 8VSB-exp (20 élèves), deux classes 9VSB-B (41 élèves) et deux classes 9VSO-B (26 élèves).

En ordonnée, le pourcentage des élèves qui entrent dans chacune de nos catégories (voir plus haut, p. 312).



Profils comparés 8VSB-exp 9VSB-B et 9VSO-B

1er choix de réponses



Graphique 1 : Réponses au QCM de la classe 8VSB-exp et de deux groupes d'élèves de l'établissement B

Pour dresser le graphique 1, nous n'avons utilisé que les questions 1, 2 et 3 du QCM et n'avons pris en compte que les premiers choix de réponses des élèves. La classe 8VSB-exp a également répondu aux questions 4, 5 et 6. Dans ce cas, les profils établis sur les six questions sont très proches de ceux qui sont présentés ici.

Les différences entre les classes 9VSO-B et 9VSB-B sont peu marquées.

Par contre, on remarque que les élèves de notre classe expérimentale se particularisent notamment par les réponses données aux questions relatives à l'axe de la démarche scientifique. Ils se distinguent par une plus claire adhésion à la position « empirique renversée » (DER) et par l'absence d'adhésion à l'« empirisme inductif » (DEI). Une analyse statistique² sur les fréquences des réponses en premier choix confirme cette impression. Dans une moindre mesure, les élèves de la 8VSB-exp se distinguent par une plus forte adhésion au « réalisme critique » (axe de la nature philosophique de la science) et à une plus forte adhésion au « relativisme » et à l'« empirisme faillible » (axe de la nature sociale de la science).

Même s'ils ont une conception empiriste et positiviste, les élèves interrogés se distancient des points de vue inductif et naturel

Si l'on tente une synthèse des observations réalisées au moyen de notre QCM, nous retrouvons bien chez nos élèves un point de vue à la fois empiriste et positiviste quand ils adhèrent à ce que nous avons appelé un empirisme modéré (DEM). Pourtant nos élèves, dans leur majorité, n'adhèrent pas à un point de vue empirique inductif (DEI) ni à une forme de réalisme naturel (PRN). Et leur point de vue empirique renversé (DER), dans lequel des hypothèses précèdent les démarches expérimentales, est à souligner. L'adhésion de beaucoup d'élèves à une vision réaliste critique (PRC) ainsi qu'à une forme de relativisme (SRe) rejoint la deuxième

2. Selon le critère du χ^2

me face des conceptions identifiées par les auteurs que nous avons cités, à savoir des idées telles que la véridicité relative et contextuelle des connaissances scientifiques et leur subjectivité. Mais l'idée que les théories scientifiques ne sont qu'une façon d'interpréter la réalité et donc peuvent être ébranlées à tout moment ne semble partagée que par une minorité de nos élèves, ceux qui adoptent des points de vue socioconstructiviste (SSo), voire instrumentaliste (PIn).

Nous n'avons fait ici que dégager des tendances générales. Quand on regarde de plus près les réponses des élèves, on constate que très peu d'entre eux présentent des profils identiques. De plus, un traitement statistique nous a montré qu'il n'y a pas de corrélation entre les réponses données sur nos trois axes (démarche, nature philosophique et nature sociale de la science). Cela montre que nos questions ont une certaine pertinence les unes par rapport aux autres mais cela nous empêche de définir des profils types.

Impacts de l'expérience vécue sur les élèves de la classe expérimentale

Ce que les élèves tirent du défi à propos de la sensibilité au goût sucré

Le défi à propos du goût sucré et le contrat didactique dans lequel nous avons inscrit ce défi ont poussé les élèves à développer certaines stratégies et certains comportements.

En cours de travail, nos élèves ont dû rédiger un document commun de synthèse résumant ce qu'ils ont appris, sur le plan de la démarche, en s'affrontant au défi. Conformément à notre choix méthodologique, nous ne sommes pas intervenus dans cette rédaction. Voici la teneur du texte produit par la classe :

1. Attention à l'interprétation des résultats d'une expérience

Une majorité peut cacher une minorité !

