

**DEMARCHES SCIENTIFIQUES, DEMARCHES D'INVESTIGATION
EN SCIENCES EXPERIMENTALES ET EN MATHÉMATIQUES :
REPRESENTATIONS D'ENSEIGNANTS STAGIAIRES DE L'IUFM**

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

* Université Joseph Fourier-Grenoble 1
IUFM de Grenoble & Maths à modeler,
30 avenue Marcelin Berthelot,
38 100 Grenoble,
michele.gandit@ac-grenoble.fr
jean-claude.guillaud@ujf-grenoble.fr

** Université Joseph Fourier-Grenoble 1et LEPS Université de Lyon
IUFM de Grenoble-Université, 30 avenue Marcelin Berthelot, 38 100 Grenoble
eric.triquet@ujf-grenoble.fr

Mots clés : Démarche d'investigation – Formation des enseignants – Epistémologie – Représentations – Enseignement-apprentissage

Résumé. La recherche présentée s'inscrit dans le projet européen S-TEAM (Science Teacher Education Advanced Methods). Elle a pour objectif d'identifier les représentations de trois groupes d'enseignants stagiaires en formation initiale de sciences physiques, de sciences de la vie et de la Terre et de mathématiques. Trois domaines sont explorés : l'épistémologie de la discipline, son enseignement et son apprentissage par les élèves. Le recueil de données est effectué au moyen d'un questionnaire (Q-Sort), en cours et à l'issue de la formation. La comparaison des données de chaque période vise à mettre en évidence des effets de la formation. Les résultats permettent de dégager des conceptions encore peu stabilisées et en partie contradictoires. Ils invitent à penser une formation en appui avec un référent épistémologique fort, articulant les trois domaines et les contraintes de terrain.

1. Contexte

En France, à la suite du plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école, la démarche d'investigation est présente dans les programmes de collège des disciplines scientifiques (B.O., 2008). C'est ici, comme le souligne Mathé et al. (2008), le modèle *hypothético-déductif* mis en œuvre par le chercheur qui semble constituer la référence première. S'il est précisé que l'investigation peut prendre des formes diverses, l'accent semble bien mis sur la mise à l'épreuve d'hypothèses (en sciences expérimentales) ou de conjectures (en mathématiques) pour laquelle la dimension expérimentale apparaît centrale, même en mathématiques, comme nous allons l'expliciter. Cette focalisation renouvelée sur la démarche d'investigation (DI), notamment montrée comme commune aux sciences expérimentales et aux mathématiques, fait de son développement un enjeu fort de la formation des enseignants. Elle implique, au-delà d'une réflexion sur les pratiques à mettre en œuvre, un travail sur les représentations des formés au sujet de cette démarche, d'une part sur le plan épistémologique, d'autre part sur le plan didactique.

Notre étude vise à repérer les représentations des enseignants stagiaires de trois disciplines : sciences de la vie et de la Terre, sciences physiques et chimiques, mathématiques. Nous procédons à un recueil de données par questionnaire (Q-Sort) à l'issue des deux premiers mois de formation

et au terme de celle-ci. La comparaison des données recueillies doit nous permettre de repérer des effets de la formation proposée.

2. Cadre de référence

2.1 Regards épistémologiques sur la démarche scientifique en sciences expérimentales

On peut, de façon rapide, dégager deux grands types d'approches : la première est centrée sur l'induction, *les démarches inductives*, la seconde sur la déduction, *les démarches déductives*.

Dans le cadre inductiviste, c'est l'observation qui est première et le réel est *source du savoir*. L'approche consiste à observer ce dernier pour en tirer – par induction donc – les lois qui le régissent. Outre qu'elle sous-entend que ces lois existent *a priori*, elle implique la répétition d'un nombre sans fin d'observations. Le problème scientifique est ici 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, il importe de souligner qu'elle a été la cible de nombreuses critiques, notamment des épistémologues. Popper (1963), mais aussi Chalmers (1976) et Bachelard (1938) dénie toute valeur opératoire à l'induction comme démarche de construction du savoir scientifique. Popper, pour ne retenir que le plus virulent, avance ici divers arguments. En premier lieu il dénonce l'absence de tout fondement au principe d'une inférence basée sur la multiplicité des observations. L'induction, assène-t-il, est un « mythe », elle « n'est ni une donnée psychologique, ni un fait de la vie courante, ni un phénomène propre à la démarche scientifique » (Popper, 1963). En contrepoint il met en avant comme critère de scientificité de tout énoncé scientifique, le critère de sa réfutabilité, central dans son approche. Pour lui un énoncé universel comme une loi ne pourra jamais être *vérifiable* empiriquement devant l'impossibilité de tester tous les cas. Enfin, avec Khun (1970), Popper ajoute un critère d'ordre social, celui de l'*intersubjectivité*, entendu comme fruit de la confrontation entre représentations, points de vue, arguments de plusieurs chercheurs. Il introduit ici la notion de débat public au sein même de la communauté scientifique comme condition du fonctionnement de la production scientifique.

