
MISE EN OEUVRE DE DEMARCHES D'INVESTIGATION EN MPS ET ROLE DU COLLECTIF

Etude dans le cadre d'un atelier Irem

Chantal TUFFÉRY-ROCHDI
Irem de La Réunion

Résumé : Dans cette contribution, nous questionnons la relation entre la mise en place de l'enseignement d'exploration Méthodes et Pratiques Scientifiques (MPS) et le développement des démarches d'investigation (DI) en nous intéressant plus particulièrement au travail documentaire des enseignants et à l'apport du collectif à ce travail dans le cadre d'un atelier Irem.

1. — Introduction

1.1 *Un premier questionnement après une expérience personnelle*

L'enseignement d'exploration Méthodes et Pratiques Scientifiques (MPS) est apparu en Seconde dans le cadre de la réforme du lycée de 2010. Il présente plusieurs spécificités : il est pluridisciplinaire et conduit à un travail collectif des enseignants de Sciences (Mathématiques, Physique-Chimie, SVT) ; il vise l'acquisition de compétences plutôt que celle de connaissances. Certaines de ces compétences sont transversales et d'autres sont plus spécifiques aux matières

scientifiques comme, en particulier, l'initiation à la démarche scientifique dans le cadre d'un projet. À titre personnel, mon implication dans cet enseignement d'exploration, dès 2010 et pendant deux années consécutives, a été porteuse de développement professionnel, en particulier pour concevoir et soutenir des séances fondées sur des démarches d'investigation (DI) (Tufféry-Rochdi, 2012).

Du point de vue institutionnel, dans les programmes français, la DI est présentée, comme une démarche qui privilégie la construction du savoir par l'élève. Elle s'appuie sur le questionnement des élèves sur le monde réel

(en Sciences expérimentales et en Technologie) et sur la résolution de problèmes (en Mathématiques). Les investigations réalisées avec l'aide du professeur, l'élaboration de réponses et la recherche d'explications ou de justifications débouchent sur l'acquisition de connaissances et de compétences méthodologiques et sur la mise au point de savoir-faire techniques. Une séance d'investigation doit être conclue par des activités de synthèse et de structuration organisées par l'enseignant, à partir des travaux effectués par la classe (BO spécial n°6 du 28 août 2008).

Un canevas en sept étapes est proposé, à titre indicatif, pour guider le travail des enseignants. Ce canevas reprend les moments essentiels de la conception et de la gestion d'une séance fondée sur une DI :

1. Le choix d'une situation-problème.
2. L'appropriation du problème par les élèves.
3. La formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles.
4. L'investigation ou la résolution du problème conduite par les élèves.
5. L'échange argumenté autour des propositions élaborées.
6. L'acquisition et la structuration des connaissances.
7. La mobilisation des connaissances.

Ainsi donnée, la démarche d'investigation repose donc sur une situation-problème, c'est-à-dire sur un problème qui vise l'introduction de connaissances nouvelles par franchissement d'obstacles cognitifs. Néanmoins, il est souvent noté que les séances conçues par les enseignants comme fondées sur des DI sont plus ouvertes que la seule démarche hypothético-déductive basée sur une situation-problème, ce qui pourrait laisser penser que les intentions des auteurs du programme n'ont pas été parfaitement per-

çues par les professeurs (Mathé, De Hosson et Méheut, 2012). Il est aussi possible que les enseignants préfèrent ne pas les suivre.

D'autres institutions s'intéressent aux DI, comme l'équipe de recherche « Maths à modeler », composée majoritairement de chercheurs en mathématiques discrètes et de chercheurs en didactique des mathématiques, qui proposent des situations de recherche à des classes.

Une situation de recherche y est caractérisée de la façon suivante :

- « la situation recherche est issue d'un problème de la recherche actuelle, qui peut comporter une, plusieurs ou aucune solution(s). Par ailleurs, il est proche d'un problème mathématique toujours non résolu entièrement, ce qui amène celui qui tente de le résoudre dans une réelle position de chercheur ;
- le point de départ de la situation recherche est une question facilement compréhensible pour celui à qui elle est posée. Souvent, la question peut être présentée sous forme de jeu aisément abordable par le public, le problème ne demandant pas l'introduction d'un formalisme lourd ;
- les méthodes de résolution ne sont pas désignées *a priori*. Plusieurs stratégies initiales peuvent être mises en œuvre et ne demandent pas nécessairement de prérequis spécifiques ;
- les principaux savoirs visés sont des savoirs liés à la démarche de recherche en mathématiques (conjecture, preuve, contre-exemple, modélisation...) ;
- le domaine conceptuel dans lequel se trouve le problème, même s'il n'est pas familier, est d'un accès simple. Cela permet à celui qui tente de le résoudre de prendre facilement possession du problème, de s'engager dans des essais, des conjectures, des projets de résolution ;

- le problème dont est issue la situation de recherche est ouvert. La résolution (même partielle) de la situation recherche peut amener à se poser de nouvelles questions. » (Pastori, 2013, p.46)

Ces situations de recherche, comme « La roue aux couleurs » ou « Les entrepôts de dynamite », peuvent être considérées comme la transposition pour la classe de l'activité du chercheur en mathématiques : « s'interroger, essayer, tâtonner, observer, raisonner, émettre des conjectures, généraliser, prouver, s'accrocher, imaginer, trouver du plaisir, échanger avec autrui, partager ses découvertes, critiquer, argumenter, etc. » (Gandit, Giroud et Godot, 2011, p.36).

