Une formation de professeurs stagiaires sur les démarches d'investigation

Michèle GANDIT

IUFM de Grenoble,

Maths à modeler, Université Joseph Fourier
michele.gandit@ujf-grenoble.fr

Résumé

Nous présentons les résultats d'une recherche et la formation proposée à l'IUFM aux professeurs stagiaires en mathématiques, en 2009/2010. La recherche, menée conjointement en mathématiques, SPC et SVT, s'inscrit dans le cadre du projet européen S-TEAM. Il s'agit de mesurer les effets de la formation à la pratique en classe d'une démarche d'investigation. La formation intègre à la fois une dimension spécifique à la discipline et une dimension sociale du métier d'enseignant, le travail collaboratif enseignant. Nous présenterons ces deux aspects tels que nous les avons abordés en mathématiques. Seul l'aspect disciplinaire de la recherche sera abordé (épistémologie, enseignement et apprentissage). Nous proposerons de réfléchir sur la méthodologie (outil de mesure construit et modalités d'utilisation).

Nous présentons les résultats d'une recherche et la formation proposée à l'IUFM aux professeurs stagiaires en mathématiques, en 2009/2010. La recherche, menée conjointement en mathématiques, sciences physiques et chimiques (avec J.-C. Guillaud) et sciences de la vie et de la terre (avec E. Triquet) s'inscrit dans le cadre du projet européen S-TEAM (Science Teacher Education Advanced Methods) (Grangeat 2009), dont les objectifs sont de trouver des réponses au manque de vocations scientifiques et aux difficultés d'enseigner les sciences de manière à motiver les élèves.
La formation dispensée intègre à la fois une dimension spécifique à la discipline et une dimension sociale du métier d'enseignant, le travail collaboratif enseignant, qui constitue le thème central du projet S-TEAM. Les questions de recherche de ce projet sont les suivantes. Quel est l'effet du travail collaboratif enseignant[10] sur la mise en place d'une démarche d'investigation par les enseignants stagiaires dans leur classe ? Quel est l'effet de ces pratiques sur les élèves, en termes de motivation et d'apprentissages ? Dans cet article, nous resterons essentiellement dans le cadre de la didactique des mathématiques, à la fois en ce qui concerne la formation et en ce qui concerne la recherche, celle-ci concernant l'épistémologie, l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques. Nous proposerons enfin de réfléchir sur la méthodologie utilisée pour mesurer les effets de cette formation. L'outil utilisé est un questionnaire de type Q-sort, qui intègre à la fois les trois dimensions que nous venons de citer. Avant de présenter la formation proposée aux professeurs stagiaires et la méthodologie utilisée pour mesurer

[10] Celui qui se produit lorsque les enseignants débattent au sein des ateliers de pratique de classe, disciplinaire ou non.

son impact, nous proposons une caractérisation de ce que nous appelons *démarche d'investigation*. L'outil de mesure utilisé renvoie à cette caractérisation.

Cette expression est reprise telle quelle dans le questionnaire et la formation, que nous allons décrire, parce qu'elle figure sous cette forme dans le programme du collège. Le mot *démarche* est au pluriel dans le titre de cet atelier pour signifier que ces démarches recouvrent des processus qui peuvent être différents, suivant les disciplines, suivant les objectifs d'apprentissage. Pour notre part, nous préférons remplacer cette expression par *La démarche expérimentale en classe de mathématiques*[11], que nous tentons de définir.

I. La démarche expérimentale en classe de mathématiques (« démarche d'investigation »)

Nous entendons *démarche* au sens de manière de penser, de progresser dans la connaissance et nous parlons des élèves en classe de mathématiques. La définition de ce que nous appelons *démarche expérimentale en classe de mathématiques* est indissociable de celle de l'*activité mathématique en classe*, que nous commençons par caractériser.

Pour caractériser *l'activité mathématique en classe*, nous nous référons à divers travaux de didactique. Tout d'abord Lakatos (1976) développe l'idée que l'activité mathématique et les mécanismes de la découverte en mathématiques relèvent d'une dialectique preuve/réfutation, celle-ci étant mise en œuvre en classe par la construction didactique du *Débat scientifique* (Legrand 1990). Dans le cadre d'une recherche IREM-INRP (1999-2003), le groupe de l'IREM de Grenoble[12] définit : « […] activité mathématique vue comme culture de base à faire partager par l'école à tout futur citoyen d'un pays qui se veut humaniste et démocratique. ». En référence à Robert & M. Rogalski (2002), qui associent à des tâches (constituées des couples (énoncés, questions)) des activités mathématiques potentielles des élèves, nous reprenons une partie du sens attribué au mot *activité* : « […] tout ce que dit, fait, pense l'élève pendant l'action, avant ou après. Cela peut avoir des traces, écrites ou orales, mais une partie est invisible. ». Enfin le groupe CESAME (2005) étudie l'élève en train de faire des mathématiques, ce qu'il peut dire de son activité et analyse le rôle d'autrui : « Le modèle de la triple approche dans son double aspect, statique (Léonard & Sackur 1991) et dynamique (Sackur & al 1997), nous a permis de caractériser certains comportements d'élèves sur lesquels on peut s'accorder pour dire qu'il leur manque des caractéristiques importantes d'une activité mathématique. ».

Nous tentons d'élaborer un modèle (assez grossier) pour décrire les différents types d'activité de l'élève en classe.

Une de nos hypothèses de travail est de considérer que beaucoup de tâches données en cours de mathématiques engendrent chez les élèves des *activités* que nous ne considérons pas comme mathématiques. Notre modèle différencie, même si le tri n'est pas facile, celles que nous considérons comme *mathématiques* et celles que nous considérons comme *non mathématiques*. La nature (mathématique ou autre) dépend à la fois de la tâche qui est proposée (l'énoncé choisi) et de la gestion de la classe par le professeur. De ce fait, la nature de l'activité de l'élève dépend étroitement de la

[11] expression qui constitue le titre d'une sous-unité d'enseignement dans le prochain master professionnel spécifique du métier de professeur de mathématiques à l'université J. Fourier de Grenoble, à la rentrée 2010.

[12] Dont faisait partie l'auteur.

conception que l'enseignant a lui-même de l'activité mathématique et de son métier (ce que nous questionnons plus loin).
Avoir une *activité mathématique*, ce serait, face à un problème, à une question, adopter une attitude où s'entrelacent concret et abstrait, particulier et général, concepts et techniques, informel privé et formalisme, imagination et rigueur. L'entrelacement est important car ces divers aspects qui s'opposent, l'un s'appuyant sur l'autre, aident à la construction du sens. Il s'agit avant tout de comprendre que la plupart des problèmes ne sont pas naturellement mathématiques, mais qu'ils peuvent, par modélisation, donner naissance à des questionnements essentiellement mathématiques dont les conclusions nécessaires apporteront des éléments de réponses aux problèmes de départ. L'expérimentation sur des cas simples permet l'entrée dans le problème devenu mathématique, de voir ce qu'il y a de général ou de généralisable derrière le particulier. L'identification d'un concept ou l'acte de définition permettent la simplification du problème, la formulation de conjectures, dont la résolution peut passer alors par l'utilisation de telle technique, reconnue pertinente. La mobilisation d'un résultat connu relève aussi d'une activité mathématique, à condition évidemment qu'aucune indication ne soit donnée. Ces actions s'accompagnent nécessairement de représentations et langage informels, qui relèvent du domaine privé de la personne qui fait des mathématiques. Ces représentations et langage évoluent ensuite pour devenir plus canoniques, formalisés, et être communiqués à autrui. Il est à la fois nécessaire d'imaginer les cas les plus extrêmes, pour mettre à l'épreuve ses conjectures ou ses conclusions, et de recourir à la logique la plus rigoureuse pour produire des réponses qui ne puissent être mises en défaut. Dans *l'activité mathématique* se retrouve simultanément la recherche de la vérité et d'une explication de cette vérité : ceci induit la reconnaissance du faux et des raisons du faux, la reconnaissance de la pertinence d'une stratégie ou de son inadéquation, et toujours des raisons. Celles-ci sont aussi importantes, voire plus importantes à l'école, que les conclusions finales auxquelles elles permettent d'aboutir.
A ces critères de l'activité mathématique, qui touchent essentiellement à la personne et qui ne sont qu'en partie, reconnaissables de l'extérieur, s'en ajoutent d'autres relatifs à la dimension sociale. Les mathématiques se pratiquent à l'intérieur d'une communauté qui valide ou non ce qui lui est communiqué, qui produit aussi des résultats, les ressources ainsi constituées fournissant un matériau précieux pour tous les membres de la communauté. La recherche documentaire, la communication scientifique de résultats sont ainsi d'autres facettes de l'activité mathématique, transposables à la classe.
Cependant, pour que l'activité en classe puisse être potentiellement mathématique, des conditions sont nécessaires : le choix des énoncés, avons-nous dit, mais aussi le respect d'un vrai temps de recherche pour les élèves, la dévolution d'une responsabilité scientifique à la classe, la liberté de s'exprimer accordée aux élèves, l'engagement de ces derniers, l'interaction sociale. Le *débat scientifique* (Legrand 1990, Gandit & Massé-Demongeot 2001), nous y revenons, est une construction didactique qui permet une activité essentiellement mathématique. Mais ce n'est pas le cas s'il s'agit de répondre à une injonction du professeur, qui, dans quelques instants, donnera la solution à la question qu'il vient de poser. « Une des fonctions essentielles du débat scientifique est de favoriser l'émergence et le traitement explicite de questions méta-mathématiques, qui vont progressivement conduire l'élève à se constituer une solide épistémologie scientifique, à défaut de laquelle se substitue par nécessité une épistémologie purement scolaire : "c'est important parce que ça figure souvent aux examens ". » (Legrand 1990). Pour l'élève, il existe en effet d'autres enjeux que la pratique des mathématiques. Se