En ce qui concerne les *démarches déductives*, ce sont les données théoriques qui sont premières et le réel est objet de confrontation avec le savoir (et non plus source du savoir). Les lois ne renvoient plus à des entités à découvrir, mais bien à des constructions humaines, imparfaites et nécessairement teintées d'une forme de subjectivité. Mais la clé de voûte des nouvelles méthodes déductives qui vont voir le jour est la conjecture ou l'hypothèse. Claude Bernard (1865) affirme que la méthode expérimentale, en tant que méthode scientifique repose tout entière sur la vérification expérimentale d'une hypothèse scientifique. Si le mot de *vérification* est ici quelque peu malheureux, l'importance de l'hypothèse est en revanche bien affirmée. Il s'agit là d'une hypothèse qui 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. L'autre point important est que le test de l'hypothèse n'est pas nécessairement expérimental. Comme le note Cariou (2002), c'est la soumission de l'hypothèse au réel ou à défaut à un substitut du réel qui est déterminante dans cette démarche et le qualificatif de *scientifique* qui peut lui être attribué sous-entend *hypothético-déductif*. L'autre élément à prendre en considération est le *problème* dont la place et le statut sont également reconsidérés. Il ne naît plus de la seule perspicacité du scientifique face à ses observations, mais bien d'un travail d'élaboration théorique au départ et tout au long de la démarche. En outre, il en constitue le principal moteur et l'axe qui oriente toutes les autres étapes.

2.2 Un point de vue épistémologique sur la démarche scientifique en mathématiques

En mathématiques, nous n'opposons pas démarche inductive et démarche déductive en ce sens que *induction* (Grenier & Payan, 1998) et *déduction* interfèrent dans la pratique mathématicienne. Si l'on veut expliciter rapidement ce que signifie l'expression *faire des mathématiques*, on dira qu'il

s'agit de poser et résoudre des problèmes, qui émergent à partir d'une situation, de nature mathématique ou mathématisable. Face à une telle situation, une méthode d'investigation systématique, que Perrin (2007), mathématicien contemporain, appelle *méthode expérimentale*, 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... ». Il n'hésite pas à dire que « les mathématiques sont aussi une science expérimentale et une science d'observation. ». Cependant, il existe une différence fondamentale entre les mathématiques et les sciences dites usuellement expérimentales, c'est la validation, qui, en mathématiques, reste la démonstration (ou preuve). Celle-ci, Poincaré (1908), l'un des plus grands mathématiciens de la première moitié du vingtième siècle, la qualifie, comme C. Bernard, de *vérification*. Il met en avant que la résolution d'un problème passe par les trois phases incontournables que sont la maturation, phase de travail sur le problème, puis la découverte, résultat d'une inspiration ou d'une intuition, enfin la vérification, soit l'élaboration de la démonstration. L'expérimentation est largement présente en mathématiques : Andler (2005) lui accorde une part de 90 % de l'activité du mathématicien, le reste revenant à la démonstration. Elle procède souvent du même protocole : on étudie d'abord un cas particulier bien choisi du problème général, avec l'idée d'y découvrir ce qu'il y a de généralisable, on examine un exemple non trivial qu'au premier abord on ne comprend pas complètement. Il ne s'agit évidemment pas de tenir pour vérité mathématique ce qu'on obtient de cette expérimentation, ni de généraliser à partir de l'examen de quelques cas — Guitart (1999) parle d'*induction mondaine* — mais bien plutôt de découvrir un exemple générique, qui permette de comprendre comment les mécanismes observés peuvent s'étendre au cas général. Cette découverte d'un *exemple générique* est nécessairement précédée d'une « expérimentation sauvage », dont Guitart (1999) revendique l'importance dans la pratique scientifique, tout en ajoutant que cela « s'entend avec la réserve que cette expérimentation soit sous condition différée d'une ressaisie en rigueur. ». Enfin même s'il s'agit d'expérience, celle-ci peut rester complètement dans le domaine théorique (papier et crayon suffisent) ou bien recourir à l'utilisation de l'informatique ou autre matériel technologique. Dans tous les cas, il s'agit d'aboutir à la formulation d'une conjecture, qui, même si elle se révèle fausse, permet d'avancer sur le problème (*maturation* du problème, selon Poincaré).