Nous considérons que le dispositif MPS pourrait constituer un cadre favorable pour la mise en œuvre de DI. En effet, les raisons principales données par les professeurs de sciences et de mathématiques qui ne mettent pas en place de telles démarches dans leurs cours disciplinaires sont des effectifs trop nombreux, des séances trop courtes et la contrainte du programme à terminer (Monod-Ansaldi et Prieur, 2011). Or, dans les établissements visités dans le cadre de nos recherches, les séances MPS se déroulent avec des groupes d'effectifs réduits (de 15 à 25 élèves) et sur des plages horaires plus longues (deux heures consécutives). De plus, elles ne sont pas soumises à un programme strict en termes d'acquisition de connaissances et rencontrent la demande institutionnelle d'initier les élèves à la démarche scientifique. Par ailleurs, le groupe « Enseignement Scientifique » de l'Irem de Montpellier poursuit depuis plusieurs années un travail sur la mise en œuvre de démarches d'investigation et sur l'interdisciplinarité, d'abord dans le cadre de l'option « Sciences », rebaptisée option « Démarches et Culture Scientifiques » puis dans celui des MPS. Parmi les ressources produites par ce groupe, on trouve

des fiches de préparation pour la classe et des comptes rendus de séances réalisées avec les élèves (Caussidier et al., 2013).

Nous avons alors mené des observations auprès de professeurs de mathématiques volontaires, lors de séances MPS qu'ils considèrent fondées sur des DI, et nous avons analysé ces séances à partir du modèle ESFI (Enseignement des Sciences Fondé sur les démarches d'Investigation) proposé par Michel Grangeat (2013). Ce modèle permet d'identifier l'activité des enseignants au cours d'une séance fondée sur les DI selon six dimensions critiques : l'origine du questionnement, la nature du problème, la responsabilisation des élèves dans l'investigation, la prise en compte de leur diversité, le rôle de l'argumentation et l'explicitation des savoirs découlant de l'investigation. Ces analyses nous ont permis de constater que les enseignants laissent peu de responsabilités aux élèves lors de la phase de formulation de conjectures. Les séances reposent bien sur un questionnement initial soulevé par les élèves ou amené par l'enseignant, mais les conjectures et les démarches pour les éprouver sont le plus souvent données par l'enseignant. Les élèves sont guidés par des questions détaillées et progressives et c'est, à chaque fois, le professeur qui met en place les étapes de la DI : première conjecture, réfutation de cette conjecture, nouvelle conjecture. De plus, la place de l'argumentation est souvent limitée (Tufféry-Rochdi, 2013).

Ces observations nous ont conduite au questionnement suivant : « Pourquoi, alors que les conditions en MPS sont favorables et que les séances observées sont considérées par les enseignants de mathématiques qui les ont conçues comme fondées sur des DI, les professeurs laissent-ils si peu de responsabilités aux élèves lors de la phase de formulation des conjectures ? »

Des études pointent les difficultés rencontrées par les enseignants pour modifier leurs pratiques lorsqu'ils n'y sont pas spécifiquement formés et, en particulier, lorsqu'il s'agit de proposer aux élèves des DI. Le partage des responsabilités entre professeur et élèves nécessaire pour ce type d'activité ne va pas de soi : « Il requiert des tâches et un guidage approprié des élèves, ainsi qu'un contrat didactique approprié (Brousseau, 1997). Il requiert des enseignants capables de faire face à l'imprévu et d'identifier le potentiel mathématique d'idées et de productions d'élèves non nécessairement anticipées. Il requiert des enseignants capables enfin d'aider les élèves à relier les résultats qu'ils ont obtenus dans un contexte particulier avec les connaissances visées par l'institution, à la fois dans leur contenu et dans leur forme d'expression. Les besoins en expertise enseignante vont ainsi bien au-delà de ce qui est en jeu dans les pratiques d'enseignement traditionnelles » (Artigue 2011, p.22).

D'autres travaux, analysés par Ghislaine Gueudet et Marie-Pierre Lebaud (2013), notent les effets positifs des collectifs dans les formations enseignantes visant des évolutions de pratiques vers les DI et en particulier le fait que « les groupes de stagiaires effectuent au fil de la formation une préparation de plus en plus approfondie des séances conçues, avec une analyse précise des savoirs en jeu et une anticipation des comportements probables des élèves. Cette préparation est essentielle, pour laisser plus de responsabilités aux élèves en classe » (p.112).

Lors des entretiens menés avec les enseignants de mathématiques observés, les professeurs faisaient régulièrement référence à des documents conçus collectivement par l'équipe des professeurs de mathématiques du lycée impliqués en MPS. De plus, dans les ressources utilisées figuraient les ressources transmises par

des collègues de mathématiques du lycée, impliqués en MPS les années précédentes, le plus souvent les documents qu'ils avaient eux-mêmes conçus. Les professeurs semblent inscrits dans un double travail collectif, celui avec leur équipe MPS pluridisciplinaire, c'est-à-dire avec un professeur de physique-chimie et un professeur de SVT, et celui avec les autres professeurs de mathématiques de l'établissement impliqués en MPS la même année ou les années précédentes. Le travail collectif de l'équipe pluridisciplinaire a été décrit à plusieurs reprises (Prieur et Aldon, 2011) (Caussidier et al., 2013). Il nous semblait intéressant de porter notre attention sur le travail collectif entre professeurs de mathématiques impliqués en MPS d'un même lycée en faisant l'hypothèse que c'est aussi dans la discipline elle-même que les enseignants trouvent les ressorts pour concevoir des séances fondées sur des DI dans un contexte pluridisciplinaire.

