

DES REPRÉSENTATIONS SUR LES DÉMARCHES D'INVESTIGATION AUX PRATIQUES DE CLASSE : LE CAS D'ENSEIGNANTS DÉBUTANTS EN MATHÉMATIQUES ET EN SCIENCES EXPÉRIMENTALES

Michèle Gandit* – Eric Triquet** – Jean-Claude Guillaud***

Résumé – La recherche s'inscrit dans le cadre du projet européen S-TEAM (Science Teacher Education Advanced Methods) (Grangeat 2011) et porte sur des enseignants débutants, au regard des démarches d'investigation, en mathématiques, sciences de la vie et de la Terre et sciences physiques et chimiques. Le premier volet est consacré à l'évolution des représentations de ces enseignants relativement à l'épistémologie, l'enseignement et l'apprentissage de leur discipline, à la suite d'une formation centrée sur les démarches d'investigation. L'objet du second volet est l'analyse de la mise en œuvre de démarches d'investigation par des enseignants débutants dans leur classe.

Mots-clés : démarches d'investigation, disciplines scientifiques, formation des enseignants, analyse de séances en classe

Abstract – This article presents a research within the european project S-TEAM (Science Teacher Education Advanced Methods) (Grangeat 2011). This project aims study and inquiry-based science education (IBSE) in mathematics, physics and biology. This paper reports on a study about novice teachers during their teacher training. A first part investigates the effects of an IBSE program on teachers' personal meanings about epistemology, science teaching and learning. The second part places the spotlight on inquiry-based teaching implementation in class.

Key-words: inquiry-based science education, scientific disciplines, teacher training, analysis of classroom sessions

Cette étude se situe dans le cadre du projet européen S-TEAM, portant sur les enseignements scientifiques fondés sur l'investigation (ESFI) (Grangeat 2011). Les changements de pratiques, en sciences, suite au rapport Rocard (Rocard et al 2007) et aux injonctions officielles en France (MEN 2008), passent nécessairement par un travail de formation des enseignants. Celui-ci, à notre sens, est indissociable d'une saisie des conceptions des enseignants sur leur discipline, à la fois sur les plans épistémologique et didactique. Notre recherche étudie des échantillons d'enseignants débutants, en mathématiques, en sciences de la vie et de la Terre (SVT) et en sciences physiques et chimiques (SPC), au cours de leur première année de formation professionnelle, celle-ci comportant des modules spécifiques relatifs à la démarche d'investigation (DI), assurés par des enseignants de sciences de l'éducation (Leroy 2011), d'une part, de chacune des trois disciplines scientifiques, d'autre part.

Le premier volet résume la méthodologie et les résultats obtenus concernant l'étude des conceptions évoquée ci-dessus, déjà publiés par ailleurs. Dans le second volet, nous mettons ces résultats en lien avec les analyses de séances filmées, l'une en mathématiques, l'autre en SVT, où les enseignants débutants disent mettre en œuvre une démarche d'investigation (DI).

* Université Joseph Fourier, Grenoble 1, IUFM & Maths à modeler – France – michele.gandit@ujf-grenoble.fr

** Université Joseph Fourier, Grenoble 1, IUFM & S2HEP Université de Lyon – France – eric.triquet@ujf-grenoble.fr

*** Université Joseph Fourier, Grenoble 1, IUFM – France – jean-claude.guillaud@ujf-grenoble.fr

I. REPRESENTATIONS D'ENSEIGNANTS DEBUTANTS SUR LEUR DISCIPLINE

La population étudiée est constituée de 33 enseignants en sciences expérimentales (SVT et SPC) et de 44 enseignants en mathématiques, tous débutants, en formation professionnelle¹ à l'Institut Universitaire de Formation des Maîtres, après leur réussite à un concours d'accès au métier d'enseignant. Pour la saisie des représentations de ces enseignants, relativement à leur discipline – sur l'épistémologie, l'enseignement, l'apprentissage –, notre méthodologie s'appuie sur l'utilisation de questionnaires, de type *Q-sort*, inspirés de Darley (1994) et comportant une soixantaine d'affirmations (ou items). L'un est commun aux sciences expérimentales², l'autre est propre aux mathématiques. Pour chaque item, l'enseignant interrogé doit choisir entre -2 (« pas du tout d'accord »), -1 (« plutôt d'accord »), 0 (« avis partagé »), +1 (« plutôt d'accord ») ou +2 (« tout à fait d'accord »). Si, pour la rédaction des affirmations concernant l'épistémologie, les fortes spécificités disciplinaires nous ont contraints à séparer les mathématiques des sciences expérimentales, cette séparation est gommée dans les items relevant du domaine didactique.

Deux points de vue sont adoptés pour l'analyse des réponses : 1) on considère chacune des affirmations séparément, 2) par regroupements de réponses, on rend compte de représentations plus globales, sur l'épistémologie et la didactique de chaque discipline.

L'analyse séparée par item utilise comme premier indicateur (Darley 1994) la somme algébrique des réponses. Celle-ci est précisée par un deuxième indicateur qui représente cette somme convertie en pourcentage de la somme maximale (respectivement minimale) possible, compte tenu de la taille de l'échantillon (obtenue si chaque personne de l'échantillon attribue +2 (respectivement -2) à l'item, dans le cas où *S* est positive (respectivement négative)). Les fréquences, en pourcentage, des réponses strictement positives ou négatives, achèvent de préciser, pour chaque affirmation, l'adhésion ou le rejet de la part des enseignants.