débarrasser de son exercice en appliquant une méthode sans vraiment comprendre, savoir sa leçon en apprenant par cœur les théorèmes et les définitions, avoir une bonne note à l'examen en suivant pas à pas les différentes questions de l'énoncé sans s'occuper de la cohérence globale, ces trois enjeux induisent, à notre sens, des activités qui ne sont pas mathématiques, même si elles sont utiles pour faire des mathématiques. Nous les déterminons en fonction de l'objectif qu'elles visent. Nous qualifions l'activité de *technique* s'il s'agit d'appliquer sans réflexion une méthode, un algorithme, l'objectif étant d'arriver à un résultat ; nous disons activité *d'apprendre* au sens d'activité d'étude, l'objectif étant d'acquérir des connaissances ; nous parlons d'activité *scolaire* au sens de conformité au contrat, l'objectif étant de réussir à l'école. Nous ne disons pas qu'apprendre ou utiliser une technique de façon automatique ne relèvent pas de l'activité mathématique. La technique (même sans réflexion) aide à la recherche de la vérité et des raisons, et il est souvent fort utile de ne pas se préoccuper de « pourquoi cette technique fonctionne », pour ne pas perdre de vue la question que l'on cherche à résoudre. Elle fait partie de l'activité mathématique si elle s'accompagne d'une vigilance par rapport aux résultats intermédiaires, de moyens de contrôle, d'une réflexion sur les résultats finaux par rapport à la question posée. Apprendre ou utiliser une technique peut relever ou non d'une activité mathématique, suivant qu'on est capable ou non d'expliciter la technologie[13] afférente. Il est impossible de faire des mathématiques si l'on n'a pas acquis certaines connaissances : l'élève doit apprendre des définitions, des théorèmes, des techniques, pour enrichir le milieu de la prochaine situation dans laquelle il sera amené à pratiquer une activité mathématique. Cette activité *d'apprendre* peut être un moyen d'enrichir sa pratique mathématique : apprendre un algorithme, le faire fonctionner pour augmenter sa rapidité à l'exécuter, apprendre des résultats, tout ceci est utile pour faire des mathématiques. Dans ce type d'activité, l'enjeu est d'apprendre. Mais si, ce faisant, on ne se demande jamais pourquoi cette technique fonctionne, pourquoi on la présente ainsi, dans quels cas elle est pertinente ou ne l'est pas, pourquoi et comment on peut appliquer ce théorème, comment on le démontre, si on n'apprend que pour réussir au contrôle ou à l'examen, on n'apprend pas en accord avec l'activité mathématique. Cette activité d'apprendre peut donc elle aussi être loin de l'activité mathématique. Il en est aussi de même de l'activité que nous qualifions de *scolaire*. Nous allons plus loin. Il est même nécessaire pour qu'un élève réussisse à l'école qu'il acquière des connaissances scolaires qui, même si elles lui servent à répondre à des questions de mathématiques, le détournent de l'activité mathématique. Par exemple, il doit savoir que, dans un sujet d'examen, si on lui demande de prouver quelque chose, c'est que c'est vrai et qu'il n'a pas à se mettre en position de supposer que c'est faux (sauf évidemment s'il s'engage dans un raisonnement par l'absurde ou par contraposition). Il ne doit pas s'engager dans la recherche d'une question suscitée par le sujet, si celle-ci ne lui est pas posée explicitement. Il doit savoir repérer des indices qui vont lui être utiles à la poursuite de la résolution d'une question, même s'il n'en voit pas les raisons. Cette activité *scolaire* relève essentiellement du contrat. Elle peut s'avérer en opposition avec l'activité mathématique. La manifestation d'un esprit critique développé par la pratique des mathématiques coexiste en effet difficilement avec l'obéissance aux règles, néanmoins incontournable à l'école.

[13] Au sens de Chevallard

Ainsi nous venons de définir quatre types d'activité[14] en classe, *mathématique*, *technique*, *d'apprendre* ou *scolaire*, tout en gardant à l'esprit que les trois dernières peuvent être en accord ou bien en opposition profonde avec la première. Comme nous l'avons décrit, cette activité mathématique intègre clairement une dimension expérimentale. Dias (2004) caractérise l'expérience mathématique comme un système de gestes qui se développent dans deux espaces (Cavaillès 1994), dont l'intersection est le sujet en activité mathématique, « […] un espace combinatoire pour l'expression des gestes sur les signes et un espace opératoire pour les gestes portant sur les idéalités. ». On peut ainsi dire que la partie visible de l'activité mathématique de l'élève, la seule à laquelle a accès le professeur, est constituée par les gestes de l'espace combinatoire. *La démarche expérimentale en classe de mathématiques* (*notre* démarche d'investigation) peut se définir comme la partie, visible de l'extérieur, de l'activité mathématique de l'élève, au sens où venons de la caractériser. C'est ainsi la démarche qui est l'indice d'une activité mathématique potentielle.
Par cette définition, nous nous démarquons de ce que propose le B.O. n°6 (2008) qui donne des « repères pour la mise en œuvre d'une démarche d'investigation » et définit l'expression *faire des mathématiques* : « Faire des mathématiques, c'est se les approprier par l'imagination, la recherche, le tâtonnement et la résolution de problèmes, dans la rigueur de la logique et le plaisir de la découverte. ». La discussion sur ces définitions et la comparaison avec les préconisations proposées dans le B.O. feront l'objet de la première partie du travail de l'atelier.