1.2 *La conception d'un cadre d'étude et d'une méthodologie*

Constitution d'un atelier Irem

Ces différents éléments nous ont amenée à proposer un atelier Irem, à La Réunion en 2012/2013, sur la conception et la mise en place de DI en MPS. Cet atelier, appelé plus précisément « atelier de recherche-production », conduit une recherche-action avec expérimentation dans les classes, suivie de la production de documents pédagogiques destinés aux enseignants. Il s'agit d'un groupe de recherche et de formation, au sens où les membres de l'atelier s'auto-forment et se forment mutuellement par la pratique de la recherche.

De façon générale, les enseignants impliqués dans les ateliers de l'Irem de La Réunion sont libres de fonctionner comme ils le souhaitent mais ils doivent assister aux différents séminaires

organisés dans l'année et y présenter régulièrement l'avancée de leurs réflexions. Pour l'atelier sur la DI en MPS, les enseignants ont accepté ma participation en tant qu'observatrice.

Notre premier objectif était d'analyser le travail réalisé par chaque enseignant hors classe pour concevoir les séances sous forme de DI et en classe pour les mettre en œuvre en portant une attention particulière au travail collectif avec les professeurs de SVT et de Physique-Chimie puisque chaque enseignant de mathématiques impliqué dans l'atelier faisait aussi partie d'une équipe MPS pluridisciplinaire. Le second objectif était d'essayer de voir si le travail collectif, au sein de l'atelier, pouvait contribuer à aboutir à la mise en place de séances fondées sur des DI plus proches des demandes institutionnelles que celles observées dans d'autres établissements, que l'on va donc considérer plus à même de favoriser l'apprentissage des élèves. Nous ne sommes pas intervenue sur le contenu ou l'organisation des séances, ces choix étant laissés à la responsabilité de chaque enseignant. Il en est de même pour le travail collectif au sein de l'atelier. En dehors d'une première rencontre pour fixer les modalités de l'atelier et le rôle de chacun, les professeurs étaient libres des moyens et des moments pour échanger.

Nous avons sollicité trois professeurs d'un même lycée pour constituer cet atelier IREM. Deux de ces enseignants, Sylvain et Yoann, avaient MPS dans leurs services. Ils travaillaient sur des thèmes différents. Ils avaient déjà enseigné en MPS les années précédentes mais les activités proposées étaient conçues comme des travaux dirigés avec des questions progressives et détaillées. Ils ont accepté de modifier les séances conçues les années précédentes dans la perspective des DI. Ces deux enseignants, bien qu'expérimentés, ne mettent pas de DI en place dans leurs cours disciplinaires et se considéraient comme « débutants en DI ». Le troisième

enseignant, Cédric, nouvellement nommé au lycée, n'avait pas MPS dans son service mais, impliqué dans les activités de l'IREM et dans la formation des enseignants depuis plusieurs années, il possède une sérieuse expérience des problèmes ouverts, des tâches complexes et des narrations de recherche (Bonafé et al., 2002). Il a accepté d'apporter son aide aux deux premiers enseignants.

Cadre théorique et méthodologie

Le cadre théorique choisi est l'approche documentaire du didactique (Gueudet et Trouche, 2010), qui accorde une importance particulière au travail documentaire (c'est-à-dire au travail que les professeurs réalisent pour concevoir la matière de leur enseignement) et porte une attention spécifique aux dimensions collectives de l'activité des professeurs. La méthodologie adoptée est une investigation réflexive, c'est-à-dire que le regard des professeurs sur leur propre activité de préparation et d'enseignement est particulièrement sollicité. Le suivi s'est prolongé sur une durée assez longue, ici un semestre. Pour associer les enseignants au recueil des données nous avons demandé à chacun d'eux de tenir, pendant toute la durée de préparation de la séance fondée sur une DI, un carnet de bord dans lequel ils devaient décrire leurs types d'activités, les acteurs impliqués, les temps passés, les ressources utilisées et les supports produits, et dans lequel ils pouvaient également ajouter des commentaires. Les enseignants ont adopté une posture réflexive en décrivant leurs pratiques lors d'entretiens avec nous avant et après les séances. Nous avons recueilli les ressources matérielles utilisées et produites dans le travail documentaire. Chaque séance observée a été filmée et les entretiens ont été enregistrés. Nous avons essayé d'être particulièrement attentive aux apports du travail collectif dans les carnets de bord et lors des entretiens, aussi bien ceux concernant le groupe pluridisciplinaire que

ceux concernant le groupe des professeurs de mathématiques impliqués dans l'atelier.

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une thèse en didactique des mathématiques débutée en septembre 2011 sous la codirection des Professeurs Dominique Tournès (Université de La Réunion) et Luc Trouche (École normale supérieure de Lyon).

Dans cet article, nous parlerons davantage d'un des deux enseignants, Yoann, et nous nous limiterons à décrire une des séances observées qui nous semble représentative des séances conçues par cet enseignant.

2. — Conception de la séance

2.1 Premières difficultés ressenties et exprimées par l'enseignant

Yoann a essayé de concevoir et soutenir des séances fondées sur des DI dès le premier thème alors que l'atelier ne devait commencer qu'à la rentrée de janvier, au moment où débutait le second thème. Lors d'un entretien fin décembre, nous avons fait le point avec lui sur cette première tentative. Il dit avoir trouvé difficile de préparer les séances sous forme de DI et qu'il lui était plus facile de concevoir, comme avant, un TD avec des questions graduées.