2.3 *La transposition en classe de la démarche scientifique*

Des travaux déjà anciens, portant sur la mise en œuvre d'une investigation scientifique en classe dans les disciplines expérimentales (Johsua, 1989 ; Darley, 1994, Nott, 1996 ; Coquidé et al., 1999), montrent que c'est souvent une démarche extrêmement linéaire et formelle qui est proposée aux élèves. Ils relèvent en outre que les activités proposées conduisent à des généralisations hâtives, construites selon une approche empirique et inductive. La démarche scientifique apparaît appréhendée par les enseignants comme un outil permettant d'enseigner – avant tout – des résultats de la science (Schneeberger, Rodriguez, 1999). Sa mise en œuvre dans les activités pratiques scolaires sous une forme épurée, voire réductrice, conduit dès lors à donner une image déformée du travail de recherche, mais aussi évacue tout questionnement à son sujet et sur la nature des savoirs scientifiques. Des études mettent en cause les représentations des enseignants, lesquelles seraient fondées sur des modèles épistémologiques proches du sens commun (Lakin et Wellington, 1994 ; Roletto, 1998, Abd-El-Khalick et Lederman, 2000). La plupart des analyses décrivent en fait les enseignants comme plutôt *réalistes* et *naturalisants* (Désautel, 1989 ; Darley, 1994 ; Robardet, 1995).

En mathématiques, malgré des libellés des programmes français qui mettent en avant la pratique d'une démarche expérimentale en classe et l'apprentissage par la résolution de problèmes, la pratique mathématique effective de l'élève en classe reste très modeste, pour ne pas dire inexistante. Concernant la *preuve*, un des éléments essentiels de la DI en mathématiques, on note (Gandit, 2008) un décalage important entre la preuve en mathématiques et la preuve telle qu'elle vit en classe, son apprentissage se réduisant à celui de savoir faire des exercices d'écriture formelle. Par ailleurs, l'introduction en mathématiques d'une démarche expérimentale vient

essentiellement de fortes pressions extérieures à l'École. Elle est encore accueillie avec réticence par beaucoup d'enseignants qui ne reconnaissent plus leur discipline telle qu'ils l'ont apprise. 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 actuellement¹ 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, 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 l'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 la pratique de la démarche scientifique. Les élèves ne peuvent avoir réellement accès à cette pratique, 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. 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.

3. Méthodologie

Notre étude sur les représentations d'enseignants débutants concerne trois domaines. Le premier relève de l'épistémologie propre à la discipline, le second concerne son enseignement, le troisième l'apprentissage. C'est plus particulièrement l'évolution de ces représentations au cours de l'année de formation professionnelle à l'IUFM de Grenoble qui nous intéresse. Le but est de pouvoir repérer, au terme de l'étude, des effets possibles produits par deux types de modules de formation : d'une part, les modules disciplinaires en rapport avec les démarches d'investigation, d'autre part, les séminaires d'analyse de pratique, les uns proposés par les formateurs disciplinaires, les autres par les formateurs des *Sciences de l'éducation*. Pour ce travail, nous utilisons un questionnaire de type Q-Sort comprenant une soixantaine d'items. Ceux-ci se présentent sous la forme d'affirmations (ou items) sur lesquelles le sondé doit se positionner en cochant une parmi cinq cases : +2 signifie *tout à fait d'accord*, +1 correspond à *plutôt d'accord*, 0 à *avis partagé*, -1 à *plutôt pas d'accord* et -2 à *pas du tout d'accord*. Pour construire cet outil nous nous appuyons sur un Q-Sort proposé par Darley (1994) pour étudier les représentations d'enseignants de biologie à propos de la démarche expérimentale et sur celui de Robardet (1995) qui étudiait celles d'enseignants de sciences physiques concernant les sciences, leur enseignement et l'apprentissage. En sciences expérimentales, nous actualisons ces questionnaires au moyen d'ajouts, de suppressions et de reformulations de certaines questions, de manière à faire explicitement référence à la démarche d'investigation. En mathématiques, nous modifions la plupart des items, surtout dans la partie relative à l'épistémologie, assez différente de celle des sciences expérimentales, en fonction du cadre de référence déjà cité et précisé ci-dessous.