Dans l'expérience consistant à identifier le contenu de trois récipients, si le contenu de chaque récipient a été identifié par une majorité des personnes du groupe, ce n'est cependant qu'une minorité qui a identifié le contenu des trois récipients !

2. Il faut faire des tests en ne sachant pas...

Dans trois groupes de travail sur les quatre, on a soulevé le risque, au moment où l'on goûte, d'être influencé par le fait qu'on sait s'il y a ou non du sucre dans l'eau. On a donc proposé que l'on ne sache pas s'il y a du sucre ou non au moment où l'on goûte.



3. Il faut éviter les influences mutuelles au moment de l'interprétation d'une expérience

Cette idée est apparue dans un groupe lorsqu'une élève a demandé aux goûteurs de son groupe de ne pas dire ce qu'ils pensent avant que chacun ait goûté et se soit fait sa propre opinion.

4. Il faut travailler par comparaison

Cette idée est apparue dans un groupe lorsqu'il a testé la sensibilité d'un élève réputé bon goûteur en lui présentant de l'eau pure et de l'eau à 0.05 % de sucre. Elle est apparue dans un autre groupe où l'on goûtait parfois deux solutions différentes, l'une juste après l'autre. Elle apparaît dans un troisième groupe qui propose de préparer à la fois des récipients d'eau pure et des récipients d'eau sucrée.

5. Il y a des précautions à prendre au laboratoire

- nettoyer le récipient avant d'y mettre une nouvelle solution,
- ne pas utiliser une même pipette de dégustation pour deux liquides différents,
- être deux à préparer les solutions pour diminuer le risque d'erreur sur la concentration (l'un fait les pesées et l'autre contrôle par exemple),
- goûter deux ou trois fois pour se faire une opinion.

Les communications que nous avons rédigées à l'intention de nos camarades ne parlaient pas des discussions et des erreurs que nous avons faites puis corrigées dans nos groupes

On l'a observé en comparant ce qui s'est passé réellement [grâce à des enregistrements vidéo], aux comptes-rendus rédigés dans le but de communiquer aux autres sa méthode.

On constate que les élèves ont spontanément mis en place des éléments significatifs d'une démarche scientifique. Ils ont notamment dégagé des principes méthodologiques et « inventé » les tests à l'aveugle. Notons qu'ils ne sont pas allés jusqu'à ressentir le besoin de travailler en double aveugle. Ils ont aussi fait des observations pertinentes à propos de la nature des « communications scientifiques ».

Après le bouclage de la partie expérimentale dans la recherche sur le goût sucré, nous avons demandé aux élèves ce qu'ils pensaient avoir appris par ce travail. Ils ont répondu individuellement.

Le tableau 7 présente quelques-unes des réponses des élèves. Nous avons envisagé leurs réponses selon deux aspects : apprentissages de nature méthodologique et apprentissages de nature épistémologique.

De telles réponses montrent l'impact d'une expérience dans laquelle les élèves étaient largement autonomes et responsables.

Tableau 7 : Ce que pensent les élèves de leurs apprentissages

Ce que j'ai appris par la recherche sur la sensibilité au goût sucré...	
Apprentissages de nature méthodologique	Apprentissages de nature épistémologique
<ul style="list-style-type: none">• que même en prenant toutes les précautions possibles, il y a toujours des résultats alternatifs et même parfois faussés• qu'il faut être plusieurs pour faire une expérience afin de pouvoir comparer• qu'il faut beaucoup travailler pour obtenir des résultats• qu'il faut être très précis car les recherches scientifiques sont très difficiles• que les résultats sont toujours avec un minimum de marge d'erreurs• que les expériences ne sont pas toujours très vite faites	<ul style="list-style-type: none">• qu'il faut d'abord faire des hypothèses avant de commencer l'expérience• à élaborer des hypothèses par rapport à un problème posé• la difficulté de trouver une démarche correcte et l'importance de cette démarche• qu'il n'est pas toujours facile de se mettre d'accord. Et qu'il faut faire une grande quantité de recherche pour pouvoir prouver quelque chose• qu'il faut faire des expériences pour trouver les résultats, mais aussi des constatations en classe. Il n'y a pas que les expériences qu'il faut croire• les rapports des expériences, les démarches, le fait de communiquer les résultats à une assemblée
<ul style="list-style-type: none">• que les erreurs arrivaient très facilement et qu'une toute petite pouvait avoir de grandes conséquences, que malgré que c'est une expérience « scientifique », les résultats sont souvent au « bol »	

Evolution des réponses au questionnaire ouvert

Le questionnaire et la grille d'analyse présentés ici sont les mêmes que ceux qui nous ont permis de comparer les réponses données par les élèves des trois groupes 9VSO-A, 9VSB-A et VSBsocio (section 5.1).