Les séances préparées étaient toujours trop longues, les élèves n'arrivant pas au bout du problème en deux heures. Yoann pense vouloir faire aborder trop de choses et il trouve que, sous forme de DI, le travail des élèves est aussi beaucoup plus lent. Lorsqu'il a laissé les élèves rechercher des méthodes qui n'aboutissaient pas, il a ressenti une impression de perte de temps.

Par ailleurs, la mise en place de la DI en classe lui a paru complexe. Les élèves étaient peu habitués à fonctionner ainsi,

beaucoup ne connaissaient pas le mot "conjecture", ils demandaient à être guidés. De plus, certaines notions étaient trop compliquées et au début, Yoann pensait que les élèves devaient tout trouver seuls. Néanmoins, sur les trois séances consécutives, Yoann note une évolution positive des élèves, certains semblent avoir compris la démarche, ont gagné en efficacité et travaillent de façon plus autonome.

Enfin, il dit ne jamais savoir comment cela va se passer, parfois on a des conjectures intéressantes, parfois rien ne vient. Il dit aussi avoir observé des solutions et des erreurs inattendues.

2.2 Première action notée dans les carnets de bord : recherche de ressources sur les DI dans les textes officiels

Les deux enseignants se sont d'abord tournés vers les textes officiels.

Yoann écrit dans son carnet de bord :

« Pour préparer ma première séance, je m'appuie sur mes documents des séances faites il y a deux ans. Je m'aperçois que je ne suis pas vraiment dans la situation d'une DI. Je relis les BO sur les MPS (BO spécial n°4 du 29 avril 2010). »

Sylvain, quant à lui, liste une série de documents ou d'extraits de documents, récupérés sur internet, principalement issus de sites académiques, qu'il regroupe dans un dossier nommé « Prise de notes sur la DI ». Parmi ces documents se trouve l'introduction commune aux programmes de sciences du collège (Mathématiques, SVT, Physique-Chimie, Technologie) qui présente la DI sous forme d'un canevas en sept étapes mentionné dans notre introduction (BO spécial n°6 du 28 août 2008).

2. 3 Réunion du collectif pour échanger sur la nature de la DI

Les trois collègues impliqués dans l'atelier ont organisé une réunion un mercredi après-midi, à laquelle j'ai assisté en tant qu'observatrice. Les premiers échanges visaient à tenter de situer la DI par rapport à d'autres demandes institutionnelles que sont les problèmes ouverts, les narrations de recherche, les tâches complexes, ou encore l'évaluation par compétences. Cédric a fait part de son point de vue à partir de ses connaissances théoriques et son expérience. Les échanges se sont faits ensuite à partir d'un diaporama préparé par Cédric qui reprenait le canevas en sept étapes de la DI mentionné dans notre introduction (BO spécial n°6 du 28 août 2008).

Les enseignants ont beaucoup discuté la première étape de la DI, le choix de la situation-problème. Le problème proposé aux élèves doit-il être issu de la vie courante, partir d'une situation concrète, être scénarisé ? Qui doit être à l'origine du questionnement, est-ce à l'enseignant d'apporter la question ou aux élèves de dégager des problématiques à partir de la situation proposée ? Dans ce cas, doit-on alors étudier chaque problématique soulevée ou en cibler certaines, et qui fait alors ce choix ? L'enseignant doit-il connaître la solution du problème, le problème peut-il ne pas avoir de solution connue ou avoir plusieurs solutions ?

Chaque étape de la DI proposée par le canevas ci-dessus a ensuite été discutée. Cédric a insisté sur le fait de mettre l'élève au cœur du travail à toutes les phases, de laisser les élèves soulever la question attendue, chercher et proposer des outils, se répartir le travail, réfléchir et répondre aux questions posées par l'un d'entre eux, s'autoévaluer. Il a aussi rappelé que l'activité doit être adaptée aux différents niveaux des élèves.

Cédric a aussi parlé du rôle du professeur. En amont, l'enseignant doit fixer les objectifs de la séance, lister les connaissances nécessaires et, si elles ne sont pas connues des élèves, prévoir l'aide à apporter, qui peut être une aide indirecte (CDI, internet) ou partielle. Le professeur doit aussi essayer d'anticiper toutes les questions possibles des élèves. Pendant la séance, le rôle de l'enseignant est de mettre les élèves en action à toutes les étapes de la DI, y compris lors de la phase de structuration des connaissances.

Concernant l'organisation de la séance, Cédric a présenté celle qu'il mettait en place les années précédentes avec ses classes de collège : d'abord un temps de recherche individuel pendant lequel l'élève note la totalité de ses idées, comme pour une narration de recherche, puis un temps d'échange en classe entière, ensuite une reprise de la recherche par groupe de trois ou quatre élèves qui s'accompagne à nouveau de prises de notes, enfin une phase de bilan fait par les élèves, mais animée par l'enseignant.

Yoann a dit en entretien que « le partage de ses idées avec Cédric, qui lui donne son point de vue sur les MPS, lui a permis de se diriger pour la suite. ». Sylvain a résumé la discussion sur son carnet de bord par « un but : l'autonomie des élèves ».

Les deux enseignants ne travaillant pas sur le même thème, les séances ont ensuite été conçues individuellement par chacun d'eux. Les entretiens ont aussi été menés séparément. Lors de ces entretiens, les professeurs ont parfois fait allusion à des discussions rapides et informelles qu'ils ont eues entre eux, en salle des professeurs, entre deux cours par exemple, mais on en trouve peu de traces sur leurs carnets de bord.