Sur le plan épistémologique, nous définissons — *a priori* — en mathématiques et en sciences expérimentales, deux conceptions *antagonistes*. Nous postulons en effet qu'il peut exister des adhésions et des rejets d'items qui, lorsqu'ils sont effectués de manière simultanée, témoignent ensemble d'une conception forte. Nous regroupons ainsi des items (10 en sciences expérimentales, 12 en mathématiques) qui caractérisent ensemble une même conception (certains acceptés, les autres rejetés). Par rapport à chacune de ces deux conceptions, *C* et *C'*, nous évaluons comment se situe chacun des professeurs stagiaires, en début (fin octobre, deux mois tout de même après la rentrée scolaire) et en fin de formation (fin mai). Nous examinons pour cela, dans chaque réponse, le nombre de *contradictions* (les items rejetés, alors qu'ils sont acceptés dans la conception, ou bien acceptés, alors qu'ils ne font pas partie de la conception, mais aussi le nombre d'*adhésions* (les items acceptés dans la conception), enfin le nombre de *non prises de position* (les réponses 0

¹ 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.

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 *C* est rejetée. Elle est acceptée en étant considérée comme *forte*, si le nombre d'adhésions est strictement supérieur à six (en mathématiques) ou cinq (en sciences expérimentales), mais avec au plus trois contradictions (en mathématiques) ou deux (en sciences expérimentales). Avec la même condition que précédemment sur le nombre d'adhésions, elle est acceptée en étant considérée comme *faible*, si, dans le même temps, la réponse comporte plus de trois contradictions. Ces conceptions seront précisées dans le compte-rendu des résultats.

Pour faciliter la comparaison entre les mathématiques et les sciences expérimentales, nous adoptons une méthodologie différente concernant les deux autres domaines, enseignement et apprentissage, où les mêmes items se retrouvent dans les différentes sciences. Nous analysons les résultats obtenus, pour cinq items concernant l'enseignement et trois pour l'apprentissage, en comparant sciences expérimentales et mathématiques. Nous utilisons quatre indicateurs, relatifs à chacune des affirmations (Darley, 1994). L'un, noté *S*, est la somme algébrique des réponses, le deuxième, désigné par *ST*, désigne 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). Le troisième indicateur est la fréquence, en pourcentage, des réponses strictement positives (notée *P*), le quatrième, la fréquence des réponses strictement négatives (notée *N*). Ces trois derniers indicateurs associés à *S* permettent de préciser, pour chaque affirmation, l'adhésion ou le rejet de la part des membres de l'échantillon.

4. Quelques résultats

4.1 Dans le domaine de l'épistémologie

En mathématiques, les deux conceptions étudiées se situent par rapport à la dimension expérimentale. L'une, noté *TH*, signifie qu'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, qui ne voient l'activité mathématique que comme l'art de démontrer formellement des résultats, à partir de propriétés et règles bien établies. L'autre, désignée par *EXP*, traduit l'intégration en mathématiques d'une forte dimension expérimentale, en lien avec la formulation et la validation par la preuve, l'activité de preuve formelle n'étant pas l'activité essentielle du mathématicien. L'utilisation de l'outil informatique ouvre d'autres 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), ce qui est également souligné par la commission de réflexion sur l'enseignement des mathématiques (Kahane, 2002).