Vu le faible effectif de notre échantillon (20 élèves au total), nous avons ici des nombres absolus de réponses (et non pas des pourcentages comme dans la section 5.1).

Les réponses notées sur la ligne « Avant » du tableau 8 sont celles qui nous ont été données en mars 2004, avant que soit conduit le travail expérimental avec cette classe. Les réponses notées sur la ligne « Après » du tableau sont celles qui nous ont été données en juin 2004 puis en novembre 2004, après ce travail. L'interrogation des élèves en novembre 2004, soit environ six mois après qu'ils ont vécu les situations de recherche sur le goût, nous a permis de constater une grande stabilité des réponses. Celles de novembre confirment et parfois précisent celles qui nous ont été données en juin.

De 14 élèves qui expriment une vision naïve de la science, on passe à 6. De 10 élèves qui évoquent l'idée d'une dialectique entre théorie et expérience, on passe à 20 (la totalité de la classe).



Tableau 8 : Comparaison des réponses au questionnaire ouvert, avant et après la séquence expérimentale d'enseignement

Classe expéri- mentale	Non réponse	Réponse tautolo- gique.	Vision naïve de la science			Science = rationali- sation	Science = théorie, lois, formules	Science = dialectique théorie expérience	Science = équipes, commu- nauté
			Science = tests	Science = calculs, chiffres	Science = recherche, curiosité				
Avant	3	2	2	1	11	3	1	10	5
Après	0	0	1	0	5	1	0	20	9

Evolution des réponses au QCM et questionnaire « après coup »

Réponses au QCM

Nous prenons en compte les réponses aux données aux six questions de notre QCM « trois axes » et le degré d'adhésion à chacune des catégories définies par ce questionnaire (DEI, DEM, etc.). En comparant les réponses données par les 20 élèves de la classe à ce QCM avant et après notre séquence d'enseignement (prétest et post-test), nous constatons beaucoup de déplacements des réponses mais à première vue pas de déplacements cohérents des conceptions exprimées.

Le questionnaire « après coup » éclaire l'évolution des réponses au QCM

Dans ce questionnaire, chaque élève devait dire si le problème du goût sucré l'avait conduit dans une vraie recherche scientifique et quelles conditions doivent être réunies pour que des élèves, fassent une vraie recherche scientifique dans le cadre d'un cours de sciences.

Ces deux questions partagent la classe : sept élèves pensent avoir vécu une authentique recherche scientifique, tandis que onze ne le pensent pas. Les deux autres n'arrivent pas se déterminer. Pour les élèves du premier camp, une recherche scientifique est une démarche particulière, bien identifiée, dans laquelle ils se sont engagés. L'authenticité de cette démarche n'exige pas que la recherche débouche sur un résultat que l'on puisse garantir. Pour les élèves du deuxième camp, l'activité conduite en classe n'était pas une vraie recherche car elle manquait de rigueur mais aussi parce qu'une vraie recherche ne peut être conduite que par des scientifiques reconnus ! On retrouve ici les perspectives paradoxales décrites par Larochelle et Désautels (1992), la perspective de la pratique scientifique d'un côté et la perspective psychologique de l'autre. Dans la première perspective, en effet, la science est désincarnée et se ramène à des activités expérimentales, à des techniques. Dans la seconde, elle s'identifie à ses acteurs qui sont des êtres géniaux bien que faillibles.