2. 4. *Entretien avant la séance, comment la séance a été conçue, comment elle est anticipée*

Yoann avait déjà enseigné en MPS, il y a deux ans sur le même thème, « sciences et investigations policières ». Les activités portaient sur la cryptographie et avaient été conçues avec un autre professeur impliqué cette année-là. Elles étaient construites comme des travaux dirigés avec des questions graduées en difficultés. La première activité présentait le code de César comme un décalage de l'alphabet. Un exemple était donné : le codage du mot « MATHEMATIQUES » avec un décalage de trois lettres, chaque lettre étant codée par la lettre située trois rangs plus loin dans l'alphabet, ce qui donne « PDW-KHPDWLTXHV ». Ensuite, les élèves devaient résoudre plusieurs exercices visant, dans l'ordre, à coder une phrase et en décoder une autre avec un décalage de trois lettres, à trouver la clé connaissant le message clair et le message codé obtenu, à décoder une phrase sans connaître le décalage utilisé mais en sachant qu'un mot y figurait, à décrypter deux phrases sans connaître les décalages utilisés, la seconde phrase étant donnée sans espaces entre les mots.

Pendant la phase de conception de la première séance fondée sur une DI, Yoann a complété son carnet de bord et l'a commenté lors de l'entretien. Pour préparer la séance, Yoann dit qu'il est parti de l'activité sur le codage de César conçue il y a deux ans et décrite ci-dessus. Il a gardé la méthode de codage, le chiffrement César et y a ajouté le chiffrement affine. Il a fait quelques recherches sur le net, mais écrit dans son carnet de bord : « Les documents trouvés sur le net sont tous du type TP, ils ne constituent que des idées pour moi. » Il a tenu compte de son expérience du premier semestre et rappelle en entretien que les séances conçues étaient beaucoup trop longues. Il dit essayer de mieux prévoir le temps nécessaire aux élèves.

La première difficulté exprimée par Yoann est « comment mettre en place la situation ? », avec un réel souci que les élèves s'approprient le problème rapidement. Il dit chercher un moyen d'impliquer les élèves dès le début et pense que pour cela, il faut stimuler leur curiosité. Il se demande donc « comment rendre le projet intéressant ? ».

Finalement, il fait le choix de proposer aux élèves une situation scénarisée avec une petite histoire « pour intéresser les élèves au problème » et de laisser le soin aux élèves de dégager une problématique « pour que le problème devienne le leur ».

Yoann tient compte de la diversité des élèves, il écrit dans son carnet de bord : « Le choix d'une diversité de situations et d'approches tient compte du fait qu'on s'adresse à des élèves dont les profils et les choix d'orientation sont très variés, il est important que tous les élèves soient concernés ».

Les connaissances mises en jeu sont relativement modestes en dehors de la division euclidienne (la congruence modulo 26 sera utilisée, mais sans excès de technicité ou d'utilisation de vocabulaire spécifique). Yoann prévoit aussi d'utiliser le tableur. Les acquis initiaux des élèves, sont difficiles à anticiper pour Yoann car il ne connaît pas bien ces élèves qu'il ne voit qu'en MPS quelques semaines par semestre. Concernant le tableur, il craint par expérience que les élèves ne maîtrisent pas bien le logiciel pour l'avoir peu utilisé. Une autre crainte, exprimée par Yoann avant la séance, est que certains élèves soient redoublants, aient déjà fait ce type d'activités en MPS l'an dernier, en gardent des souvenirs, et trouvent tout de suite. Il est aussi possible que certains élèves aient certaines connaissances en cryptographie, acquises par des lectures ou des films.

Interrogé sur les objectifs de la séance, Yoann dit que le principal est de mettre en œuvre une DI. Il ajoute qu'il veut aussi développer la prise d'initiative et l'autonomie des élèves, changer le statut de l'erreur et favoriser la communication orale. Enfin, il dit que l'un des buts est aussi de faire travailler les élèves sur la cryptographie.

Avant la séance avec les élèves, Yoann se pose beaucoup de questions : « *Comment vont réagir les élèves ?* », « *Est-ce que les élèves sont capables de découvrir seuls telles ou telles notions ?* », « *Est-ce qu'ils vont y arriver ?* » Il essaie d'anticiper les difficultés de certains élèves : « *Quand je prépare ma séance, je prévois à côté une feuille qui ressemble plus à un TP pour les élèves qui seront en difficultés... Je pense la donner quand l'élève est vraiment bloqué et pas entièrement, pas toute la feuille, seulement une partie.* »

3. — Gestion de la séance

3.1 Description de la séance observée

La séance observée se passe dans une salle informatique équipée d'un vidéoprojecteur et d'un tableau blanc. Les élèves, qui proviennent de trois classes que Yoann n'a pas en mathématiques, s'installent comme ils le souhaitent sur les tables devant les ordinateurs.

Yoann commence par projeter sur le tableau "NBUIFNBUJRVFT" et demande aux élèves ce qu'ils en pensent. Une élève, se souvenant du travail fait au premier semestre, dit qu'il faut extraire une problématique.

Les élèves travaillent seuls dans un premier temps et doivent écrire, dans leur cahier de recherche MPS, une ou plusieurs problématiques. Yoann circule sans intervenir. Après environ cinq minutes, il propose une mise en

commun rapide et plusieurs élèves prennent la parole pour donner leurs problématiques à tour de rôle. On retrouve les mêmes idées dans toutes les propositions : messages codés, décodage, chiffrement.

Les élèves doivent ensuite poursuivre leurs recherches à deux pour déchiffrer ce mot et doivent noter dans leurs cahiers les pistes suivies, qu'elles aboutissent ou pas. Tous les outils sont autorisés sauf internet.