Items conformes à <i>EXP</i> et en opposition avec <i>TH</i>	<ul style="list-style-type: none"> * 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. * L'expérimentation en mathématiques peut ouvrir la voie vers de nouveaux domaines, de nouvelles conjectures. * L'échec d'une tentative de preuve peut amener à mieux tester la solidité d'une conjecture née de l'expérimentation. * L'échec d'une tentative de preuve peut amener à une modification d'une conjecture, voire de l'expérimentation elle-même. * 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. * L'ordinateur permet, par sa puissance de calcul, d'aborder certains concepts sous un jour nouveau.
--	---

	<ul style="list-style-type: none"> * La plupart des problèmes de la vie courante ne sont pas naturellement mathématiques, mais ils peuvent, par modélisation, induire des questionnements essentiellement mathématiques.
Items conformes à TH et en opposition avec EXP	<ul style="list-style-type: none"> * Faire des mathématiques consiste à traiter des objets abstraits à l'aide de théorèmes et de règles clairement établis. * La preuve formelle est le seul moyen que possède le mathématicien pour se convaincre de la vérité d'un résultat. * L'expérimentation n'a pas sa place dans le travail du mathématicien. * L'activité essentielle du mathématicien est la preuve de résultats qui mettent en jeu des concepts abstraits. * Les outils du mathématicien sont théoriques et non pas techniques. * La puissance de calcul des machines ne facilite pas l'accès à de nouveaux concepts mathématiques, qui relèvent essentiellement du domaine théorique. * La résolution des questions mathématiques n'apporte pas de réponse aux problèmes de la vie courante.

Tableau 1 : Définition des conceptions à partir des items du questionnaire

En mathématiques, les échantillons étant de tailles 43, puis 44, on retrouve la conception *EXP forte* chez 53% des stagiaires en début de formation, puis 55% en fin de formation. Elle évolue, en tant que conception *faible*, de 5% à 14% des enseignants. Cette conception n'est rejetée par aucune en début et une personne en fin de formation. Quant à la conception *TH*, aucun stagiaire ne la manifeste de manière *forte* fin octobre, un seul en mai, aucun enseignant ne la révèle de façon *faible*, ni en début, ni en fin de formation, elle est rejetée par 65% des professeurs en début de formation et 68% à la fin. Nous notons ainsi peu d'évolution entre les deux moments de saisie des données. Nous faisons l'hypothèse que, si une évolution s'est produite, celle-ci a pu avoir lieu entre la rentrée (la formation a débuté fin août) et la fin octobre. A ce moment-là en effet, toute la formation sur le plan des TICE a déjà été effectuée, celle-ci ayant un lien très étroit avec la reconnaissance de la dimension expérimentale en mathématiques. En nous référant plus particulièrement à l'un des items, nous signalons plus particulièrement que, si, dès le début de la formation, les avis des stagiaires sont très partagés concernant l'impact de l'informatique sur la découverte en mathématiques, celui-ci est plus nettement reconnu en fin de formation.

En sciences expérimentales, nous reprenons les deux conceptions contradictoires définies par Chalmers (1987) au regard du statut accordé aux faits d'observation d'une part, aux théories d'autre part. Pour l'une, *Observation prime (OP)*, les théories résultent de l'observation et/ou de l'expérience première. Pour l'autre *Théorie prime (TP)* l'élaboration de l'expérience et sa mise en œuvre ne peuvent se faire qu'à l'intérieur d'un cadre théorique initial. 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.

Items conformes à OP et en opposition avec TP	<ul style="list-style-type: none"> * Une science expérimentale se construit à partir de faits observés. * Dans la démarche expérimentale, la première phase à mettre en œuvre est celle de l'observation qui permet de découvrir les faits. * Les découvertes scientifiques sont le plus souvent dues à un fait essentiel apparu au hasard. * Un bon chercheur est quelqu'un qui observe d'abord. * La raison nous dit que les lois sont dans la nature et que le rôle de la science est de les mettre en évidence.
Items conformes à TP et en opposition avec OP	<ul style="list-style-type: none"> * C'est un ensemble d'idées <i>a priori</i> qui est à l'origine d'une théorie. * Mettre en place une démarche expérimentale à propos d'un problème à résoudre, c'est partir d'une théorie (ou d'un modèle) puis bâtir une ou des hypothèses que l'on vérifiera expérimentalement. * Le chercheur n'utilise pas les faits pour bâtir sa théorie mais pour la valider.