L'analyse plus globale est fondée sur l'hypothèse que des adhésions et des rejets d'items, lorsqu'ils sont effectués simultanément, témoignent ensemble d'une conception forte. Nous définissons ainsi *a priori* pour chacun des champs disciplinaires, trois couples de conceptions *antagonistes*, l'un sur l'épistémologie, les deux autres sur la didactique.

Par exemple, concernant les mathématiques, le tableau 1 montre la caractérisation utilisée de la conception nommée *Investigation* :

¹ L'étude a été faite en 2009-2010, dernière année, en France, où les professeurs stagiaires des lycées ou collèges bénéficiaient d'une formation en alternance : par semaine, 6 ou 8 heures en classe et deux journées de formation à l'IUFM.

² Nous avons fait le choix de ne pas distinguer les sciences du vivant des sciences physiques, dans la mesure où nous axons notre comparaison avec les mathématiques, sans toutefois nier les spécificités disciplinaires au sein même des sciences expérimentales.

<i>Adhésion aux items suivants</i>	<i>Rejet des items suivants</i>
Un bon enseignement de mathématiques doit commencer par une réflexion autour d'une question problématique pour l'élève. L'enseignement des mathématiques doit faire une place importante au débat entre les élèves, à partir de conjectures à valider ou à réfuter. Un enseignement efficace de mathématiques est construit à partir de problèmes à résoudre. Pratiquer la démarche d'investigation en classe ne fait pas perdre de temps si l'on considère les connaissances diverses qui sont mises en jeu. Un bon enseignement de mathématiques doit favoriser la responsabilité scientifique de l'élève, qui doit pouvoir se prononcer sur le vrai et le faux.	Une bonne méthode à utiliser en séance de T.P. en salle informatique consiste à donner aux élèves une feuille sur laquelle ils trouveront la procédure à suivre, ainsi que les consignes concernant l'utilisation du logiciel. L'enseignement des mathématiques doit être organisé de manière à ce que les connaissances soient introduites logiquement une à une, de la plus simple à la plus complexe. Enseigner les mathématiques par la pratique d'une démarche d'investigation est une pratique pédagogique sans rapport avec l'activité réelle du mathématicien. Un bon enseignement de mathématiques doit débiter par l'exposé clair de ce que l'élève doit retenir. La pratique par les élèves d'une démarche d'investigation est à réserver à des ateliers, mais n'a pas sa place dans le cours « normal ».

Tableau 1 – La conception « Investigation » en mathématiques

Cette conception, définie aussi en sciences expérimentales³, traduit ainsi l'idée que la DI est un processus d'enseignement reposant sur une problématique, proposée au départ, au sujet de laquelle les élèves sont amenés à émettre des *conjectures* ou *hypothèses*⁴, qu'ils doivent ensuite tenter de valider, une large part de responsabilité scientifique leur étant dévolue.

Par rapport à chacune de ces conceptions, nous évaluons (Triquet et al. à par.) comment se situe chaque enseignant, en début et en fin de formation. Nous déterminons pour cela, dans chaque réponse, le nombre de *contradictions* (les items rejetés, bien que favorables à la conception, ou bien acceptés, bien que contradictoires avec celle-ci), mais aussi le nombre d'*adhésions* (les items acceptés dans la conception), enfin le nombre de *non prises de position* (les réponses 0 ou les absences de réponse). Nous considérons ainsi qu'à partir de sept contradictions en mathématiques (sur 12 items) et six (sur 10 items) en sciences expérimentales, la conception est rejetée.

Après cette introduction liée à notre méthodologie, nous donnons les résultats obtenus en séparant les domaines épistémologique et didactique.

1. Domaine épistémologique

L'épistémologie des deux champs disciplinaires apparaît marquée à la fois par des points communs et des différences. En effet, si les mathématiques intègrent une dimension expérimentale, celle-ci n'apparaît pas de même nature et ne semble pas occuper la même place qu'en sciences expérimentales. L'expérience, de type papier-crayon, s'appuyant ou non sur du matériel, ou à l'aide d'un logiciel, menée sur un domaine déjà mathématisé, afin de provoquer l'émergence d'une conjecture, ne saurait être assimilée à l'expérience en sciences expérimentales, fondée sur une instrumentation ou une technologie, et surtout développée dans le but de mettre à l'épreuve une hypothèse. Or en mathématiques, la validation repose sur la preuve (ou démonstration), essentiellement de nature déductive, l'induction tenant par

³ mais avec des *rejets* / *adhésions* un peu différents

⁴ suivant les disciplines

ailleurs un rôle important dans le processus de découverte (Giroud 2011, pp. 65-66), alors qu'en sciences expérimentales elle est limitée à des temps de tâtonnement.

Concernant les sciences expérimentales, on dégage deux grandes approches : la première, centrée sur *les démarches inductives*, la seconde sur *les démarches déductives* (Triquet et al. à par.).

Dans le cadre *inductiviste*, l'observation est première et le réel est *source du savoir*. L'approche consiste à observer le réel pour en tirer – par induction – les lois qui le régissent. Outre qu'elle sous-entend que ces lois existent *a priori*, cette démarche implique la répétition d'un nombre sans fin d'observations. Le problème scientifique est ainsi subordonné à l'observation, laquelle est déterminée par une sorte de curiosité *naturelle* du chercheur. Si historiquement une telle approche a trouvé un certain nombre de partisans, plusieurs épistémologues (Khun 1970, Popper 1985)⁵ lui dénie toute valeur opératoire comme démarche de construction du savoir scientifique. Popper dénonce l'absence de tout fondement au principe d'une inférence basée sur la multiplicité des observations.