Nous avons mis en regard le point de vue des élèves sur l'authenticité de leur recherche et l'évolution de leurs réponses au QCM. Pour cela, nous avons défini des critères de « progrès » ou de « régression » dans l'évolution des réponses. En référence à notre cadre théorique, une plus grande

adhésion à l'empirisme inductif (DEI), une augmentation de l'adhésion à un réalisme naturel (PRN) ou à un absolutisme empirique (SAE) sont considérées comme des « régressions ». Par contre, une augmentation de l'adhésion à une forme de rationalisme (DRa) ainsi qu'à une forme d'instrumentalisme (PIIn) ou à une vision socioconstructiviste (SSo) sont considérées comme des « progrès ».

Nous avons pu constater que, selon ce modèle, les plus fortes « progressions » ont été faites par les élèves qui pensent avoir fait de la « vraie » science lors du travail sur la détermination de la sensibilité au goût sucré. Inversement, les élèves qui ont le plus « régressé » sont ceux qui ne pensent pas avoir fait de la « vraie » science lors de ce travail.

Discussion des résultats

A propos de nos hypothèses

Hypothèse No 1 : Ce que les élèves pensent de la science, en fin de scolarité obligatoire, peut dépendre de l'enseignement qui leur a été prodigué et de la posture épistémologique de leur enseignant.

Informations tirées du questionnaire ouvert

Le questionnaire ouvert a révélé des différences significatives de conceptions des élèves de 9VSO-A et de 9VSB-A, les premiers ayant une vision plus « pratique » de la science, les seconds une vision plus « rationaliste » (voir plus haut, p. 321). Nous n'expliquons pas l'origine de ces différences. Par contre, les réponses données par les élèves des classes 9VSBsocio montrent un profil qui tend à valider notre première hypothèse.

Ce profil, pour l'essentiel, peut être décrit en quelques points :

Les élèves des classes 9VSBsocio...

- nous donnent très peu de réponses non informatives;
- quand, ils ont une vision naïve de la science, celle-ci est du type science = recherche (faire de la science, c'est chercher quelque chose, c'est faire des recherches);
- nettement plus souvent que les autres, évoquent une forme de dialectique entre théorie et observation ou entre hypothèse et expérience de validation;
- également nettement plus souvent que les autres, sont conscient d'une dimension sociale de la science.

Un tel profil « colle » bien au type d'enseignement reçu durant deux ans et demi par ces élèves, un enseignement qui tranche avec l'enseignement traditionnel en tentant de respecter une approche inspirée par le modèle DiPHTeRIC, misant sur les interactions sociales et l'autonomie des élèves et donnant à ceux-ci des projets concrets (voir plus haut, pp. 308 et 310-311).



Ces observations nous laissent penser que notre première hypothèse se vérifie.

Un autre argument nous conduit à la même conclusion : en comparant les réponses des 20 élèves de la classe 8VSB-exp, avant et après l'expérience pédagogique que nous leur avons fait vivre (voir plus haut, pp. 325-326), on constate qu'une vision naïve de la science, exprimée sous une forme ou une autre par plus de la moitié des élèves s'efface au profit d'une conception qui fait intervenir la dualité entre théorie et observation ou entre hypothèse et expérience (tous les élèves). La dimension sociale de la science prend aussi de l'importance pour quatre élèves.

Informations tirées du QCM

Le QCM nous a permis de mettre en regard les conceptions des élèves de la classe 8VSB-exp (avant l'expérience pédagogique) avec celles des élèves des deux classes de 9VSB et des deux classes de 9VSO-B. La comparaison des réponses de ces trois groupes d'élèves révèle un profil épistémologique des 8VSB-exp qui donne plus d'importance que celui des classes de comparaison à la position première des hypothèses dans la démarche scientifique, plus critique et moins instrumentaliste quant au statut du savoir (voir plus haut, p. 321-323).

Comme la classe 8VSBexp a bénéficié du même enseignement que les classes 9VSBsocio durant environ un an et demi tandis que les classes de comparaison ont eu un enseignement traditionnel, on peut également voir ici un indice qui confirme notre hypothèse.