II. La démarche expérimentale en classe de mathématiques, non seulement comme activité mathématique à privilégier, mais aussi comme source d'apprentissages

Des relations sont établies entre la démotivation des élèves face à l'apprentissage des sciences « dures » et les pratiques des enseignants. Ainsi le rapport Rocard (2007) sur l'enseignement des sciences à l'Ecole recommande pour les enseignements européens : « Renverser la pédagogie utilisée pour enseigner les sciences à l'école, en la faisant passer de méthodes essentiellement déductives à des méthodes basées sur l'investigation permet d'augmenter l'intérêt des jeunes pour les sciences. ». Par ailleurs, l'introduction des programmes de collège (BOEN n°6 2008) mentionne : « A l'école primaire, une proportion importante d'élèves s'intéresse à la pratique des mathématiques et y trouve du plaisir. Le maintien de cet intérêt pour les mathématiques doit être une préoccupation du collège. Il est en effet possible de se livrer, à partir d'un nombre limité de connaissances, à une activité mathématique véritable, avec son lot de questions ouvertes, de recherches pleines de surprises, de conclusions dont on parvient à se convaincre.».
Si la transposition à la classe de la pratique mathématicienne du professionnel peut permettre aux élèves de se constituer une épistémologie personnelle, pour peu que le contrat accorde une place à la responsabilité de la classe sur le plan scientifique,

[14] Mais il se peut aussi que l'activité de l'élève en classe ne relève d'aucune des catégories de ce modèle, qu'elle soit totalement autre, dans le cas, par exemple, où il est en position de refus d'apprendre. Ce type de posture d'élève n'est pas exceptionnel, mais nous ne traiterons pas de ce cas, parce que nos outils sont totalement inefficaces dans ce domaine. Il ne faut cependant pas oublier que ce comportement est aussi une réalité à l'école.

favorisant ainsi la motivation des élèves par rapport aux mathématiques, il reste que cela ne suffit pas à justifier l'effort considérable demandé aux enseignants dans le changement de leurs pratiques. Encore faut-il garantir que, ce faisant, les élèves apprennent des mathématiques, et peut-être d'*autres* mathématiques, qui ne sont pas enseignées.

Les pratiques d'enseignement des mathématiques sont en effet « restées relativement stables depuis une trentaine d'années, globalement verrouillées sur des modèles transmissifs. » (Bloch 2009). Les élèves reçoivent actuellement[15] en France un enseignement de mathématiques qui, par rapport à un contenu donné, suit globalement le schéma suivant : une activité d'introduction, souvent peu problématique (Rousset-Bert 2001), puis une liste de savoirs, qui sont ensuite mis en œuvre dans une série d'exercices, plus ou moins simples, enfin un contrôle des connaissances acquises, et on passe au chapitre suivant. Cette organisation du cours, qui se déroule souvent sous la forme d'un dialogue entre le professeur et quelques élèves de la classe, ne laisse pas de place à l'activité mathématique des élèves, comme nous l'avons définie. Et ceci dure malgré les libellés des programmes qui mettent en avant la pratique d'une démarche scientifique. Il faut cependant noter que cette démarche est certes décrite dans l'introduction des programmes, mais n'est pas reprise par rapport aux différents contenus à traiter à chaque niveau de classe. Or les enseignants établissent leur progression annuelle en se référant essentiellement aux contenus à traiter au niveau de la classe dont ils ont la charge. Les actions des enseignants sont complètement dirigées par l'avancement dans le traitement des connaissances, qui figurent dans cette progression.

Ainsi les élèves ne peuvent avoir réellement accès à la pratique d'une démarche expérimentale, ni, par conséquent aux savoirs transversaux sous-jacents, car les questions qui leur sont posées la plupart du temps se rapportent à des connaissances en cours de construction. Nous renvoyons à Gandit (2008) qui montre que : « Un enseignant sur deux voit la preuve essentiellement comme un moyen de mettre en œuvre les connaissances du cours. ». Or une hypothèse de travail essentielle dans notre recherche est de considérer qu'*on ne peut comprendre la pratique d'une démarche mathématique réelle que si elle se situe dans un contexte où les connaissances mathématiques en jeu sont élémentaires.* C'est le cas dans les situations de recherche pour la classe (SRC) (Grenier & Payan, 2002 ; Godot, 2005).

Renforçant cette idée que la démarche d'investigation doit être au service de l'apprentissage de notions mathématiques, les injonctions officielles (B.O. n°6, 2008) donnent un canevas d'une séquence d'investigation, en sept temps, dont le premier est intitulé « Le choix d'une situation-problème ». Cette notion de situation-problème (Arsac & al 1991) renvoie bien à l'idée que l'objectif d'apprentissage visé est relatif à une notion mathématique très précise, qu'il s'agira ensuite d'institutionnaliser. Nous ne développerons pas cet aspect. Nous parlerons d'une autre modalité de mise en œuvre de la démarche expérimentale en classe de mathématiques, celle qui vise davantage l'acquisition de savoirs transversaux. Ce sont des raisons, à la fois, épistémologiques et humanistes, qui expliquent notre volonté de faire acquérir ces savoirs transversaux. Nous pensons en effet, que, non seulement, il est possible d'initier tout élève à la pratique scientifique, mais aussi qu'il est essentiel que les élèves puissent devenir « […]

[15] L'expérience de l'auteure de formatrice d'enseignants conduit à cette constatation, d'après les visites qu'elle a effectuées dans de nombreuses classes.

les auteurs de ce qu'ils font, les propriétaires de ce qu'ils savent, les responsables de ce qu'ils disent […]. » (Brousseau 2005).
Permettre aux élèves de pratiquer une démarche expérimentale en classe de mathématiques, à partir d'un problème reposant sur des notions mathématiques élémentaires, c'est ce que proposent les *situations de recherche en classe* (Grenier & Payan 2002). Nous les proposons comme une alternative à cet enseignement traditionnel des mathématiques, mis en cause dans le rapport Rocard. Elles mettent en jeu des savoirs transversaux qu'on peut distinguer en deux catégories. Expérimenter, avec du matériel (objets, ordinateurs, calculatrices), ou simplement avec du papier et un crayon, émettre une conjecture, établir une preuve, invalider une conjecture, sont des savoirs de la pratique mathématique, explicitement décrits dans les programmes, que nous rangeons dans la première catégorie. Ceci ne veut pas dire que ces savoirs aient une vie réelle dans les classes, d'autant plus qu'ils ne sont pas vraiment évalués dans les examens (pas du tout dans le brevet des collèges, très légèrement au baccalauréat de la série S). Il apparaît en effet que, si l'expérimentation d'une épreuve pratique de mathématiques au baccalauréat de la série S ait « permis de sortir du piège d'une abstraction excessive » (IGEN 2009), en introduisant une dimension expérimentale dans l'enseignement des mathématiques en classe de terminale scientifique, cette amorce de changement n'atteigne pas encore les autres classes du lycée. Les savoirs de la seconde catégorie ne sont pas mentionnés dans les programmes et, par conséquent, sont davantage absents de la majorité des classes : savoir, par exemple, à partir d'une situation proposée, cerner et se poser une question mathématique, sans que celle-ci ne soit explicitée, se choisir des hypothèses pour être en mesure d'apporter un élément de réponse, ou encore voir ce qui est généralisable derrière le particulier, prendre l'initiative de définir un objet mathématique... Ces aspects, plus subtils, ne sont pas travaillés dans le quotidien des cours de mathématiques, mais sont présents dans les SRC. Dans le cadre de cet article, nous n'irons pas plus loin sur ce point.

III. La formation dispensée en 2009-2010 à l'IUFM à propos de la démarche d'investigation en mathématiques

Une formation relative à la démarche d'investigation a été proposée aux professeurs stagiaires de lycée ou collège des trois disciplines scientifiques : mathématiques, sur les sites de Grenoble et Chambéry, sciences physiques et chimiques et sciences de la vie et de la terre, durant leur année de formation professionnelle. Nous développons essentiellement la formation qui concerne les futurs professeurs de mathématiques.
Rappelons que les hypothèses de travail de la recherche S-TEAM sont, d'une part, que les démarches d'investigation sont des pratiques enseignantes efficaces et motivantes pour les élèves, d'autre part, que peu d'enseignants cependant les mettent en pratique effectivement au sein de leur classe (Rocard 2008). Il s'agit donc de mettre en place des programmes de formation incitatifs à la mise en œuvre de ces démarches en classe. Celui qui a été mis en place à Grenoble est constitué, d'une part, de deux séances de pratique de classe disciplinaire, d'autre part, de trois séances d'analyse des pratiques, animées par des enseignants des sciences de l'éducation. Ces cinq séances étaient construites sur l'idée de créer un conflit, pouvant provoquer un changement d'attitude des enseignants à l'égard des démarches d'investigation ou autres pratiques permettant de motiver les

élèves à l'égard des sciences, ce changement pouvant être déclaré ou observé en classe[16]. L'objectif de formation visé lors de ces séances était de construire avec les enseignants stagiaires l'idée selon laquelle les démarches d'investigation représentaient un cadre dans lequel inscrire des pratiques enseignantes susceptibles de favoriser la motivation et les apprentissages des élèves.