Après environ cinq minutes, l'enseignant fait à nouveau un point au tableau sur les méthodes obtenues. Les élèves interviennent d'abord librement puis Yoann, qui, en circulant, a remarqué des réponses intéressantes et différentes de celles déjà données, demande explicitement à certains élèves de proposer leurs méthodes. Chaque piste est discutée par la classe et ce sont les élèves qui invalident les méthodes de leurs camarades :

- Le mot ne peut pas être une anagramme, car il n'y aurait pas assez de voyelles.
- Une lettre ne peut pas représenter un mot commençant par cette lettre car de nombreux mots seraient codés de la même façon et la personne qui recevrait le message ne saurait pas le déchiffrer.

D'autres idées sont émises, une forme de sténographie, prendre trois lettres puis en supprimer trois, on pose aussi la question de savoir si le mot existe et s'il est en français.

Yoann intervient alors et précise qu'il s'agit d'un mot, en français et qu'il ne faut pas supprimer de lettres, ni changer l'ordre des lettres. Un élève repère aussi la répétition de trois lettres : NBU.

Un nouveau temps de recherche est laissé aux élèves. Finalement une élève trouve le mot

caché : "MATHEMATIQUES" et on explicite la méthode, remplacer chaque lettre par la précédente dans l'alphabet. La méthode de codage consistait donc à faire un décalage d'une lettre. Le tout a pris une quinzaine de minutes.

La situation proposée est projetée au tableau :

Nous sommes en 46 avant J.-C. Vous venez de capturer un esclave Romain appartenant à l'armée de César. Sur son crâne, sous ses cheveux, est inscrit un message crypté destiné à Cléopâtre. Saurez-vous le décrypter ?

ZU CU IKYI CYI Q DK
QK REHT TU BQ WHQDTU RBUKU
Z'QY CYI CED SEUKH Q DK
UJ YB QLQYJ TUI RBUKI

Le travail de recherche en groupe reprend, le professeur circule, il repère les différentes démarches.

Certains élèves ont testé plusieurs décalages. Le travail est fastidieux. Yoann leur parle alors du cadran d'Alberti sans expliquer de quoi il s'agit exactement. Il propose deux disques de rayons différents divisés en 26 secteurs identiques et propose aux élèves d'imaginer un outil qui pourrait faciliter le travail. Des discussions s'engagent entre les élèves sur l'utilisation de ces disques, mais ils imaginent vite l'outil à construire. Le cadran d'Alberti (1404-1472) est constitué de deux disques de même centre mais de rayons différents, le plus grand disque est fixe, l'autre mobile, chacun est divisé en 26 secteurs dans lesquels on peut écrire les lettres de l'alphabet. L'utilisation du cadran permet de tester très rapidement les différents décalages possibles.

D'autres groupes s'en sortent plus rapidement. Un élève en observant le texte a vu Z'QY, ce qui lui a fait penser à J'AI et lui a

permis de trouver le bon décalage. Un autre tente JE à la place de ZU du début et trouve ainsi le décalage.

Cette fois-ci, lors de la mise en commun, le professeur gère l'ordre d'intervention des élèves en fonction de ce qu'il a observé en circulant. Tous les élèves demanderont malgré tout à construire le cadran d'Alberti. Pour les élèves ayant déjà terminé, Yoann propose les exercices conçus l'an passé pour patienter. Avant de poursuivre le travail, Yoann demande à une élève de passer au tableau pour expliquer la construction de son cadran et son utilisation pour décoder le message affiché au tableau.

Yoann demande ensuite de combien de manières différentes on peut coder avec un décalage de César. La réponse, de 25 façons différentes, vient rapidement mais la classe prend le temps d'invalider deux réponses erronées données par des élèves. Tout d'abord le fait de décaler l'alphabet vers la droite ou vers la gauche ne donne pas davantage de codages, le fait d'avancer de deux lettres revenant à reculer de 24. Ensuite avancer de 5 et reculer de trois revient à avancer de deux et donc ne complique pas le codage.

Yoann demande ensuite quelle pourrait être la suite de l'activité. Des élèves parlent alors d'autres manières de codages possibles et Yoann interpelle une élève qui avait proposé une autre méthode précédemment, associer un nombre à chaque lettre A : 0, B : 1, ... Yoann donne alors le second questionnement de la séance :

A	B	...	Z
0	1		

Quelle est la lettre au rang 298 ?

Comme précédemment, les élèves cherchent par deux et Yoann les incite à noter toute trace de recherche dans leurs cahiers de recherche MPS. Après sept minutes de recherche, les élèves sont invités à échanger sur les méthodes :

Première méthode proposée :

$$298 /_{25} = 11,92$$

L'élève hésite entre la onzième lettre et la douzième, mais un autre élève intervient pour dire que, comme le résultat est plus proche de 12, on prend la douzième lettre de l'alphabet.

Yoann demande aux élèves ce qu'ils en pensent. Beaucoup d'élèves semblent dubitatifs mais ne parviennent pas à expliquer pourquoi.

Un autre élève propose sa méthode :

$$298 /_{25} = 11,92$$

$$25 \times 11 = 275$$

$$298 - 275 = 23$$

On prend la 23^e lettre.

Cette méthode semble convenir à tout le monde ! Yoann demande à deux élèves de donner leur méthode, elles avaient divisé par 26 et pas par 25, mais elles disent s'être trompées et que c'est la méthode donnée au tableau qui est juste.