Par contre l'évolution des réponses données au QCM par les élèves de notre classe expérimentale sous l'effet de notre séquence d'enseignement est quelque peu déconcertante. Les élèves ont beaucoup bougé dans leurs réponses mais dans des sens contradictoires, ce qui va à l'encontre de notre hypothèse. Mais un fait particulier s'est révélé. Notre classe s'est divisée en deux camps à peu près égaux : le camp des élèves qui croient que la démarche scientifique est une attitude qui leur est accessible et le camp des élèves qui considèrent que la démarche scientifique ne peut appartenir qu'à des initiés (personnes reconnues comme scientifiques par la société). Si les premiers ont progressé dans leurs conceptions, les seconds semblent avoir régressé.

Bilan

L'ensemble de ces résultats montre une évolution des conceptions des élèves sous les effets de l'enseignement prodigué. De plus, cette évolution se fait dans le sens que nous imaginions puisque les conceptions des élèves se rapprochent des conceptions qui sous-tendent la pédagogie mise en œuvre.

Hypothèse No 2 : Des jeunes adolescents, placés dans des conditions idoines, sont capables de concevoir et mettre en œuvre un certain nombre d'éléments d'une démarche de caractère scientifique.

C'est au travers de la séquence d'enseignement conduite avec notre classe expérimentale que nous avons testé cette hypothèse. Le problème de la détermination de la sensibilité au goût sucré a révélé l'aptitude de ces élèves à construire une démarche cohérente intégrant des éléments essentiels d'une approche hypothéticodéductive et tout en se prémunissant contre un certain nombre d'artefacts pouvant remettre en cause les résultats expérimentaux. D'autre part, les élèves ont eux-mêmes formulé ce qu'ils ont appris au travers de cette expérience. Leurs textes font état d'apprentissages de nature méthodologique et d'apprentissages de nature épistémologique. Rappelons ici qu'ils ont géré eux-mêmes leurs démarches et que nous ne leur avons apporté que des aides logistiques.

Nous avons ainsi montré, qu'un dispositif didactique particulier peut permettre à des élèves de 14-15 ans d'élaborer une démarche de recherche pertinente.

Conclusion

Notre recherche tend à étayer l'idée que des écoliers du secondaire, âgés de 14 à 16 ans, sont sensibles à la posture épistémologique de leur enseignant. Ils développent des conceptions inspirées par cette posture. Après avoir bénéficié pendant deux ans et demi pour les uns et 1 an et demi pour les autres d'un enseignement que le professeur qualifie lui-même de « socioconstructiviste », ils ont un regard plus « moderne » sur la science que leurs camarades ayant reçu un enseignement que nous avons appelé « traditionnel ».

Placés dans une situation didactique ouverte, responsabilisante et engageant à la réflexion sur leurs démarches, ces élèves se montrent capables de développer une attitude de recherche pertinente et leur compréhension de ce qu'on appelle « la science » progresse.

Reste à voir comment amener plus d'enseignants en situation de permettre à leurs élèves de mieux comprendre la science et d'accéder à des comportements de recherche.

Conséquences à tirer pour la formation des enseignants

Nombreux sont les chercheurs qui nous le disent : la science est perçue de manière incomplète et contradictoire tant par les enseignants que par les futurs enseignants. Des travaux portant sur des élèves du secondaire 2 montrent qu'il en va de même à ce niveau mais qu'une action éducative est possible qui permet à ces élèves d'accéder à une meilleure compréhension des mécanismes de la science. Nous avons montré qu'il en va déjà de même chez de plus jeunes écoliers. Pourtant, très peu d'enseignants endossent cette responsabilité épistémique. Il y a une sorte de cercle vicieux par lequel les enseignants véhiculent une image de la science assez conforme à celle qu'ils avaient quand ils étaient sur les bancs d'école.



Du coup, c'est la formation des maîtres qui est interpellée, la formation initiale comme la formation continue. Dire que cette formation doit comprendre plus d'histoire des sciences et d'épistémologie est devenu un lieu commun (qui fait partie du paradigme ambiant). Mais à notre avis, notre travail montre que s'il faut travailler les conceptions épistémologiques des enseignants, pour espérer des changements de pratiques, il ne faut pas oublier le processus symétrique : les préparer à faire découvrir à leurs élèves (et à eux-mêmes) ce que signifie « faire de la science » ou « faire de la recherche » pour qu'ils (élèves et enseignants) construisent une vision « réaliste » de la science. Il nous paraît essentiel que la science entre vraiment dans les cours de science, la science qui se fait par les élèves et par l'enseignant, authentiquement. La préparation des enseignants à ces pratiques nous semble devoir se faire dans les modules de formation à la didactique des disciplines scientifiques, tant en formation continue qu'en formation initiale.