L'objectif de formation de la première séance disciplinaire consacrée à la démarche d'investigation était de faire comprendre en quoi consistait cette démarche. Les enseignants stagiaires étant répartis sur les sites de Grenoble (deux groupes) et Chambéry (un groupe), avec des formateurs différents d'un site à l'autre, la formation n'a pas été la même. A Chambéry, le formateur est parti de la description de la démarche d'investigation telle qu'elle figure dans le B.O. n°6 (2008) et les échanges se sont organisés avec les stagiaires sur la façon dont ils pensaient pouvoir la mettre en œuvre dans leurs classes. Il a ensuite donné des exemples de situations-problèmes. A Grenoble, nous avons nous-même assuré cette formation, mais suivant des modalités différentes, d'une part, du fait que nous intervenions ponctuellement dans l'un des groupes et habituellement dans l'autre[17], d'autre part, en raison de la différence entre les deux groupes des contenus de formation abordés lors des séances précédentes. Des échanges ont d'abord eu lieu à partir du texte du B.O. qui décrit la démarche d'investigation. Il a ensuite été question de pratique de la narration de recherche, en collège (Sauter 2000) et en lycée (Pombourg & Lacage 2007) : les textes ont été lus et commentés, puis des copies d'élèves ont été longuement examinées. Il s'agissait d'une part de productions de groupes d'élèves répondant à un problème de recherche donné à chercher en classe (par exemple, en sixième ou cinquième, le nombre de diagonales d'un polygone), d'autre part, de copies d'élèves contenant une narration de recherche. Cette formation sur la démarche d'investigation a été associée au module sur la preuve, où ont été étudiés les malentendus engendrés par l'enseignement actuel de la démonstration (Gandit 2004), où l'aspect formel l'emporte sur le sens, ce qui détourne immanquablement les élèves de la pratique scientifique, dans la mesure où ils ne comprennent plus ce qu'ils font en mathématiques. Les professeurs stagiaires ont ensuite pu disposer d'un canevas proposant une façon de construire une séquence de classe incluant une démarche d'investigation, soit avec l'objectif de travailler la validation par la preuve, soit avec celui de travailler un contenu mathématique précis (en annexe).

Le canevas des autres séances était le même, pour la deuxième en mathématiques et les trois ateliers d'analyse des pratiques, assurés par des formateurs des sciences de l'éducation. Une des hypothèses de travail du groupe S-TEAM de Grenoble est qu'une façon d'optimiser le développement professionnel des enseignants stagiaires consiste à leur proposer un contenu de formation qui peut être débattu au cours d'un conflit « organisé » à propos d'une tâche (un conflit qui se régule sur le fond d'une problématique et non autour des personnes). Cette tâche, qui constitue le point de départ des séances, est une séance en classe ou une préparation de séance, présentée par un(e) professeur(e) stagiaire volontaire. Cette séance doit, selon la personne qui la présente, comporter une mise en investigation des élèves. Le débat (d'une durée d'une heure et demie) autour de cette présentation est organisé en différentes phases avec l'objectif que les enseignants stagiaires confrontent leurs points de vue en retenant et en intégrant éventuellement les arguments de leurs collègues à leurs systèmes de connaissances.

---

[16] Les professeurs stagiaires ont été interrogés par questionnaire en décembre-janvier, puis en juin ; certains d'entre eux ont été filmés dans leur classe en mai-juin. Les élèves aussi ont été interrogés par questionnaire, en février, puis en mai.

[17] Des éléments liés à la démarche d'investigation avaient donc été davantage travaillés dans ce dernier que dans l'autre.

Il se termine par une étape d'écriture, où les stagiaires explicitent ce qu'ils retiennent et ce qu'ils pensent intéressant de mettre en place dans une classe (et non dans leur classe afin de ne pas les inciter à le faire) ou ce qu'ils pensent avoir mis en place, qui relève d'une démarche d'investigation. Nous ne développons pas ici les résultats de cette partie, mais ils seront évoqués lors de l'atelier.
Enfin, outre ces séances étiquetées « démarche d'investigation », les professeurs stagiaires de mathématiques ont eu des éléments de formation (6 heures) sur la preuve, son enseignement et son apprentissage, ainsi que des éléments sur le *débat scientifique* et, pour certains, les *situations de recherche en classe*. Ils ont également travaillé la construction de séquences d'enseignement, notamment à partir de la trame d'une séquence incluant une démarche d'investigation (en annexe). Ils ont participé au congrès *Maths-en-Jeans* (qui a eu lieu à Grenoble). Ils ont également reçu une formation en épistémologie et histoire des mathématiques et, dès le début de l'année, en informatique liée à l'enseignement.

IV. L'outil élaboré pour mesurer les changements dans les conceptions

Cet outil est constitué d'un questionnaire, de type Q-Sort, et comporte trois domaines. Le premier, qui relève de l'épistémologie propre à la discipline, est constitué de quatorze affirmations (items), le second, qui concerne l'enseignement des mathématiques, dix-sept items et le troisième, qui porte sur l'apprentissage, dix-huit items. Pour chacune de ces affirmations, on demande au professeur stagiaire de donner son opinion en cochant une parmi cinq cases : −2 signifie « pas du tout d'accord », −1 correspond à « plutôt d'accord », 0 à « avis partagé », +1 à « plutôt d'accord », +2 à « tout à fait d'accord ».
Pour construire cet outil nous nous sommes appuyée sur un Q-Sort proposé par Darley (1994) pour étudier les représentations d'enseignants de biologie à propos de la démarche expérimentale, ainsi que sur les définitions que nous avons développées précédemment de *l'activité mathématique en* classe et de la *démarche expérimentale en classe de mathématiques*, de même que sur la Théorie des Situations Didactiques (TSD) (Brousseau 1990), le Débat scientifique (Legrand 1993), comme nous l'explicitons ci-dessous. Les items du questionnaire ont en effet été rédigés en fonction de certaines variables que nous allons préciser, en vue de pouvoir étudier les conceptions des personnes interrogées. Mais l'adhésion à tel ou tel item n'est pas forcément significative d'une conception. En revanche il existe des adhésions et surtout des rejets, qui lorsqu'ils sont effectués de manière simultanée, témoignent ensemble d'une conception (Triquet & Guillaud 2010). Nous avons donc regroupé en catégories les items susceptibles de caractériser une même conception, comportant des items d'adhésion et des items de rejet. E. Triquet et J.-C. Guillaud ont fait ce même travail en sciences expérimentales.
La constitution du questionnaire repose sur l'hypothèse (de travail) de relation directe entre les activités possibles des élèves et leurs apprentissages, d'une part, et entre les pratiques des enseignants et les apprentissages des élèves, d'autre part. On retrouve dans la démarche d'investigation telle qu'elle est décrite dans le B.O. (2008) le modèle de l'apprentissage mathématique à partir des situations fondamentales et du milieu, qui sont les éléments de base de la TSD. Dans ce cadre, les problèmes au cœur des situations d'enseignement sont élaborés à partir du sens profond des concepts en jeu et de leur rôle dans l'édifice mathématique. Les questions proposées permettent aux élèves d'accéder, au moins en partie, à ce sens, pour peu qu'elles s'inscrivent dans un déroulement où se succèdent des phases d'action, de formulation, de validation (Brousseau 1998). C'est aussi dans ce cadre de la TSD que nous nous sommes placée pour l'élaboration du questionnaire, cadre dont nous rappelons deux hypothèses de base (Brousseau 1986) : « Admettons que le sens d'une connaissance provient en bonne