	<p>* Ce sont les idées <i>a priori</i> du chercheur plus que les faits qui orientent la démarche expérimentale.</p> <p>* Une théorie n'est pas déduite de la réalité, mais construite par le chercheur pour en représenter le fonctionnement.</p>
--	---

Tableau 2 : Définition des conceptions à partir des items du questionnaire

En sciences expérimentales, la fréquence de la conception *OP* évolue, entre octobre (échantillon de 32 personnes) et mai (échantillon de 33 personnes), de 34% à 21% (*OP forte* passant de 22% à 12%) ; cette conception est rejetée de façon quasi constante par 9% des stagiaires. Le pourcentage d'enseignants favorables à la conception *TP* stagne à 9%, mais elle est rejetée par 34% des enseignants en début de formation et par seulement 21% en fin de formation. On pourrait conclure ici qu'il y a 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 professionnelle produit peu d'effet. Deux points sont à prendre en considération : la faiblesse des apports épistémologiques, la concurrence avec des pratiques d'enseignement, au sein même des établissements, qui demeurent largement inductives. Enfin, l'absence d'une expérience de recherche, chez la plupart des futurs enseignants, pèse inévitablement dès lors qu'il s'agit de définir les modes d'élaboration des savoirs scientifiques.

4.2 Dans le domaine de l'enseignement des sciences

En nous centrant seulement sur certains items (voir en annexe), communs aux mathématiques et aux sciences expérimentales², nous privilégions trois aspects caractéristiques des démarches d'investigation : la place d'un questionnement initial, la mise en place d'un débat et la prise en compte des idées (conceptions) des élèves. Sur ces deux aspects, conceptions et débat, il apparaît (voir en annexe) un positionnement conforme aux exigences de la mise en œuvre d'une DI, un peu plus marqué en sciences expérimentales qu'en mathématiques, mais qui finalement évolue peu au fil de l'année. On fait 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 recouvre pour les sondés (enseignants débutants) les termes de *débat* et de *conception*.

Concernant la place première du questionnement initial, les résultats montrent que les stagiaires sont majoritairement favorables, mais, étonnamment on note peu d'évolution au fil de l'année, si ce n'est une évolution inverse des indécis (augmentation en mathématiques et diminution en sciences expérimentales). 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 pour la mise en place de la DI et les *habitudes profondes du milieu* (Robert, 2005) auxquelles ils sont confrontés dans leur établissement. La difficulté à mettre en place cette problématisation, particulièrement en mathématiques, est sans doute aussi à prendre en compte.

Au contraire des deux aspects déjà évoqués en tant que points d'appui pour la mise en œuvre des DI, un autre, fondamental, s'érige en obstacle : l'entrée par la complexité. L'affirmation que *l'enseignement en 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*, rencontre une large adhésion parmi les sondés, particulièrement en sciences expérimentales. L'évolution au fil de l'année est minime en sciences expérimentales, alors qu'en mathématiques, les avis se partagent de façon égale entre ceux qui rejettent cette idée et ceux qui sont d'accord. Pour expliquer qu'on n'observe pas de changement plus radical, alors que l'accent est mis sur ce point en formation, on

² Nous dirons *sciences* pour regrouper les deux.

peut pointer trois facteurs : le *temps didactique* au niveau de la formation, l'établissement de *progressions*³, et, pour les sciences expérimentales, l'existence d'une *hiérarchisation* très forte des objets de savoirs.

4.3 Dans le domaine de l'apprentissage des sciences

On se restreint ici au rôle dévolu à l'erreur dans l'apprentissage. Si les sondés rejettent majoritairement l'item selon lequel, *en classe les choses doivent être organisées de telle façon que les élèves fassent le moins d'erreurs possible*, et acceptent conjointement *qu'en sciences, une activité déterminante pour l'élève est d'apprendre à identifier et rectifier lui-même ses erreurs*, leur positionnement se révèle ambigu par rapport à l'affirmation suivante, qui n'est pas, cette fois, franchement rejetée : *Pour un apprentissage efficace, il est nécessaire que l'enseignant rectifie les erreurs des élèves le plus rapidement possible*. Au départ, les enseignants stagiaires sont majoritairement favorables en sciences expérimentales, puis la tendance s'inverse, avec cependant une augmentation du nombre des indécis. Ceci est observé également en mathématiques où, à l'inverse, les rejets l'emportent très légèrement sur les adhésions au départ. Il nous semble qu'une action spécifique est à mettre en place sur la gestion de l'erreur par l'enseignant si l'on vise la mise en place de démarches d'investigation. Elles supposent en effet – *via* la place qui est donnée aux conceptions et aux obstacles des élèves – d'appréhender l'erreur de façon positive, comme un élément central, non seulement du travail de l'enseignant, mais aussi de celui de l'élève.