Concernant les *démarches déductives*, ce sont les données théoriques qui sont premières et le réel est objet de confrontation avec le savoir, et non pas source directe du savoir. Les lois ne renvoient plus à des entités à découvrir, mais bien à des constructions humaines, imparfaites et nécessairement teintées d'une certaine subjectivité. Mais le point majeur est l'*hypothèse*. Celle-ci est le fruit d'un travail de la pensée sur les faits et les idées déjà en place, qui gouverne toute la conduite du scientifique. Claude Bernard (1865) affirme que la méthode expérimentale, en tant que méthode scientifique, repose tout entière sur la vérification expérimentale d'une hypothèse scientifique. Popper (1985) promeut, comme critère de scientificité de tout énoncé scientifique, celui de sa réfutabilité : un énoncé universel ne pourra jamais être vérifiable empiriquement devant l'impossibilité de tester tous les cas. Khun (1970) et Popper ajoutent un critère d'ordre social, celui de l'intersubjectivité, entendu comme fruit de la confrontation entre points de vue, arguments de plusieurs chercheurs. La notion de débat public au sein même de la communauté scientifique est ainsi introduite comme condition du fonctionnement de la production scientifique.

En mathématiques, nous n'opposons pas démarche inductive et démarche déductive en ce sens que *induction* et *déduction* interfèrent dans la pratique mathématicienne (Grenier et Payan 1998). Face à une situation, mathématique ou mathématisable, une méthode d'investigation systématique consiste en une succession d'étapes, éventuellement répétées :

[...] expérience, observation de l'expérience, formulation de conjectures, tentative de preuve, contre expérience, production éventuelle de contre-exemples, formulation de nouvelles conjectures, nouvelles tentatives de preuve... (Perrin 2007, p. 10)

Henri Poincaré (1908) met en avant que la résolution d'un problème passe par trois phases incontournables : la *maturation*, phase de travail sur le problème, puis la *découverte*, résultat d'une inspiration ou d'une intuition, enfin la *vérification* par l'élaboration d'une démonstration. Où se situe l'expérimentation ? Son importance est une question largement débattue en mathématiques, en épistémologie ou didactique des mathématiques (Bachelard 1938 ; Dieudonné 1968 ; Dias 2009 ; Giroud 2011), mais qui ne fait pas consensus (Joshua et al 1987). Andler (2005) lui accorde une part de 90% de l'activité du mathématicien, le reste revenant à la démonstration. Giroud (Op. cité, pp. 7-19) la définit par une suite d'actions, non nécessairement ordonnée, en situation de résolution d'un problème, dans laquelle il distingue trois types : « Proposer de nouveaux problèmes », « Expérimenter-observer-valider »,

⁵ mais aussi Bachelard (1938), Chalmers (1988)

« Tenter de prouver ». Enfin même s'il s'agit d'expérience, celle-ci peut rester complètement dans le domaine théorique ou bien recourir à l'utilisation de matériel (technologique ou autre). Dans tous les cas, il s'agit d'aboutir à la formulation de conjectures, qui, même si elles se révèlent fausses, permettent d'avancer sur le problème⁶.

Notre méthodologie, en sciences expérimentales, reprend les deux conceptions contradictoires définies par Chalmers (1988) au regard du statut accordé à l'observation d'une part, à la théorie d'autre part. Pour l'une, l'*Observation prime (OP)*, les théories résultent de l'observation et/ou de l'expérience première. Pour l'autre, la *Théorie prime (TP)*, l'expérience s'appuie nécessairement sur des éléments théoriques disponibles. Ainsi la résolution d'un nouveau problème s'inscrit dès le départ dans le cadre de savoirs déjà en place : ils permettent la formulation des hypothèses, lesquelles seront soumises à l'expérience. Dans l'échantillon observé, la fréquence de la conception *OP* évolue, entre octobre et mai de 34% à 21% ; elle est rejetée de façon constante par 9% des enseignants. La conception *TP* reçoit aussi un pourcentage d'avis favorables stagnant aussi à 9%, mais elle est rejetée par 34% des enseignants en début et par seulement 21% en fin de formation. On pourrait conclure à la persistance d'un *inductivisme naïf* (Robardet 1995) généralisé, probablement hérité, pour chacun, d'un vécu d'élève, puis d'étudiant confronté à des travaux pratiques coupés des enseignements théoriques, pour lesquels l'expérience tient une place première. Cependant, force est de constater que la formation professionnelle⁷ proposée lors de l'année de stage produit peu d'effet. Deux points sont ici à prendre en considération : la faiblesse des apports épistémologiques, la concurrence avec des pratiques d'enseignement, au sein même des établissements, qui demeurent largement *inductivistes*. Enfin, l'absence d'une expérience de recherche, chez la plupart des futurs enseignants, pèse inévitablement dès lors qu'il s'agit d'avoir une opinion sur les modes d'élaboration des savoirs scientifiques.