partie du fait que l'élève acquiert celle-ci en s'adaptant aux situations didactiques qui lui sont proposées (dévolues). Nous admettons aussi qu'il existe, pour toute connaissance, une famille de situations susceptibles de lui donner un sens correct […] ». Legrand (1993) évoque le travail du professeur, qui s'engage dans la recherche de ces situations *fondamentales* dont il pointe « une sorte d'irréversibilité didactique : le sens induit par la situation sur la connaissance sera difficilement rectifiable par la suite. », irréversibilité difficilement admise par le professeur dans la pratique, qui croit à la force des explications qu'il peut donner pour rectifier les erreurs et les contresens. Toutefois, en se plaçant dans ce modèle de recherche du fondamental par rapport à un concept donné, le professeur se libère nécessairement des contraintes de linéarité et de progressivité dans la présentation des savoirs, qui est une des *habitudes profondes du milieu* (Robert 2005). Ceci renvoie à la fois aux composantes *sociale* et *institutionnelle* des pratiques des enseignants (Robert 2008) : *sociale* au sens où l'enseignant débutant essaie d'avoir une pratique en conformité avec celles de la plupart de ses collègues et *institutionnelle* au sens où il pense que c'est ce que lui demande l'institution. Nous pointons ici un premier décalage dans les points de vue adoptés sur le questionnaire, d'une part par les enseignants débutants, d'autre part par l'auteur du questionnaire : les premiers ont en majorité leurs pratiques dominées par les composantes sociales et institutionnelles du métier d'enseignant, alors que le questionnaire est centré sur la composante cognitive[18]
Par ailleurs ce questionnaire se réfère, dans le cadre de la TSD, à un élève générique qui apprend des mathématiques pour peu que les situations d'enseignement proposées soient suffisamment pertinentes par rapport au savoir visé. Aux hypothèses évoquées précédemment, concernant l'apprentissage et le savoir, s'en ajoute une relative à l'élève considéré « comme un sujet épistémique, capable d'entrer durablement dans une rationalité mathématique » (Legrand 1993). Cette hypothèse n'est pas nécessairement partagée par l'enseignant débutant confronté aux difficultés de gestion de classe. En considérant donc les apprentissages potentiels d'un élève générique, favorisés ou non par telle pratique d'enseignant, nous nous éloignons de la classe dans sa réalité et des élèves en tant que sujets singuliers (Robert 2008). C'est un élément important à prendre en compte dans l'analyse des réponses au questionnaire car nous supposons (autre hypothèse de travail) que les enseignants en formation initiale n'adoptent pas le même point de vue sur les élèves. La *composante médiative*[19] du métier (Robert 2008) intervient fortement au sens où les enseignants sont préoccupés par l'organisation du travail de la classe et la prise en compte de la diversité des élèves, compétences (B.O. 2007) qui sont repérées comme « à renforcer » pour une grande majorité de professeurs débutants. La forte prégnance de la composante *médiative* chez les enseignants débutants, alors que celle-ci est peu présente dans les différents items, permet de désigner a priori un second décalage à prendre en compte dans l'analyse des réponses.

---

[18] « La composante cognitive traduit ce qui correspond aux choix de l'enseignant sur les contenus, les tâches, leur organisation, leur quantité, leur ordre, leur insertion dans une progression qui dépasse la séance, et les prévisions de gestion pour la séance. Elle renseigne donc sur l'itinéraire cognitif choisi par l'enseignant. » (Robert 2008)

[19] « Les choix correspondant aux déroulements, les improvisations, les discours, l'enrôlement des élèves, la dévolution des consignes, l'accompagnement des élèves dans la réalisation de la tâche, les validations, les expositions de connaissances, incrémentent la composante médiative. Elle renseigne sur les cheminements organisés pour les différents élèves. » (Robert 2008)

Ces deux décalages dans les points du vue sur le métier sont d'autant plus à prendre en compte que plusieurs items du questionnaire renvoient à la représentation de ce qu'est *un bon enseignement des mathématiques*. Or il n'y a pas de consensus sur ce point dans la communauté didactique (Robert 2008). Paradoxalement, on peut noter que l'évaluation de la pratique d'un enseignant ne se fait pas sur les apprentissages réalisés, mais bien plus sur l'enrôlement des élèves et leur réussite aux contrôles ou examens, ces deux derniers points n'apparaissant pas dans le questionnaire.
La principale variable retenue dans l'élaboration du questionnement d'ordre épistémologique est la *dimension expérimentale en mathématiques* (qui prend les valeurs *présente* ou *absente*). « La question de l'expérience et plus particulièrement de l'expérimentation en mathématiques est entretenue de longue date en épistémologie […]. » (Dias 2004). Dias relève quatre écoles autour de cette interrogation. L'école *empiriste* considère que les objets mathématiques sont inférés à partir de l'observation de la nature. L'école *idéaliste* prône l'existence a priori des objets mathématiques ou, au contraire, qu'ils sont des constructions pures de l'esprit humain. L'école *intuitioniste* ne considère l'existence des objets mathématiques que s'ils relèvent d'une construction (par un algorithme), la preuve formelle de l'existence d'un objet ne suffisant pas. Enfin l'école *logistique* fonde les mathématiques sur la logique et ramène toute preuve à un système formel logiquement bien organisé. Sans faire correspondre explicitement chaque item à une de ces écoles, nous explicitons deux *conceptions* — que les enseignants ont de l'activité mathématique du mathématicien — à partir de l'association de certaines valeurs (positives ou négatives) obtenues pour un groupe d'items bien identifiés, parmi les quatorze items de la première partie. D'une part, les mathématiques intègrent une dimension expérimentale, en lien avec la formulation de conjectures et la validation par la preuve. Cette conception correspond à un code strictement positif attribué à chacun des items[20] A1, A4, A7, A10 et A11, mais aussi un code strictement négatif attribué aux items[21] A6, A8 et A12. D'autre part, une démarche expérimentale n'a pas sa place en mathématiques, comme le pensent, jusqu'à la fin des années quatre-vingts, la majorité des professeurs de mathématiques (INRP 2007), qui ne voient l'activité mathématique que comme l'art de démontrer formellement des résultats, à partir de propriétés et règles bien établies. Cette conception correspond à des codes strictement positifs attribués à A2, A3, A6, A8 et A9[22], ainsi que des codes strictement

[20] A1. Face à un problème, le mathématicien procède à une suite de tâtonnements, calculs, études d'exemples, d'où finissent par émerger des formulations d'énoncés permettant une compréhension de la situation, de conjectures. A4. L'expérimentation en mathématiques peut ouvrir la voie vers de nouveaux domaines, de nouvelles conjectures. A7. L'échec d'une tentative de preuve peut amener à une modification d'une conjecture, voire de l'expérimentation elle-même. A10. L'expérimentation mise en place pour cerner une question mathématique peut déboucher sur des résultats inattendus, qui conduisent à s'interroger sur d'autres résultats. A11. L'ordinateur permet, par sa puissance de calcul, d'aborder certains concepts sous un jour nouveau.

[21] A6. L'expérimentation n'a pas sa place dans le travail du mathématicien. A8. L'activité essentielle du mathématicien est la preuve de résultats qui mettent en jeu des concepts abstraits. A12. La puissance de calcul des machines ne facilite pas l'accès à de nouveaux concepts mathématiques, qui relèvent essentiellement du domaine théorique.

[22] A2. La force des mathématiques réside dans le traitement abstrait d'objets abstraits à l'aide de théorèmes et de règles clairement établis. A3. La preuve formelle est le seul

négatifs pour A1, A4, A5, A10[23] et B2[24] (de la deuxième partie consacrée à l'enseignement des mathématiques, mais qui renvoie à la discipline elle-même). Nous venons ainsi de préciser deux conceptions, la première, notée EXP et la seconde, notée FTH.

L'utilisation de l'outil informatique ouvre de nouvelles perspectives dans la recherche en mathématiques : exploration de domaines nouveaux ou retour sur des objets connus, qu'on redécouvre autrement. La puissance de calcul des ordinateurs permet d'aller plus loin dans l'expérimentation en mathématiques (Delahaye 2005). Ceci est mis aussi en avant par le rapport de la commission de réflexion sur l'enseignement des mathématiques (CREM 2002) et permet de dégager de l'analyse du questionnaire une troisième conception, notée INFO. Elle est définie par l'association d'une valeur strictement négative associée aux items[25] A9 et A12 et d'une valeur strictement positive associée à l'affirmation A11.