Quelques réalisations

A la HEP-BEJUNE, on a placé dans le cursus des étudiants un séminaire commun de didactiques des sciences et des mathématiques dans lequel sont abordées des questions touchant à l'épistémologie.

A la HEP-VD, un cours intitulé « de l'épistémologie à la didactique » vise à susciter une réflexion sur ces questions et à initier des comportements d'enseignants « épistémologiquement responsables ». Dans ce cours, nous donnons « une formation qui mobilise fortement les étudiants. Elle comporte des phases de déstabilisation, de conceptualisation et de recontextualisation. » (Noverraz & Guerreiro (2003), p.2). Par ailleurs, un cours « magie, mystère et science » est proposé dans le cadre de la formation continue.

Dans ces deux institutions, les cours de didactique des disciplines scientifiques incluent des réflexions de nature épistémologique.

Mais est-ce suffisant ?

Une étude mériterait d'être conduite sur les effets de la formation pour voir en quoi cette formation induit des changements de pratiques et quels obstacles s'opposent à ces changements.

D'autre part, on peut se demander pourquoi la formation scientifique académique ne remet que partiellement et occasionnellement en cause l'image de la science chez les étudiants.

Indication concernant la recherche en HEP

La recherche dont nous rendons compte ici a été réalisée par une équipe de trois formateurs dont un formateur de terrain (praticien formateur). Ce dernier s'est engagé fortement en participant à la préparation de la séquence expérimentale d'enseignement et en animant sa classe en

fonction du projet de l'équipe. D'autre part, les formateurs chercheurs appartiennent à deux hautes écoles pédagogiques. Enfin, le mémoire professionnel d'un étudiant a servi de véhicule pour adresser un questionnaire à un grand nombre d'élèves. Voir se constituer de telles équipes nous semble être une richesse propre aux HEP.

Références

- Aubert, A. (2004). Quelles sont les représentations des élèves de 9ème année en sciences expérimentales, comment influencent-elles leur intérêt pour les sciences ? Travail de diplôme de maître spécialiste, Haute école pédagogique de Lausanne.
- Cariou, J.-Y. (2003). La formation de l'esprit scientifique – trois axes théoriques, un outil pratique : DiPHTeRIC, URL : <http://svt.paris.iufm.fr/IMG/pdf/doc-37.pdf>
- Chalmers, A. F. (1987). Qu'est-ce que la science ? Paris : La Découverte.
- Coquidé, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, 26, 109-132. Paris : INRP.
- Fourez, G. (1996). La construction des sciences - Les logiques des inventions scientifiques - Introduction à la philosophie et à l'éthique des sciences. Bruxelles : De Boeck Université
- Fourez, G., Englebert-Lecomte, V., Mathy, P. (1997). Nos savoirs sur nos savoirs - Un lexique d'épistémologie pour l'enseignement. Bruxelles : De Boeck Université.
- Gagnon, M., Hébert, D. (2000). En quête de science. Saint-Laurent : FIDES.
- Giordan, A. (1995). Les nouveaux modèles pour apprendre : dépasser le constructivisme ? In: *Perspectives*. - Paris. - Vol. 25, no 1, p. 109-127.
- Guilbert, L., Mujawamariya, D. (2003), Les représentations de futurs enseignants et enseignantes de sciences à propos des scientifiques et de leurs tâches. In Lafortune, L., Deaudelin, C., Doudin, P.-A., Martin, D. (2003), Conceptions, croyances et représentations en maths, sciences et technos, 200-235. Sainte-Foy : Presses de l'Université du Québec.
- Guilbert, L., Meloche, D. (1993). L'idée de science chez des enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions ? *Didaskalia*, 2, 7-23. Paris : INRP.
- Larochelle, M., Desautels, J. (1992), Autour de l'idée de science - itinéraire cognitifs d'étudiants, Québec : Les presses de l'Université Laval & Bruxelles : De Boeck Université.
- Larochelle, M., Desautels, J. (2003), Descriptions estudiantines de la nature et de la fabrication des savoirs scientifiques. In Lafortune, L., Deaudelin, C., Doudin, P.-A., Martin, D. (2003), Conceptions, croyances et représentations en maths, sciences et technos, Sainte-Foy : Presses de l'Université du Québec.
- Noverraz, J.-C., Guerreiro, J. (2003). C'est quoi la science ? Une approche didactique. Actes JIES XXV, 455-458. A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichwarg Editeurs.
- Porlán Ariza, R., García García, E., Rivero García, A., Martin del Pozo, R. (1998). Quels sont les obstacles à la formation professionnelle des professeurs en rapport avec leurs idées sur la science, l'enseignement et l'apprentissage ? *Aster*, 26, 207-235. Paris : INRP.
- Robardet, G. (1998). La didactique dans la formation des professeurs de sciences physiques face aux représentations sur l'enseignement scientifique, *Aster*, 26, 31-58. Paris : INRP.
- Roletto, E. (1998). La science et les connaissances scientifiques : points de vue des futurs enseignants, *Aster*, 26, 11-30. Paris : INRP.