En mathématiques, notre méthodologie oppose deux conceptions en référence à la dimension expérimentale. L'une, *TH* (Théorie), signifie qu'une démarche expérimentale n'a pas sa place en mathématiques, comme l'ont pensé, jusqu'à la fin des années quatre-vingts, la majorité des enseignants, qui ne voyaient leur discipline que comme l'art de démontrer formellement des résultats, à partir de propriétés bien établies (Dossier INRP 2007). L'autre, *EXP*, traduit l'intégration dans l'enseignement des mathématiques d'une forte dimension expérimentale, l'activité de preuve formelle n'étant pas essentielle pour le mathématicien. La puissance de calcul des ordinateurs permet d'aller plus loin dans l'expérimentation en mathématiques (Delahaye 2005, Kahane 2002). Dans l'échantillon observé, la conception *EXP* se révèle majoritairement en début (65%) et en fin (68%) de formation, rejetée par aucun enseignant en début et un seul en fin de formation. La conception *TH* n'est identifiée chez aucun stagiaire fin octobre, un seul en mai, elle est rejetée par une forte majorité en début et en fin de formation. Il apparaît ainsi que l'aspect expérimental soit nettement reconnu par les enseignants, dès le début de la formation⁸ et sans évolution au cours de celle-ci.

⁶ Citons sur ce point un autre mathématicien contemporain, Grothendieck (cité par Perrin 2008, p. 11) : « Quand je suis curieux d'une chose, mathématique ou autre, je l'interroge [...] sans me soucier si ma question est peut-être stupide [...]. Souvent la question prend la forme d'une affirmation, [...] un coup de sonde. [...] Souvent, surtout au début d'une recherche, l'affirmation est carrément fausse — encore fallait-il l'écrire pour que ça saute aux yeux que c'est faux, alors qu'avant de l'écrire il y avait un flou, comme un malaise, [...]. Ça permet maintenant de revenir à la charge avec cette ignorance en moins, avec une question-affirmation peut-être un peu moins à côté de la plaque ».

⁷ théorique à l'IUFM, pratique au sein des établissements scolaires

⁸ Ceci est largement confirmé par les premiers résultats de l'étude d'un nouvel échantillon de 34 étudiants en première année de master « Enseignement du second degré en mathématiques », l'adhésion à la conception *EXP* forte se chiffrant à 68 %.

La comparaison des résultats entre les deux champs disciplinaires, par rapport à l'épistémologie, révèle ainsi des différences. En sciences expérimentales, la prédominance de la conception *OP* constitue *a priori* un obstacle à la mise en œuvre en classe des DI, alors que, sur ce point, en mathématiques, le contexte épistémologique est plus favorable.

2. *Domaine didactique*

Concernant nos cadres de référence, relatifs à la didactique de nos disciplines, nous renvoyons à Gandit et al. (2011), Triquet et Guillaud (2011), ainsi qu'à Triquet et al (à par.).

Pour les mathématiques, nous reprenons l'hypothèse de Giroud (2011) :

La démarche expérimentale en mathématiques est un savoir-faire qui ne peut s'apprendre qu'à travers sa pratique en situation de résolution de problème. (Op. cité, p. 2)

Et nous distinguons cette démarche expérimentale de la DI en ce sens que cette dernière (MEN 2008), incluant l'acquisition, la structuration et la mobilisation des connaissances acquises, est un processus de nature essentiellement didactique (Op. cité, pp. 17-18).

La comparaison de la mise en œuvre effective des DI dans l'enseignement tend à rapprocher les deux champs disciplinaires. Les pratiques ne sont guère favorables à l'investigation expérimentale, celle-ci se trouvant réduite à une succession d'étapes mises en œuvre de façon quasi-mécanique sous l'autorité de l'enseignant, notamment en sciences expérimentales (Mathé et al. 2008). Des effets de contrats didactiques sont perceptibles, les enjeux de réussite de l'activité l'emportant sur ceux de savoirs à construire et de compétences à développer, liées à la démarche scientifique.

Dans notre étude, pour les enseignants de sciences expérimentales, c'est la conception *Inv* qui l'emporte (56% en octobre ; 58% en mai), alors que son opposée n'apparaît jamais présente. Nous centrons l'analyse de ces résultats sur trois aspects caractéristiques des DI : la place du problème et de l'expérience, la mise en place d'un débat et la prise en compte des conceptions des élèves. Le premier point présente une forte assise épistémologique nous permettant d'apprécier la cohérence des réponses d'un domaine à l'autre. De façon paradoxale, on note que les items proposant de placer la théorie et/ou le problème avant l'expérience sont plébiscités, en accord avec les discours institutionnel et pédagogique sur les DI. Ce résultat peut apparaître contradictoire puisque ce qui est considéré comme vrai par les enseignants stagiaires pour la recherche scientifique, à savoir que l'observation est première, est remis en cause au niveau de l'enseignement. Il y aurait donc, chez ces débutants, deux conceptions distinctes des modes de production des savoirs. Outre les items déjà cités, ceux qui recueillent le plus d'adhésions concernent la prise en compte précoce des conceptions, l'articulation de la démarche autour d'un problème et enfin la place importante accordée au débat entre élèves. Nul doute que les enseignants en formation ont reconnu là des mots-clés du discours pédagogique ambiant. Rien ne permet d'affirmer avec certitude qu'ils se les sont appropriés avec le sens qui leur est affecté, ni même qu'ils aient une réalité au niveau de leurs pratiques d'enseignement. Il convient donc d'être prudent dans notre caractérisation, dans la mesure où parallèlement on constate qu'ils sont une minorité à rejeter l'item suivant :

L'enseignement des sciences doit être organisé de manière à ce que les connaissances soient introduites logiquement une à une de la plus simple à la plus complexe.