Conception	*Valeur strictement positive aux items*	*Valeur strictement négative aux items*
EXP	*A1, A4, A7, A10, A11*	*A6, A8, A12, B2*
FTH	*A2, A3, A6, A8, A9*	*A1, A4, A5, A10*
INFO	*A11*	*A9, A12*

Tableau 1 : Des conceptions relatives à l'épistémologie relevées dans le questionnaire

La deuxième partie du questionnaire aborde l'enseignement des mathématiques, elle est liée à la troisième partie qui concerne l'apprentissage. Les variables retenues sont essentiellement l'organisation de l'enseignement, la prise en compte de l'interaction sociale dans la classe, la dévolution d'une responsabilité scientifique à la classe. Nous en dégageons, dans un premier temps, une conception, notée ENSPb, selon laquelle un « bon » (compte tenu du cadre théorique précisé auparavant) enseignement de mathématiques a pour point de départ la dévolution d'une question problématique aux élèves et leur donne les moyens d'être autonomes sur le plan de la responsabilité scientifique de ce qui se dit dans la classe (Leroux & Lecorre 2008 ; Gandit & Massé-

---

moyen que possède le mathématicien pour se convaincre de la vérité d'un résultat. A9. Les outils du mathématicien sont théoriques et non pas techniques.
Pour les autres codes, voir ci-dessus.

[23] A5. L'échec d'une tentative de preuve peut amener à mieux tester la solidité d'une conjecture née de l'expérimentation.
Pour les autres codes, voir ci-dessus.

[24] B2. Enseigner les mathématiques par la pratique d'une démarche d'investigation est une pratique pédagogique sans rapport avec l'activité réelle du mathématicien.

[25] A9. Les outils du mathématicien sont théoriques et non pas techniques. A12. La puissance de calcul des machines ne facilite pas l'accès à de nouveaux concepts mathématiques, qui relèvent essentiellement du domaine théorique. A11. L'ordinateur permet, par sa puissance de calcul, d'aborder certains concepts sous un jour nouveau.

Demongeot 1996). Nous relevons ENSPb si des valeurs strictement négatives sont attribuées aux items[26] B7, B8 et C1 et des valeurs strictement positives aux items[27] B1 et B3 : un bon enseignement de mathématiques est fondé sur la résolution de problèmes, les élèves étant amenés à pratiquer une démarche expérimentale. Nous notons ENSSoResp La conception de l'enseignement fondée sur l'interaction sociale, où dévolution est faite à la classe d'une responsabilité scientifique. La conception de l'enseignement, notée ENSCrsStruc, correspond à l'idée qu'un cours de mathématiques sur un contenu donné doit exposer les notions relatives à ce contenu, les unes après les autres, en commençant par la plus simple. Elle est identifiée par l'association de valeurs strictement positives à B4, B8, C1 et C2[28] et des valeurs strictement négatives à B1 et B3. Enfin la conception EnsObjReu voit l'enseignement comme une aide au franchissement pas à pas de petits obstacles, où l'objectif premier du professeur est d'aider l'élève à réussir ; elle correspond à une valeur strictement positive aux items B7, C2, C10 et strictement négative à l'item B3.

Conception	*Valeur strictement positive aux items*	*Valeur strictement négative aux items*
ENS Pb	*B1, B3*	*B7, B8, C1*
ENS SoResp	*B10, B11, B15, B16*	*B13, B17, C1, C2*
ENS CrsStruc	*B4, B8, C1, C2*	*B1, B3*
ENS ObjReu	*B7, C2, C10*	*B3*

Tableau 2 : : Des conceptions relatives à l'enseignement relevées dans le questionnaire

Dans la troisième partie du questionnaire, qui concerne l'apprentissage des mathématiques, liée, comme nous l'avons dit, à la seconde, on retrouve l'organisation de l'enseignement et la dévolution d'une responsabilité scientifique à la classe, variables auxquelles s'ajoute le rôle de l'erreur, ainsi qu'une quatrième variable liée à la dimension épistémologique. Il s'agit de la comparaison entre l'apprentissage des savoirs transversaux liés à la démarche expérimentale en mathématiques et les savoirs liés

[26] B7. 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 dans la résolution d'un problème mathématique. B8. 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. C1. Pour pouvoir apprendre, l'élève doit disposer le plus rapidement possible d'un cours clair et simple.

[27] B1. Un bon enseignement de mathématiques doit commencer par une réflexion autour d'une question problématique pour l'élève. B3. Un bon enseignement de mathématiques est construit à partir de problèmes à résoudre.

[28] B4. Un bon enseignement de mathématiques doit débuter par l'exposé clair de ce que l'élève doit retenir.
C2. En classe les choses doivent être organisées de telle façon que les élèves fassent le moins d'erreurs possible.

davantage aux concepts mathématiques eux-mêmes. Nous nous référons à la définition que nous avons donnée de l'activité mathématique en classe. Apprendre des mathématiques, c'est avant tout apprendre à reconnaître la vérité et l'explication de cette vérité, ce qui passe par la reconnaissance du faux et des raisons du faux, la pertinence d'une stratégie ou son inadéquation, et les raisons. Ceci est plus important que l'apprentissage d'une liste de contenus et ne peut se faire si l'on ne laisse pas l'élève pratiquer une démarche d'investigation, si l'on ne tient pas compte de ses conceptions. Cette conception, notée APPRaisVF, correspond à une valeur strictement positive accordée aux items[29] C4, C12, C16, et une valeur strictement négative accordée aux items[30] C1, C10. Une autre conception, notée APPCum, consiste à voir l'apprentissage des mathématiques comme une accumulation de connaissances, qui permettent de résoudre des exercices : elle est relevée à partir d'un code strictement positif attribué à C1, C2, C7, C10[31], C13 et strictement négatif pour C4 et C12[32]. Par rapport à la prise en compte des conceptions initiales des élèves et au rôle constructif de l'erreur dans l'apprentissage, nous définissons la conception globale APPErr+ par l'association de valeurs strictement positives affectées aux items[33] B11, B18, C3 et C5 et de valeurs strictement négatives attribuées aux affirmations[34] C6, C14 et C17. Enfin, la conception

[29] C4. Les élèves font des mathématiques s'ils sont en recherche de la vérité et d'une explication de cette vérité ; ceci est plus important que l'apprentissage de contenus. C12. Les élèves font des mathématiques s'ils reconnaissent le faux et les raisons du faux ; ceci est plus important que l'apprentissage de définitions et propriétés. C16. Les élèves font des mathématiques s'ils reconnaissent, sans aide, la pertinence d'une stratégie ou son inadéquation, ainsi que les raisons de la pertinence ou de l'inadéquation.

[30] C1. Pour pouvoir apprendre, l'élève doit disposer le plus rapidement possible d'un cours clair et simple. C10. Il est préférable de décomposer un problème trop complexe en plusieurs questions simples.

[31] C2. En classe les choses doivent être organisées de telle façon que les élèves fassent le moins d'erreurs possible. C7. La meilleure méthode pour faire disparaître les erreurs consiste à multiplier le nombre des exercices d'application.
C10. Il est préférable de décomposer un problème trop complexe en plusieurs questions simples. C13. L'apprentissage se construit par l'atteinte progressive d'objectifs opérationnels, clairs et précis, sur lesquels l'élève s'est entraîné en résolvant notamment de petits exercices adaptés.

[32] C4. Les élèves font des mathématiques s'ils sont en recherche de la vérité et d'une explication de cette vérité ; ceci est plus important que l'apprentissage de contenus. C12. Les élèves font des mathématiques s'ils reconnaissent le faux et les raisons du faux ; ceci est plus important que l'apprentissage de définitions et propriétés.

[33] B11. Un bon enseignement de mathématiques doit toujours partir des idées que les élèves ont sur la question qui va être traitée et les prendre en compte. B18. Les erreurs des élèves constituent des informations précieuses que l'enseignant doit utiliser dans l'élaboration de son dispositif pédagogique. C3. L'erreur est constitutive du processus de construction de connaissances. C5. En mathématiques une activité déterminante pour l'élève est d'apprendre à identifier et rectifier lui-même ses erreurs.