Annexe 1 : QCM, questions 1, 2 et 3

Nous avons reproduit ci-dessous les questions et les réponses proposées au choix des élèves en complétant l'espace vide à cocher par les codes DEI, DEM, DER, etc.

Les trois premières questions de ce QCM sont les suivantes :

1	Les objectifs de la recherche scientifique peuvent être de développer de nouvelles technologies et de nouveaux produits (par ex. des ordinateurs plus puissants ou des colles plus résistantes) ou de mieux comprendre le monde : arriver à des lois, des formules, des théories.	
Pour faire progresser la science, les scientifiques...	DEI	commencent toujours par faire des observations ou des expériences et trouvent ainsi des choses qu'ils ne pouvaient pas prévoir à l'avance.
	DEM	comparent leurs suppositions (hypotheses) à leurs observations ou à leurs expériences pour savoir si ces suppositions sont justes ou fausses.
	DER	commencent toujours par faire des suppositions (des hypothèses) avant de faire des expériences.
	DRa	croient en leurs lois, formules et théories même si ces dernières semblent contredites par des observations ou des expériences.

2	Les philosophes et les scientifiques discutent parfois pour savoir ce qu'est finalement la réalité. Et toi qu'en penses-tu ?	
Remarque : ce qu'on appelle ici le monde, c'est ce qu'on peut observer, mesurer, étudier dans la Nature, dans l'Univers ou dans un laboratoire.	PRN	Le monde existe en dehors de moi et il est tel que je le perçois par mes sens (vue, ouïe, toucher, odorat, goût).
	PRC	Le monde existe en dehors de moi. Mes sens (vue, ouïe, toucher, odorat, goût) m'en donnent une image correcte bien que forcément approximative.
	PId	Le monde tel que je le perçois n'est qu'une illusion produite par mes sens (vue, ouïe, toucher, odorat, goût). Je ne pourrais jamais savoir ce qu'il est vraiment.
	PIu	Les lois, les formules, les théories scientifiques sont créées par les hommes. Elles permettent de fabriquer des appareils, des machines, des produits etc., mais elles ne disent pas ce qu'est le monde en soi.

3	Dans la science, on distingue la recherche appliquée qui vise à développer de nouvelles technologies ou de nouveaux produits (par ex. des caméscopes miniaturisés ou des insecticides) et la recherche fondamentale qui vise à mieux comprendre le monde (arriver à des lois, des théories).	
En recherche fondamentale, à partir des mêmes données, des mêmes observations, des mêmes expériences, deux équipes de scientifiques...	SAE	vont forcément trouver les mêmes résultats (lois, formules, théories). Il y a une seule vérité et la science permet de la trouver.
	SEF	peuvent trouver des résultats différents. Il y a une seule vérité mais comme elle est difficile à trouver, il se peut que des scientifiques se trompent sur elle..
	SRe	peuvent trouver des résultats différents et accepter ces différences sachant qu'il y a une seule vérité mais que cette vérité peut s'exprimer par des lois, formules ou théories différentes.
	SSo	trouvent naturel d'obtenir des résultats différents sachant que les lois de la nature sont des inventions de l'homme. La vérité n'existe pas en soi. Ce sont les scientifiques qui décident entre eux de ce qui est vrai et de ce qui ne l'est pas.