Après quelques hésitations, Yoann propose de vérifier la démarche pour le rang 26 qui doit coder A puisque 25 code Z. Evidemment en utilisant la méthode écrite au tableau, fausse mais considérée juste par la classe, et en divisant par 25 on obtient que 26 code B et les élèves prennent conscience qu'ils se sont trompés et qu'il faut diviser par 26.

Yoann essaie de faire dire aux élèves qu'il s'agit de la division euclidienne, mais personne ne semble s'en souvenir et les mots "reste" et "division euclidienne" finissent par sortir au milieu d'éléments de vocabulaires divers comme produit en croix, quotient !

Les dix dernières minutes de la séance sont consacrées à remplir la fiche d'autoévaluation. Cette fiche a été conçue l'année précédente, suite à une sollicitation de l'inspecteur de mathématiques, par les professeurs de mathématiques du lycée impliqués en MPS, dont Sylvain faisait déjà partie. Elle a été reprise sans changement cette année et n'a pas été rediscutée par les enseignants. Les élèves notent la date puis doivent faire un bilan, un résumé personnel de la séance en quelques lignes. Ils doivent ensuite compléter la grille d'évaluation avec l'aide du professeur puis s'autoévaluer sur cinq compétences. La grille est projetée sur le tableau et complétée par le professeur à partir des interactions des élèves. Pour la première, « Utiliser et enrichir ses connaissances », les élèves listent les connaissances utilisées pendant la séance : la division euclidienne, le reste, comment coder et décoder par décalage de lettres. La seconde compétence, « Pratiquer une démarche scientifique » est scindée en deux parties, « Exploiter l'information utile » et « Pratiquer une technique ou une démarche. Raisonner, argumenter ».

Yoann note et explique que la démarche utilisée est une démarche d'investigation. Yoann dit, en entretien, avoir présenté la DI aux élèves au premier semestre comme la transposition didactique de la démarche scientifique : « *Se poser des questions, rechercher, échouer, conjecturer, expérimenter, répondre ou pas, chercher, se tromper, comprendre qu'ils se sont trompés...* » La troisième compétence concerne l'utilisation des TIC, ici la calculatrice. Les élèves doivent aussi autoévaluer leur niveau de commu-

nication (cahier de recherche ou oral), leur attitude (autonomie, initiative, implication) pendant les phases de recherches personnelles et de travail de groupe. Ils ont le choix entre quatre niveaux (J'ai réussi tout seul, j'ai réussi avec de l'aide, je n'ai pas bien réussi malgré l'aide, non abordé lors de cette séance). Les élèves doivent ensuite coller la fiche complétée dans leur cahier de recherche MPS.

3. 2. *Organisation et gestion de la séance, imprévus didactiques*

L'organisation des séances est celle suggérée par Cédric, lors de la réunion du collectif, d'abord un temps de recherche individuel suivi d'une mise en commun des premières idées. Ensuite un travail par groupe de deux ou trois élèves. Un temps conséquent est réservé aux phases de recherches en groupes. Très régulièrement sont prévus des temps de mises en commun avec tous les élèves. Ces moments sont animés par l'enseignant qui organise les prises de parole des élèves en fonction de ce qu'il a observé en circulant et les fait intervenir dans un ordre cohérent. Yoann n'hésite pas à orienter les activités des élèves vers l'objectif à atteindre en précisant le problème, comme par exemple en début d'activité (un mot en français, il ne faut pas changer l'ordre des lettres ni en supprimer). De même lorsque les discussions entre élèves conduisent à valider un résultat faux (reste modulo 25), Yoann intervient. Il ne dit pas que c'est faux mais propose aux élèves un moyen de vérification de la méthode proposée. Face à cet imprévu didactique, il doit improviser et réfléchir rapidement à une méthode pour faire invalider la démarche par les élèves eux-mêmes. Enfin, en circulant Yoann s'assure de la progression de tous les groupes.

Yoann regarde régulièrement sa montre. Il dira, lors de l'entretien après la séance, que la gestion du temps est une difficulté. Il veut laisser un temps de recherche aux élèves, mais souhaite mal-

gré tout aborder un certain nombre de notions. Il doit aussi garder, en fin de séance, un temps raisonnable (10 à 15 minutes) pour faire compléter la fiche d'autoévaluation par les élèves.

Lorsque les élèves posent des questions, Yoann ne répond pas directement. Il dirige les élèves vers les autres membres du groupe, ou les incite à utiliser le matériel à leur disposition (« Est-ce que tu sais que tu as devant toi plusieurs outils ? ») ou encore répond par une autre question (« Est-ce que cela te semble cohérent ? Pourquoi ne pas tester ? »). Yoann incite les élèves à noter sur leur cahier toute trace de recherche, y compris celles n'ayant pas abouti, un peu à la manière d'une narration de recherche mais le terme n'est pas utilisé en classe par le professeur.

La structuration des connaissances se fait en deux temps, d'abord dans les moments d'échanges en classe entière. Yoann fait le point sur l'avancée du travail de façon régulière avant d'aborder un nouveau questionnement. Ensuite, en fin de séance, un temps conséquent est consacré à remplir la grille d'autoévaluation complétée par les élèves avec l'aide de l'enseignant. On liste les connaissances mises en jeu dans l'activité et les outils utilisés, en particulier les TIC. Ces fiches doivent être collées par les élèves dans leur cahier de recherche MPS. Ce cahier de recherche sera récupéré par l'enseignant à la fin de chaque thème et sera pris en compte au moment de remplir les observations dans les bulletins, aucune note n'étant mise pour les enseignements d'exploration.