Cette orientation entre en contradiction avec l'esprit même des DI, fondées sur la prise en charge de questions résistantes et le dépassement d'obstacles associés à une situation

complexe⁹. De façon cohérente, on note que l'idée d'une exploration ouverte, non complètement guidée, a également des difficultés à s'imposer (item B4¹⁰). Du point de vue de la formation, il semble donc important de faire vivre aux enseignants débutants de véritables situations-problèmes au travers desquelles les élèves sont amenés à se confronter d'entrée de jeu à la complexité, approche qui, d'une certaine façon, est en rupture avec les pratiques courantes.

Concernant l'enseignement des mathématiques, la conception *Inv* recueille une majorité : 56% des stagiaires lui sont favorables en octobre et 80% en mai, la conception antagoniste étant manifestée par un seul enseignant. Les résultats aux deux items sur la place première du questionnement initial, destiné à problématiser l'enseignement qui va suivre, montrent que les stagiaires sont certes majoritairement favorables, mais il s'agit d'une petite majorité et on note peu d'évolution globale sur les deux affirmations. Nous faisons l'hypothèse que les professeurs stagiaires sont partagés entre les propositions de la formation initiale qui mettent en avant l'importance de cette phase de problématisation, nécessaire à l'apprentissage, et les *habitudes profondes du milieu* (Robert 2005) auxquelles ils sont confrontés dans leur établissement. Pendant longtemps en effet, sous l'influence de mathématiciens renommés, tel Poincaré (1908), l'enseignement des mathématiques s'est refusé à une pratique effective de l'activité mathématique en cours, ignorant toute dialectique entre expérimentation et conceptualisation et niant tout processus de construction des connaissances (Joshua et al 1987). Or cette position didactique est encore très répandue, selon laquelle le professeur est celui qui expose le savoir, répond aux questions des élèves, valide les réponses, renvoie toute difficulté rencontrée dans l'apprentissage, soit vers l'élève, considéré comme incapable, soit vers le professeur, considéré comme un mauvais pédagogue. Nous postulons que c'est sur ce dernier point surtout que se focalisent les enseignants débutants, n'ayant encore qu'une confiance timide dans les résultats apportés sur ce sujet par la didactique, qu'ils découvrent en formation. Par ailleurs, la difficulté à mettre en place cette problématisation, particulièrement en mathématiques, est sans doute aussi à prendre en compte. Au regard des résultats sur l'item, selon lequel les connaissances doivent être introduites de la plus simple à la complexe, l'idée progresse selon laquelle l'enseignement ne s'organise pas du simple vers le complexe : en octobre, une majorité pense le contraire, en mai, les avis se partagent également, il reste cependant 18% d'indécis. Ces précisions par item atténuent le résultat sur la forte progression de la conception *Inv*. Outre le frein des composantes *médiatives* et *sociales* des pratiques (Robert 2008) — la position didactique décrite ci-dessus est fondée sur cette progression linéaire dans la complexité — le *temps didactique* au niveau de la formation, finalement très court entre les deux passations du questionnaire, peut aussi expliquer qu'on n'observe pas de changement plus radical, alors que la formation insiste sur ce point. Enfin sur les deux aspects, conceptions et débat, il apparaît en mathématiques également un positionnement conforme aux exigences de la mise en œuvre d'une DI, même s'il est moins marqué qu'en sciences expérimentales. On fait là encore l'hypothèse que l'idée du débat dans le travail de recherche fait aujourd'hui consensus et que celle de la prise en compte des conceptions initiales a peut-être diffusé davantage dans l'enseignement des sciences expérimentales que dans celui des mathématiques. Mais si cela peut constituer des points d'appui pour la formation aux DI, il resterait à explorer plus finement ce que recouvrent pour les sondés (enseignants débutants) les termes de *débat* et de *conception*.

⁹ Cela peut traduire aussi le fait que les jeunes enseignants ont besoin d'être rassurés par des méthodes d'enseignement où la prise de risque pour eux est plus limitée.

¹⁰ Item B4 : « Une bonne démarche d'investigation doit être conduite suivant les quatre étapes suivantes : mise en route du protocole, observations et/ou mesures, interprétation, conclusion. »

II. ANALYSE DE SEANCES ORDINAIRES QUI RELEVANT DE DEMARCHES D'INVESTIGATION

Dans cette deuxième partie, nous étudions la mise en œuvre d'une DI en classe, par des enseignants débutants, volontaires. Il s'agit de *pratiques ordinaires* au sens où les chercheurs n'interviennent ni dans l'élaboration, ni dans la réalisation des séances. Deux enseignants stagiaires en collège¹¹, dans chacune des trois disciplines, ont conçu et réalisé eux-mêmes, en classe, une séance mettant en jeu, selon eux, une DI, à la fin de leur année de formation professionnelle (2009-2010). Nous évoquerons ici seulement une séance en SVT et une séance en mathématiques.

Pour l'explicitation de notre cadre de référence et une étude détaillée des séances, nous renvoyons à Gandit, Triquet et Guillaud (à par.). Nous résumons notre méthodologie en disant que notre travail se situe dans la même ligne que Weiss et Monnier (2011) qui ont élaboré un outil qu'elles nomment *l'échographie d'un extrait de leçon filmée*, différenciant les activités des élèves et de l'enseignant et faisant apparaître le savoir au travers des tâches proposées. Nous affinons cependant cette trame analytique des séances, *reconstruite* après coup, en repérant des *événements*¹², révélateurs de certains phénomènes didactiques. Dans cet article, nous aborderons seulement un point essentiel en didactique, *la dévolution* aux élèves de la problématique de l'enseignant, en évoquant le *questionnement initial*, *la nature du problème* et *la place de l'argumentation*, trois des dimensions du *modèle ESFI*¹³ proposé par Grangeat (2012).