[34] C6. C'est juste ou c'est faux : il y a toujours une vérité à laquelle il faut souscrire, c'est pourquoi l'erreur doit être sanctionnée.

de l'erreur comme un dysfonctionnement est résumée par APPErr– qui correspond à une valeur strictement positive affectée à chacune des affirmations C2, C6, C14 et C17 et une valeur strictement négative à C3.

Conception	*Valeur strictement positive aux items*	*Valeur strictement négative aux items*
APPRaisVF	*C4, C12, C16*	*C1, C10*
APPCum	*C1, C2, C7, C10, C13*	*C4, C12,*
APPErr+	*B11, C3, C5, B18*	*C6, C14, C17*
APPErr–	*C2, C6, C14, C17*	*C3*

Tableau 3 : : Des conceptions relatives à l'apprentissage relevées dans le questionnaire

Outre ces conceptions, nous proposons un autre axe de la méthodologie. fondé sur trois indicateurs, relatifs à chacune des affirmations (Darley 1994). L'un, noté ST, est constitué par la somme algébrique des réponses, convertie en pourcentage de la somme maximale possible, compte tenu de la taille de l'échantillon (obtenue si chaque personne de l'échantillon attribuait +2 à l'item), si le score total est positif ; sinon, cette somme algébrique (qui est négative) est convertie en pourcentage de la somme minimale possible (obtenue si chaque personne de l'échantillon attribuait –2 à l'item). Le second indicateur, correspondant à chacune des affirmations, se décompose en deux : d'une part, la fréquence, en pourcentage, des réponses strictement positives (notée P), d'autre part, la fréquence des réponses strictement négatives (notée N). Ces trois indicateurs associés permettent de préciser, pour chaque affirmation, l'adhésion ou le rejet de la part des individus de l'échantillon. Par exemple, pour un item donné, si une valeur moyenne (positive) du premier indicateur, par exemple, ST = 52 %, est associée à une fréquence élevée des réponses positives, par exemple, P = 80 %, on conclura que l'accord global de l'échantillon par rapport à cette affirmation est assez réservé. Par contre, un pourcentage faible représentant le score total d'un item, par exemple, ST = 1%, associé à des fréquences de réponses strictement positives (par exemple, P = 20 %) et strictement négatives très différentes (par exemple, N = 50 %) signifiera que l'échantillon est composé d'un groupe de personnes, tout à fait d'accord avec l'item, et d'une majorité qui a un avis partagé.

V. Les résultats obtenus

Nous avons procédé à deux recueils de données par le questionnaire présenté , l'un à l'issue des deux premiers mois de formation, l'autre en fin de formation, sur un échantillon de 32 stagiaires en sciences expérimentales (13 en sciences-physiques et 21 en sciences de la vie et de la Terre) et 44 stagiaires en mathématiques. Cette population en mathématiques a connu quelques légères modifications entre les deux moments des questionnaires (absences, congés…).

C14. L'erreur est de toute évidence un obstacle à l'apprentissage.
C17. Pour un apprentissage efficace, il est nécessaire que l'enseignant rectifie les erreurs des élèves le plus rapidement possible.

Nous ne présentons ici que quelques résultats associés à la première partie de la méthodologie présentée. D'autres résultats seront exposés lors de l'atelier.
Les résultats concernant le premier questionnaire (voir le tableau 4) montrent que certaines conceptions n'apparaissent pas du tout ou de façon très marginale. Nous avons alors redéfini certaines d'entre elles en les « affaiblissant ». Le seul fait d'enlever une contrainte permet de changer considérablement l'effectif relatif à la conception. Il en est ainsi de la conception concernant l'implication de l'outil informatique dans les mathématiques dont l'effectif passe de 2 (pour la conception INFO) à 17 pour la conception notée INFOf, qui se différencie de la précédente par le seul abandon de l'item A9[35], le rejet de celui-ci n'étant d'ailleurs pas nécessairement contradictoire avec la reconnaissance de l'impact de l'informatique dans la pratique mathématique.

	Questionnaire 1 Effectif sur 43	*Questionnaire 2 Effectif sur 44*	*Redéfinition de certaines conceptions : en éliminant*
Epistémologie			
EXP	*1*	*5*	
EXPf[36]	*18*	*25*	*A11>0, A8<0, A12<0, B2<0 :*
FTH	*0*	*0*	
FTHf[37]	*7*	*11*	*A6>0 , A9>0 et tous les « items négatifs »*
INFO	*2*	*11*	
INFOf[38]	*17*	*24*	*A9<0*
Enseignement			
ENSPb	*0*	*4*	
ENSPbf	*8*	*10*	*t*[39] *B8<0, C1<0 et C8<0*
ENSSoResp	*3*	*6*	

35 A9. Les outils du mathématicien sont théoriques et non pas techniques.

36 Acceptation des items : A1. Face à un problème, le mathématicien procède à une suite de tâtonnements, calculs, études d'exemples, d'où finissent par émerger des formulations d'énoncés permettant une compréhension de la situation, de conjectures. A4. L'expérimentation en mathématiques peut ouvrir la voie vers de nouveaux domaines, de nouvelles conjectures. A7. L'échec d'une tentative de preuve peut amener à une modification d'une conjecture, voire de l'expérimentation elle-même. A10. L'expérimentation mise en place pour cerner une question mathématique peut déboucher sur des résultats inattendus, qui conduisent à s'interroger sur d'autres résultats.
Rejet de l'item A6. L'expérimentation n'a pas sa place dans le travail du mathématicien.

37 Rejet d'aucun item et acceptation des items : A2. Faire des mathématiques consiste à traiter des objets abstraits à l'aide de théorèmes et de règles clairement établis. A3. La preuve formelle est le seul moyen que possède le mathématicien pour se convaincre de la vérité d'un résultat. A8. L'activité essentielle du mathématicien est la preuve de résultats qui mettent en jeu des concepts abstraits.

38 En éliminant A9. Les outils du mathématicien sont théoriques et non pas techniques.

39 En éliminant les valeurs strictement négatives attribuées à : B8. Un bon enseignement de mathématiques doit débuter par l'exposé clair de ce que l'élève doit retenir. C1. Pour pouvoir apprendre, l'élève doit disposer le plus rapidement possible d'un cours bien structuré. C8. Pratiquer la démarche d'investigation en classe permet aux élèves de construire de nouvelles connaissances, activement, en passant par une phase d'expérimentation.

ENSSoRespf[40]	*23*	*33*	*B11>0, B15>0, B13<0, B17<0, C1<0*
ENSCrsStruc	*0*	*0*	
ENSObjReu	*0*	*0*	
Apprentissage			
APPRaisVF	*2*	*2*	
APPCum	*0*	*0*	
APPErr+	*9*	*8*	
APPErr-	*0*	*0*	

Tableau 4 : Evolution des conceptions des professeurs stagiaires au cours de la formation

Il faut rappeler que le premier questionnaire a été posé deux mois après la rentrée, au cours desquels les professeurs stagiaires ont reçu une formation assez importante sur le plan informatique. Ceci peut expliquer l'évolution sur le plan épistémologique, qui s'est poursuivie au long de l'année. Toujours sur le plan épistémologique, la conception EXP, présente chez un seul individu de l'échantillon, est redéfinie en EXPf, qui compte alors 18 individus. De même la conception FTH (effectif nul) évolue en FTHf (effectif de 7) qui n'est pas contradictoire avec l'intégration d'une dimension expérimentale en mathématiques. En fin de formation, sur le plan épistémologique, plus de la moitié des enseignants stagiaires (25/44) reconnaissent la présence de l'expérimentation en mathématiques et l'importance de l'outil informatique dans la pratique des mathématiques (24/44). Nous pensons que la croissance reconnue à cette dimension expérimentale en mathématiques est liée à la formation proposée, en ce sens que celle-ci a mis fortement l'accent sur l'importance de l'activité mathématique de l'élève comme elle est décrite au début de cet article. Les visites que nous avons effectuées dans les classes des professeurs stagiaires dont nous assurions le suivi (9 sur les 44) nous confortent dans cette idée qu'ils étaient particulièrement attentifs à ce point, même s'ils avaient des difficultés à le mettre en œuvre. Il apparaît ainsi que la formation sur la pratique de classe permettrait de modifier les conceptions sur le plan épistémologique, les seules à notre sens, susceptibles de faire évoluer durablement celles qui concernent l'enseignement et l'apprentissage.