Annexe 2 : QCM, questions 4, 5 et 6

QCM. Les trois questions supplémentaires renvoyant aux mêmes catégories conceptuelles que les trois premières questions sont les suivantes :

4	Dans la science, on distingue la recherche appliquée qui vise à développer de nouvelles technologies ou de nouveaux produits (par ex. des téléphones portables plus performants ou des médicaments) et la recherche fondamentale qui vise à mieux comprendre le monde (arriver à des lois, des formules, des théories).	
En recherche fondamentale, les scientifiques arrivent à des lois, des formules, des théories...	DEI	en observant bien la nature, en constatant qu'un phénomène se reproduit régulièrement de manière identique ou en faisant des expériences qui donnent de nombreuses fois les mêmes résultats.
	DEM	en observant bien la nature ou en faisant des expériences qui leur permettent de supposer des lois, des formules, des théories qu'ils vérifient ensuite par de nouvelles observations ou de nouvelles expériences.
	DER	en commençant par faire des suppositions (hypothèses) qu'ils vérifient ensuite par des observations ou des expériences de laboratoire.
	DRa	en faisant des raisonnements logiques auxquels ils croient plus qu'à des observations ou des expériences car ils se méfient de leurs sens (vue, ouïe, toucher, odorat, goût) qui peuvent les tromper.

5	En sciences, on parle souvent des lois de la nature (on peut penser par exemple à la loi de la réflexion sur un miroir ou à la loi des leviers). Les lois sont efficaces car elles permettent de développer de nouvelles technologies et de nouveaux produits (par ex. des sondes spatiales ou des OGM)	
À mon avis, on peut dire des lois de la nature...	PRN	qu'elles existent en dehors de l'homme, qu'elles existent de toute façon et qu'elles existeraient même si les hommes n'existaient pas; elles sont vraies dans le sens qu'elles donnent une image vraie du monde (de la Nature, de l'Univers).
	PRC	que même si elles sont efficaces, elles sont forcément simplificatrices (la nature est plus compliquée que ce que disent les lois).
	PId	que même si elles sont efficaces, elles ne nous donnent qu'une illusion de ce qu'est vraiment le monde (la Nature, l'Univers).
	PIn	que même si elles sont efficaces, la question de savoir si elles sont vraiment le reflet du monde (de la Nature, de l'Univers) n'a pas de sens car on n'en saura jamais rien, cela dépasse l'esprit humain.

6	Imagine que tu sois un scientifique qui, avec des collègues scientifiques, se trouve placé devant une sorte d'horloge. Vous voyez des aiguilles tourner sur un cadran mais vous savez qu'il ne sera jamais possible d'ouvrir cette machine pour en voir le mécanisme. Votre problème, c'est de réussir à expliquer le mouvement des aiguilles.	
Pour continuer cette histoire, si j'étais ce scientifique, je dirais que, en observant et étudiant attentivement la machine et le mouvement des aiguilles...	SAE	mes collègues et moi devrions pouvoir découvrir le mécanisme caché de la machine. Il se peut que l'un de nous se trompe mais les autres le corrigeront. C'est comme ça que la science progresse.
	SEF	peuvent trouver des résultats différents. Il y a une seule vérité mais comme elle est difficile à trouver, il se peut que des scientifiques se trompent sur elle.
	SRe	mes collègues et moi devrions chacun pouvoir découvrir un mécanisme. Ces mécanismes seraient peut-être différents mais produiraient le même résultat que le vrai mécanisme. Nous accepterions ainsi plusieurs vérités.
	SSo	mes collègues et moi discuterions sur le mécanisme que nous imaginons chacun et viserions à tomber d'accord sur un mécanisme qui nous semble expliquer ce qu'on voit. Pour la science, la question de savoir quel est le vrai mécanisme n'est pas la bonne.