Ce *questionnement initial* de la séance est apporté par les enseignants des trois disciplines, *directement* en mathématiques, par un problème, ou *en lien avec l'expérience des élèves* en sciences expérimentales. S'il reste le même en mathématiques, tout au long de la séance, celui-ci évolue au cours des séances observées en sciences expérimentales.

1. La séance étudiée en SVT

Elle a lieu dans une classe de sixième¹⁴. L'enseignante pose une première question *accrocheuse*, au départ, peu problématique, mais liée au vécu des élèves :

Qu'est-ce que vous avez besoin dans votre organisme pour grandir ?¹⁵

Elle débouche rapidement, par *effet Topaze*, sur une deuxième question, orientée vers la composition des aliments, à partir de laquelle les élèves doivent formuler des hypothèses. Celles-ci doivent porter sur les constituants alimentaires présents dans six aliments, choisis par la professeure elle-même (le pain, le jus de pomme, le beurre, la farine, une pomme, du lait) :

Et vous allez essayer d'imaginer quel est le constituant qui est en plus grande quantité dans chaque élément et on va aller le vérifier après.

Lorsqu'il s'agit de passer à l'étape de la validation par élaboration d'un protocole expérimental, la question se porte alors sur « la manière de prouver l'existence de tel constituant dans chacun des aliments », ce que les élèves doivent aussi apprendre à cette occasion. Les tests expérimentaux effectués par les élèves n'étant pas probants et ces derniers

¹¹ élèves de 11 à 15 ans

¹² Nous définissons un *événement* comme une unité de sens qui débute par une phrase (écrite ou orale) ou un geste d'un ou de plusieurs acteurs de la classe – le professeur ou un ou plusieurs élèves – et se termine de la même façon, dès qu'on considère comme traité l'objet en jeu dans la question ou le geste de départ.

¹³ Enseignement des Sciences Fondé sur les démarches d'Investigation

¹⁴ élèves âgés de onze ans

¹⁵ Nous reprenons la phrase telle qu'elle est prononcée par l'enseignante débutante.

manifestant une certaine résistance à admettre la présence de plusieurs constituants, alors qu'ils n'avaient pas pu la mettre en évidence, c'est l'enseignante qui tranche d'autorité, dans cette phase de bilan. Cependant, ce n'est qu'à la fin de la séance que se dévoile la problématique, à laquelle les élèves n'ont pu avoir accès : *Dans quelle mesure trouvera-t-on des constituants identiques dans l'aliment de base et dans l'aliment issu de sa transformation ?* Ainsi l'institutionnalisation porte sur une question qui n'a jamais été posée. Néanmoins, à chaque étape de la DI correspond un *questionnement-consigne* sans construction de lien avec le précédent. Les élèves, qui ne peuvent comprendre la problématique de l'enseignante, doivent s'accommoder de ces ruptures, à la fois sur les questions posées et sur les tâches associées. Il s'ensuit une absence de dévolution du véritable problème en jeu.

Il semble que cette séance illustre la contradiction notée précédemment entre les conceptions des enseignants sur les plans épistémologique et didactique. En effet, si l'enseignante a intégré le discours institutionnel sur les DI – elle entre par une question et invite ensuite les élèves à formuler des hypothèses – celui-ci semble avoir peu d'assise sur le plan épistémologique puisque l'investigation dans laquelle elle entraîne les élèves, a peu de point commun avec une investigation scientifique véritable, les élèves ne disposant même pas d'un problème comme fil directeur.

Si la problématique de l'enseignante de SVT est de nature notionnelle, figurant explicitement dans un chapitre du programme, celle des deux professeurs de mathématiques semble davantage tournée vers *les savoirs transversaux* liés à la pratique d'une démarche expérimentale en mathématiques tels que *expérimenter, formuler une conjecture, tenter de la prouver*, sans que toutefois cela soit clairement dit. L'un comme l'autre ont la volonté affichée au départ¹⁶ de favoriser l'interaction entre élèves¹⁷ en formant des groupes, chacun d'eux devant produire un transparent.

2. La séance étudiée en mathématiques

Le problème posé, dans la classe d'Antoine, est celui du nombre de diagonales d'un polygone à n côtés. La présence de ce fil directeur dans la séance, ainsi que l'installation des élèves en groupes, avec une consigne de production, pourraient constituer *a priori* des conditions plus favorables à l'investigation des élèves que lors de la séance de SVT. Nous montrons cependant que c'est insuffisant pour assurer la dévolution de la problématique de l'enseignant.

Si le questionnement initial présente un potentiel didactique, le *milieu* didactique n'est en effet pas suffisamment construit¹⁸ pour permettre une dévolution aux élèves de *la démarche expérimentale*. L'observation de la séance montre, par exemple, que le *statut de conjecture* n'existe pas dans la classe. Dans le premier groupe abordé par le professeur, on entend :

Elève : (Pour un carré)... il y en a deux¹⁹, donc à six²⁰, il y en aurait trois.

Professeur : [...] Essayez de faire des essais... Tu as une idée-là, tu dis, pour avoir le nombre de diagonales on divise le nombre de côtés par deux. Donc ça, c'est une idée de départ... Essayez de vérifier si sur les autres cas, ça marche aussi, et vous confirmerez cette idée, au alors vous essayerez de la réfuter et vous en trouverez une autre, d'accord ?