Cette évolution est nette concernant l'épistémologie, plus atténuée concernant l'enseignement, même si l'on regarde les conceptions telles qu'elles étaient définies au départ. La conception du cours comme lieu de résolution de problèmes progresse lentement. Nous analysons cette lenteur par rapport aux dimensions sociales et institutionnelles du métier d'enseignant, comme nous l'avons déjà signalé. Une autre raison est la difficulté pour le professeur débutant de trouver de *bons* problèmes. Par contre 33 enseignants sur 44 reconnaissent qu'il faut accorder une place à l'interaction sociale, au débat scientifique et qu'il faut faire la dévolution à la classe d'une responsabilité scientifique. Ce changement formulé au niveau des pratiques est, à notre sens, lié aux éléments de formation sur la preuve, sur le débat scientifique. Ces résultats

[40] Cette conception « affaiblie » correspond alors à l'acceptation des items : B10. L'enseignement des mathématiques doit faire une place importante au débat entre les élèves, à partir de conjectures à valider ou à réfuter. B16. Un bon enseignement de mathématiques doit favoriser la responsabilité scientifique de l'élève, qui doit pouvoir se prononcer sur le vrai et le faux.
Et au rejet du seul item C2. En classe les choses doivent être organisées de telle façon que les élèves fassent le moins d'erreurs possible.

rejoignent l'impression que nous avons de cette évolution au regard des visites effectuées dans les classes des stagiaires et des entretiens qui ont suivi, mais aussi des présentations de certains mémoires professionnels.
Enfin les résultats sont stables sur le plan de l'apprentissage. Nous attendons davantage d'éléments par rapport à l'apprentissage en examinant les résultats item par item, conformément à la deuxième partie de la méthodologie. Nous en présenterons lors de l'atelier.

Bibliographie

ARSAC. G., GERMAIN G. & MANTE M. (1991), *Problème ouvert et situation-problème*, éd. IREM de Lyon BROUSSEAU, G. (1986), Fondements et méthodes de la Didactique des mathématiques, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 7/2, éd. La Pensée Sauvage, 33-115.

BLOCH, I. (2009), Les interactions mathématiques entre professeurs et élèves. Comment travailler leur pertinence en formation ?, *Petit x* n°81, éd. IREM de Grenoble, 25-53.

BROUSSEAU, G. (1998), *Théorie des Situations Didactiques*, éd. La Pensée Sauvage.

BROUSSEAU G. (2005), Réponses écrites aux questions à Guy Brousseau, Sur la théorie des situations didactiques, Questions, réponses, ouvertures, Hommage à Guy Brousseau, éd. La Pensée Sauvage

CESAME (2005) (CESAME : groupe constitué de SACKUR, C., ASSUDE, T., MAUREL, M., DROUHARD, J.-P. & PAQUELIER, Y.), L'expérience de la nécessité épistémique, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 25/1, éd. La Pensée Sauvage, 57-90.
DELAHAYE, J.-P. (2005), Mathématiques expérimentales, *Pour la science*, n°331, 90-95.
DIAS, T. (2004), Le recours à l'expérience dans la construction des connaissances mathématiques, Mémoire de DEA Construction des savoirs scientifiques, Université Lyon 1.

DOUADY, R. (1986), Jeux de cadres et dialectique outil-objet, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 7.2, éd. La Pensée Sauvage, Grenoble, 5-31.

GANDIT, M. (2004), Preuve ou démonstration, un thème pour la formation des enseignants de mathématiques, *Petit x n*°65 (première partie) et *Petit x* n°66 (deuxième partie)

GANDIT, M. & MASSE-DEMONGEOT, M.-C. (1996), Le vrai et le faux au collège et au lycée, IREM de Grenoble.

GRANGEAT, M. (2009), Présentation du projet S-TEAM, http://iufm.ujf-grenoble.fr/index.php/component/content/article/188.html

GRENIER, D. & PAYAN, C. (2002), Situations de recherche en « classe », essai de caractérisation et proposition de modélisation, *Les cahiers du séminaire national de recherche en didactique des mathématiques*, éd. IREM de Paris 7.

IGEN (Inspection Générale de l'Education Nationale) (2009), L'expérimentation d'une épreuve pratique de Mathématiques au baccalauréat de la série S, Rapport à Monsieur le ministre de l'Education nationale, n°2009-085.

INRP (2007), Démarche expérimentale et apprentissages mathématiques, Les dossiers de la veille.

INRP/ADIREM (2003), *Evaluation et développement de dispositifs d'enseignement en mathématiques*, Rapports de synthèse des équipes engagées dans la recherche, éd. IREM de Clermont-Ferrand.

KAHANE, J.-P., Rapport de la commission de réflexion sur l'enseignement des mathématiques au ministre de l'Education nationale.

LAKATOS I. (1976), *Proofs and Refutations, the Logic of Mathematical Discovery*, Cambridge University Press. Traduction française (1985) : Preuves et réfutations, éd. Hermann.

LEGRAND, M. (1990), Rationalité et démonstration mathématiques, le rapport de la classe à une communauté scientifique, *Recherches en Didactique des Mathématiques* vol. 9/3, éd. La Pensée Sauvage, Grenoble, 365-406.

LEGRAND, M. (1993), La problématique des situations fondamentales, *Cours à l'Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques*.

LEGRAND, M. (1993), Débat scientifique en cours de mathématiques et spécificité de l'analyse, *Repères-IREM* n°10, éd. Topiques, 123-159.

LEROUX, L. & LECORRE, T. (2008), Le "Débat scientifique" en classe, Plot n°19, APMEP

POMBOURG, P. & LACAGE, M. (2007), Problèmes ouverts et narrations de recherche au lycée, Plot n° 17, APMEP

ROBERT, A. (2005), De 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*, vol. 10, éd. IREM de Strasbourg, 209-249.

ROBERT, A. (2008), La double approche didactique et ergonomique pour l'analyse des pratiques d'enseignants de mathématiques, *La classe de mathématiques : activités des élèves et pratiques des enseignants*, 59-68, éd. Octares.

ROBERT, A. (2008), Le cadre général de nos recherches en didactique des mathématiques, *La classe de mathématiques : activités des élèves et pratiques des enseignants*, p. 11-22, éd. Octares.

ROBERT A. & ROGALSKI M. (2002), Comment peuvent varier les activités mathématiques des élèves sur des exercices ? Le double travail de l'enseignant sur les énoncés et sur la gestion en classe, *Petit x*, n°60, éd. IREM de Grenoble, 6-35.

ROCARD, M. Rapport sur l'enseignement des sciences à l'école en Europe : http://ec.europa.eu/research/science-society

SAUTER, M. (2000), Formation de l'esprit scientifique avec les narrations de recherche au cycle central du collège, Repères-IREM n°39.

SACKUR C., DROUHARD J.P., MAUREL M. & PECAL M. (1997), Comment recueillir des connaissances cachées en algèbre et qu'en faire ?, *Repères-IREM*, n°28, éd. Topiques, 37-68.

TRIQUET, E. & GUILLAUD, J.-C. (2010), Démarches scientifiques et démarches d'investigation : point de vue d'enseignants stagiaires de l'IUFM , à paraître dans les actes des journées S-TEAM, éd. INRP.

Bulletins officiels de l'Education nationale

B.O. n°1, du 4 janvier 2007, Cahier des charges de la formation des maîtres en Instituts Universitaires de la Formation des Maîtres, http://www.education.gouv.fr/bo/2007/1/MENS0603181A.htm

B.O. spécial n°6, du 28 août 2008, Programmes des collèges.