5. Conclusion

De façon globale, les résultats sur les stagiaires de mathématiques et de sciences expérimentales se révèlent assez proches, sauf sur le plan épistémologique où les différences peuvent être liées à des spécificités disciplinaires. En sciences expérimentales, la conception *Observation prime* constitue *a priori* un obstacle à la mise en œuvre des démarches d'investigation. En mathématiques, la difficulté réside dans le fait que la dimension expérimentale apparaît encore insuffisamment installée dans les classes. Dans les deux champs disciplinaires, concernant cette fois l'enseignement et l'apprentissage, il y aurait nécessité d'une rupture avec les pratiques habituelles d'enseignement transmissif : pré-formatage des contenus d'enseignement selon une progression allant du simple au complexe, erreur vue comme un dysfonctionnement.

Mais, au-delà, en formation, il importe avant tout nous semble-t-il, de travailler ces trois domaines en interaction et en cohérence avec les exigences liées à la mise en œuvre des démarches d'investigation. Il conviendrait aussi d'y associer d'autres éléments relatifs au métier d'enseignant en train de se construire, davantage liés à l'environnement professionnel, tels qu'on les retrouve dans la démarche théorique de la *Double Approche* (didactique et ergonomique) (Robert, 2008 ; Rogalski, 2008).

6. Références bibliographiques

- Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the littérature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665- 701.
- Andler, M. (2005), 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. (1983). *La formation de l'esprit scientifique*. 1^{ère} éd. 1938, Paris : Vrin.
- Bernard, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Rééd. 1984. Paris : Flammarion.

³ L'idée même de *progression* dans le travail de préparation de l'enseignant intègre celle d'un cheminement du simple vers le complexe.

- Bloch, I. (2009). Les interactions mathématiques entre professeurs et élèves. Comment travailler leur pertinence en formation ? *Petit x*, 81, 25-53.
- Cariou, J.-Y. (2002). La formation de l'esprit scientifique. Trois axes théoriques, un outil pratique : DiPHTeRIC. *Biologie Géologie*, 2, 279-318.
- Chalmers, A. (1988). *Qu'est-ce que la science ?* 1^{ère} éd. 1976. Paris : Ed. La Découverte.
- Coquidé, M., Bourgeois-Victor, P. & Desbeaux-Salviat, B. (1999). Résistance du réel dans les pratiques expérimentales. *Aster*, 27, pp. 57-77.
- Desautels, J. (1989). La formation à l'enseignement des sciences : Le virage épistémologique. *Didaskalia*, 1, 49-67.
- 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.
- 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.
- 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.
- Guitart, R. (1999). *La pulsation mathématique, rigueur et ambiguïté, ce dont il s'agit d'instruire*, Paris : L'Harmattan.
- Johsua, S. & Dupin J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- Kahane, J.-P. (2002). *Rapport de la Commission de Réflexion sur l'Enseignement des Mathématiques*.
- Khun, T. (1970). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion.
- Lakin, S. & Wellington, J., (1994). Who will teach the « nature of science ? Teachers' views of science and their implication for science education. *International Journal of Science Education*, 16(2), 175-190.
- Mathé, S., Meheut, M. & De Hosson, C. (2008). Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? *Didaskalia*, 32, 41-76.
- Nott, M. & Wellington, J. (1996). When the black box springs open : practical work in schools and the nature of science. *I.J.S.E.*, 7, 807-818.
- Perrin, D. (2007). L'expérimentation en mathématiques. *Petit x*, 73, 6-34.
- Poincaré, H. (1908). *L'invention mathématique, Conférence faite à l'Institut Général Psychologique à Paris, au siège de la société* (<http://www.archive.org/stream/linventionmath00poin#page/n1/mode/2up>)
- Popper, K. (1985). *Conjecture et réfutation*. 1^{ère} éd. 1963. Paris : Payot.
- 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 F. Vandebrouck, *La classe de mathématiques : activités des élèves et pratiques des enseignants* (pp. 11-22). Toulouse : Octares.
- Rogalski J. (2008). Le cadre général de la théorie de l'activité. Une perspective de la psychologie ergonomique. In F. Vandebrouck, *La classe de mathématiques : activités des élèves et pratiques des enseignants*, (pp. 23-30). Toulouse : Octares.
- Roletto, E. (1998). La science et les connaissances scientifiques, *Aster*, 26, 11-30.
- Schneeberger & P., Rodriguez, R. (1999). Des lycéens face à une investigation à caractère expérimental en première S. *Aster*, 28, 79-106.