¹⁶ Confirmée par les entretiens effectués avec ces enseignants au sujet de leur séance

¹⁷ Il s'agit d'élèves de classes de quatrième (âgés de 13 ans).

¹⁸ Ceci nécessite un travail en amont de la séance.

¹⁹ deux diagonales

²⁰ un polygone à six côtés

Le professeur utilise, au cours de la séance, diverses expressions pour remplacer le mot de conjecture. Par ailleurs, dès le début, il montre, dans ce premier groupe, comment on peut réfuter une conjecture : il donne lui-même un contre-exemple en évoquant un polygone à cinq côtés, sans toutefois prononcer le mot de contre-exemple. Sans cesse, il incite les élèves à faire des essais, tout en leur demandant de choisir des polygones moins compliqués :

Professeur : [...] Alors là, est-ce que vous pensez que vous utilisez les polygones les plus simples pour répondre à la question ? Donc vous allez trou..., enfin ça va marcher de la même manière..., mais je pense, utilisez peut-être des trucs un peu plus, plus...conventionnels, au départ, pour chercher, c'est plus facile, plutôt que de partir directement dans des choses très compliquées. Après, vous pouvez essayer de trouver la règle avec, on va dire, les polygones classiques, et après vérifier que ça marche avec ceux qui sont un peu plus tordus, mais au départ, pour chercher, je pense que c'est plus simple de partir de [...].

Ainsi les trois savoirs transversaux, 1) *expérimenter sur des cas particuliers bien choisis*, 2) *observer pour voir ce qu'il y a de généralisable derrière le particulier et l'énoncer sous forme d'une conjecture*, 3) *invalidier une conjecture par un contre-exemple*, ne sont pas disponibles chez ces élèves. Le professeur, qui ajoute dans chaque groupe des consignes pour que les élèves fassent fonctionner ces savoirs, ne peut faire partager aux élèves sa problématique de *démarche expérimentale dans la résolution d'un problème*. La dévolution ne se fait pas. La confrontation au groupe-classe aurait pu permettre une amorce de fonctionnement de ces savoirs, sur lesquels l'institutionnalisation aurait dû ensuite être faite.

C'est peut-être aussi cette pauvreté du milieu sur le plan des savoirs relatifs à la démarche hypothético-déductive qui induit que l'enseignante de SVT se raccroche aux différentes étapes d'un canevas de DI, sans se rendre compte qu'elle perd les élèves en changeant sans cesse son questionnement.

III. CONCLUSION

Concernant le premier volet de la recherche, nous avons repéré à la fois des points pouvant faire obstacles dans les conceptions de jeunes enseignants stagiaires et des leviers possibles, concernant la mise en œuvre d'une DI en classe.

Le point faible concerne l'épistémologie pour laquelle les enseignants n'ont bénéficié que de très peu de formation. Sur ce domaine, une distinction est à faire entre mathématiques et sciences expérimentales. Les enseignants spécialisés dans ces dernières apparaissent majoritairement inductivistes, ce qui *a priori* peut paraître contradictoire avec leur positionnement favorable à l'égard des DI. On peut donc penser que cette adhésion est davantage fondée sur une volonté de se conformer à une demande institutionnelle, qu'à des raisons de nature épistémologique et/ou didactique. En mathématiques, les conceptions des stagiaires sur la nature de l'activité mathématique sont globalement plus favorables à la mise en place d'une DI, même s'il ne s'agit que d'une petite majorité. On note ensuite une évolution, au cours de la formation, vers une conception de l'enseignement s'ouvrant positivement à la mise en œuvre en classe d'une telle démarche, au moins dans les intentions déclarées. En formation, un renforcement s'avère ainsi nécessaire sur ces deux plans, conjointement ; il passe, selon nous par une mise en œuvre *en situation* de DI privilégiant une entrée par la complexité²¹ articulée avec une réflexion épistémologique.

Le deuxième volet de cette étude renforce les conclusions précédentes. En mathématiques les enseignants cherchent d'abord à mettre les élèves en situation d'investigation, visant davantage l'acquisition de savoirs transversaux que de savoirs notionnels. C'est l'inverse en

²¹ Le socle commun de connaissances et de compétences pour le collège (2009) insiste sur le travail autour de tâches complexes pour ce qui concerne les compétences d'une « culture scientifique et technologique ».

sciences expérimentales, où la démarche d'enseignement s'inscrit dans un canevas contraignant qui conduit à une réduction du questionnement aux objectifs de chaque phase du canevas. Dans les deux cas, c'est finalement la pauvreté du milieu sur le plan des savoirs caractéristiques de la *démarche expérimentale en mathématiques* ou *hypothético-déductive en sciences*, qui entraîne la non-dévolution aux élèves de la problématique de l'enseignant. L'absence d'une assise épistémologique peut fournir une explication. Nous avançons une autre hypothèse, à savoir que, si ces savoirs transversaux ne peuvent se construire qu'en situation de résolution de problème, mettant en jeu des connaissances déjà acquises, cette construction doit prendre appui sur un milieu comportant quelques clés permettant aux élèves d'accéder à une certaine autonomie scientifique.