7. Annexes

n°	Formulation de l'item en mathématiques (M.) et en sciences expérimentales (S.)	
1	M.	Un bon enseignement de mathématiques doit commencer par une réflexion autour d'une question problématique pour l'élève.
	S.	Un enseignement scientifique ne doit pas commencer par une expérience mais par une réflexion autour d'une question.
2	M.	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.
	S.	Une bonne méthode à utiliser en séance de T.P. consiste à donner aux élèves une feuille sur laquelle ils trouveront la procédure à suivre ainsi que les consignes concernant les mesures et les travaux à effectuer.
3	M.	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.
	S.	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.
4	M.	L'enseignement des mathématiques doit faire une place importante au débat entre les élèves, à partir de conjectures à valider ou à réfuter.
	S.	L'enseignement scientifique doit faire une place importante au débat entre les élèves à chaque moment de la démarche.
5	M.	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.
	S.	Mettre en œuvre une démarche d'investigation nécessite de toujours partir des idées (éventuellement fausses) que les élèves ont sur la question qui va être traitée et les prendre en compte.

Tableau 3 : Certains items dans le domaine de l'enseignement

item		Questionnaire 1 (fin octobre)				Questionnaire 2 (fin mai)			
		S	ST	P	N	S	ST	P	N
1	M.	44	51%	77%	7%	35	40%	68%	14%
	S.	36	56%	72%	13%	40	61%	88%	3%
2	M.	-4	5%	33%	37%	-28	32%	23%	57%
	S.	-17	27%	19%	50%	-29	44%	12%	67%
3	M.	12	14%	51%	26%	3	3%	41%	41%
	S.	30	47%	69%	9%	25	38%	67%	9%
4	M.	36,5	42%	77%	7%	46	52%	84%	5%
	S.	31	48%	75%	3%	25	38%	61%	9%
5	M.	43	50%	81%	5%	43	50%	81%	5%
	S.	44	69%	97%	0%	41	62%	88%	3%

Tableau 4 : Des résultats dans le domaine de l'enseignement

n°	Formulation de l'item en mathématiques (M.) et en sciences expérimentales (S.)	
1	M.	En classe les choses doivent être organisées de telle façon que les élèves fassent le moins d'erreurs possible.
	S.	En classe les choses doivent être organisées de telle façon que les élèves fassent le moins d'erreurs possible.
2	M.	En mathématiques une activité déterminante pour l'élève est d'apprendre à identifier et rectifier lui-même ses erreurs.
	S.	En sciences une activité déterminante pour l'élève est d'apprendre à identifier et

		rectifier lui-même ses erreurs.
3	M	Pour un apprentissage efficace, il est nécessaire que l'enseignant rectifie les erreurs des élèves le plus rapidement possible.
	S.	Pour un apprentissage efficace il est nécessaire que l'enseignant rectifie les erreurs des élèves le plus rapidement possible.

Tableau 5 : Certains items dans le domaine de l'apprentissage

item		Questionnaire 1 (fin octobre)				Questionnaire 2 (fin mai)			
		<i>S</i>	<i>ST</i>	<i>P</i>	<i>N</i>	<i>S</i>	<i>ST</i>	<i>P</i>	<i>N</i>
1	M.	-54	63%	0%	88%	-62	70%	5%	91%
	S.	-31	48%	3%	63%	-35	53%	6%	73%
2	M.	51	59%	93%	2%	53	60%	89%	0%
	S.	55	86%	100%	0%	52	79%	100%	0%
3	M.	0,5	1%	35%	40%	-5	6%	36%	32%
	S.	17	27%	53%	22%	-1	2%	24%	33%

Tableau 6 : Des résultats dans le domaine de l'apprentissage