REFERENCES

- Andler M. (2005) Transcription de son intervention. In *Actes du Colloque Mathématiques, Sciences expérimentales et d'observation à l'école primaire*, organisé par La Main à la pâte, l'Inspection académique de la Loire et l'École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne dans le cadre du projet européen Scienceduc, Saint-Etienne.
- Bachelard G. (1938) *La formation de l'esprit scientifique*. Rééd. 1983, Paris : Vrin.
- Bernard C. (1865) *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Rééd. 1984. Paris : Flammarion
- Chalmers A. (1988) *Qu'est-ce que la science ?* 1^{ère} éd. 1976. Paris : La Découverte.
- Darley B. (1994) *L'enseignement de la démarche scientifique dans les travaux pratiques de la biologie à l'université ; analyse et propositions*. Thèse de doctorat. Grenoble : Université Joseph Fourier.
- Delahaye J.-P. (2005) Mathématiques expérimentales. *Pour la science* 331, 90-95.
- Dieudonné J. (1968) Que font les mathématiciens ? *L'âge de la science* 2.
- Dias T. (2009) *La dimension expérimentale des mathématiques : un levier pour l'enseignement et l'apprentissage*. Thèse de doctorat. Lyon : Université Claude Bernard.
- Gandit M. (2008) *Etude épistémologique et didactique de la preuve en mathématiques et de son enseignement. Une ingénierie de formation*. Thèse de doctorat. Grenoble : Université Joseph Fourier.
- Gandit M., Giroud N., Godot N. (2011) Les situations de recherche en classe : un modèle pour travailler la démarche scientifique en mathématiques. In Grangeat M. (Ed.) (pp. 35-49) *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique, Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*. Lyon : Ecole Normale Supérieure.
- Gandit M., Triquet E., Guillaud J.-C. (à par.) Démarche d'investigation. Des représentations d'enseignants débutants aux pratiques. In Grangeat M. (Ed.) *Formations et enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation : quelles pratiques ? quels effets ?* Lyon : ENS.
- Giroud N. (2011) *Etude de la démarche expérimentale dans les situations de recherche pour la classe*. Thèse de doctorat. Université de Grenoble.
- Grangeat M. (2011) *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classes, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*. Ouvrage collectif. Lyon : ENS.

- Grangeat M. (à par.) *Méthodologie de recherche à propos de l'enseignement des sciences. Conduire des recherches sur les compétences professionnelles des enseignants de science en ce qui concerne les démarches d'investigation*. In M. Grangeat (Ed.) *Formations et enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation : quelles pratiques ? quels effets* Lyon : ENS.
- Grenier D., Payan C. (1998) Spécificités de la preuve et de la modélisation en mathématiques discrètes. *Recherches en Didactique des Mathématiques* 18(1), 59-100.
- INRP (2007) Dossier de la veille : Démarche expérimentale et apprentissages mathématiques. Cellule de veille scientifique et technologique. <http://www.inrp.fr/vst>
- Joshua M.-A., Joshua S. (1987) Les fonctions didactiques de l'expérimental dans l'enseignement scientifique. *Recherches en Didactique des Mathématiques* 8(3), 231-266.
- Kahane J.-P. (2002) Rapport de la Commission de Réflexion sur l'Enseignement des Mathématiques. <http://smf4.emath.fr/en/Enseignement/CommissionKahane/>
- Khun T. (1970) *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion.
- Leroy N. (2011) Le volet français du projet S_TEAM : évaluation des effets d'un dispositif de formation incitatif à la mise en œuvre des démarches d'investigation en classe. In Grangeat M. (Ed.) (pp. 213-225) *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique, Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*. Lyon : Ecole Normale Supérieure.
- MEN (Ministère de l'Education Nationale). B.O. hors série n°6 du 28/08/2008.
- Mathé S., Meheut M., De Hosson C. (2008) Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? *Didaskalia* 32, 41-76.
- Pélissier L., Venturini P. (à par.) Qu'attendre de la démarche d'investigation en matière de transmission de savoirs épistémologiques ? In Calmettes B. (Ed.) *Démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formation*. Paris : L'Harmattan.
- Perrin D. (2007) L'expérimentation en mathématiques. *Petit x* 73, 6-34.
- Popper K. (1963) *Conjecture et réfutation*. Rééd. 1985. Paris : Payot.
- Poincaré H. (1908) *L'invention mathématique*. Conférence faite à l'Institut Général Psychologique à Paris, au siège de la société.
- Robardet G. (1995) *Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant*. Thèse de doctorat. Grenoble : Université Joseph Fourier.
- Robert A. (2005) Des recherches sur les pratiques aux formations d'enseignants de mathématiques du second degré : un point de vue didactique. *Annales de didactique et de sciences cognitives* 10, 209-249.
- Robert A. (2008) Le cadre général de nos recherches en didactique des mathématiques. In Vandebrouck F. (Ed.) (pp. 11-22) *La classe de mathématiques : activités des élèves et pratiques des enseignants*. Toulouse : Octarès.
- Triquet E., Gandit M., Guillaud J.-C. (à par.) Démarches scientifiques, démarches d'investigation en sciences expérimentales et en mathématiques : évolution des représentations d'enseignants débutants de l'IUFM à l'issue de la formation. In Calmette B. (Ed.) *Démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formation*. Paris : L'Harmattan.
- Triquet É., Guillaud J.-C. (2011) Démarche scientifique et démarche d'investigation : points de vue d'enseignants stagiaires à l'IUFM. In Grangeat M. (Ed.) (pp. 63-76) *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique : Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*. Lyon : ENS.
- Weiss L., Monnier A. (2011) *L'échographie d'un extrait de leçon filmée, un outil d'analyse pour la recherche et la formation*. Communication présentée au symposium CADIVAM, Filmer en classe, et après ? La vidéo dans les leçons de maths et de sciences, Lausanne. Repérée à www.hepl.ch/cadivam