4. — **Premières constatations, hypothèses et perspectives**

4. 1. *Premières constatations*

Les deux enseignants observés, bien qu'expérimentés, reconnaissent ne pas mettre en place

de séances fondées sur des DI dans leurs pratiques habituelles et la plupart de leurs élèves ne semblent pas en avoir une pratique régulière. Il en résulte que, lors des premières séances, la DI est à la fois objet et moyen d'enseignement. C'est peut-être pour cela que les séances soutenues visent surtout à faire travailler la DI pour elle-même et, en particulier, elles ne sont pas conçues comme des situations-problèmes visant à dépasser un conflit cognitif.

Il est à noter que la première difficulté rencontrée par les enseignants concerne la nature même de la DI, ses différents moments et le rôle qu'ils ont à tenir à chaque étape. Ce qui les a conduits à retourner vers les textes officiels et, en l'absence de manuels, vers les documents ressources ou les sites académiques. Face à un vocabulaire didactique riche et complexe, ils ont alors ressenti le besoin d'échanger sur les situations problèmes, les problèmes ouverts, les tâches complexes, les narrations de recherche, l'évaluation par compétences. Les enseignants ont aussi confronté leurs points de vue pour comprendre et interpréter chaque étape de la DI. Cette discussion a eu le mérite d'éclairer les enseignants sur le vocabulaire didactique, de préciser le rôle des élèves et des enseignants à chaque étape de la DI et d'élargir le champ des possibles. C'est à cette étape que le rôle du collectif lié à l'atelier IREM semble avoir été le plus important.

Lors de la phase de conception de la séance fondée sur une DI, la principale difficulté exprimée par les enseignants semble être le choix de la situation de départ. Les échanges lors de la réunion ont eu le mérite de proposer une large palette de méthodes et de formulations de la situation de départ. Les enseignants ont conscience que cette étape est cruciale, que toutes les situations ne présentent pas le même potentiel en terme de recherche et ne favorisent pas de la même façon la dévolution du problème. Le

choix fait par Yoann pour introduire la séance pourrait être discuté. Projeter « NBUIFN-BUJRVFT » conduit les élèves à parler de cryptographie, mais peut-on considérer qu'ils soulèvent une problématique ? De même, la situation choisie, un message codé en français sur la tête d'un esclave romain, pourrait être améliorée. Nous sommes par ailleurs loin des situations de recherche issues d'un problème de la recherche actuelle et proposées par l'équipe Maths à modéliser. Néanmoins, les élèves semblaient être intéressés et se sont majoritairement lancés dans le travail demandé.

La principale crainte des professeurs concerne les imprévus didactiques, à savoir que les élèves n'aient pas d'idée, ou au contraire que la situation proposée soit trop vite résolue, mais aussi qu'eux-mêmes ne soient pas capables sur le moment de voir le potentiel mathématique de certaines idées non anticipées. C'est peut-être ce manque de confiance, lié à un manque de pratique, qui conduit les enseignants à prévoir des séances trop longues et trop dirigées, en particulier pour la phase de formulation de conjectures et de propositions de démarches pour les éprouver, phase sur laquelle va reposer la suite de la séance, comme j'ai pu l'observer dans d'autres lycées.

Lors de la gestion de la DI, il est crucial de laisser aux élèves un temps de recherche conséquent dans cette phase initiale. Peu habitués à fonctionner ainsi, les enseignants expriment une impression de perte de temps. Ici encore, les échanges entre collègues ont favorisé une meilleure prise en compte de l'importance de cette étape de la DI, du temps nécessaire aux élèves et de la façon de gérer cette étape.

Sur la totalité de la séance, on voit que les compétences mises en jeu sont multiples et complexes. Le professeur doit organiser le travail, orienter l'activité des élèves vers l'objec-

tif à atteindre, animer et coordonner les phases d'échanges, réagir face aux imprévus didactiques, gérer la diversité des élèves, gérer le temps pour aboutir à la structuration des connaissances et à la phase d'autoévaluation.

Concernant le travail collectif de l'équipe pluridisciplinaire, il semble se limiter, dans cet établissement, à l'organisation matérielle de cet enseignement et au choix d'un thème commun. Une réunion de concertation prévue en début d'année sur le créneau MPS a pour objectif la répartition des séances et des groupes d'élèves, et le choix de deux thèmes, les mêmes depuis 2010. Les professeurs animent ensuite en commun une première séance MPS dans un amphithéâtre pouvant recevoir les trois groupes, environ 70 élèves. Pendant cette séance, les professeurs présentent aux élèves les MPS, l'organisation des groupes et des séances puis leur font visionner un épisode de la série « C'est pas sorcier » sur le thème choisi, accompagné d'un questionnaire. N'ayant pu assister à cette séance, nous ne sommes pas en mesure d'en dire davantage. Ensuite, les enseignants mènent des séances individuellement et ne se retrouvent qu'à la fin de chaque thème pour compléter les bulletins en tenant compte de l'implication de l'élève avec chaque professeur. Aucun échange sur le contenu même des séances n'a été observé pendant la période pendant laquelle l'atelier Irem a fonctionné. Si des échanges ont existé sur les attentes des MPS ou sur la DI, ils n'ont pu avoir lieu qu'en tout début d'année, trop tôt pour que l'on puisse les observer directement. En tout cas, il en reste peu de traces dans les discours des enseignants ou dans leurs carnets de bord.

Ces constatations ne semblent pas exceptionnelles, l'équipe « Enseignement Scientifique » de l'Irem de Montpellier a constaté que les pratiques des enseignants impliqués dans « l'Option Sciences » sont davantage pluri-

disciplinaires qu'interdisciplinaires. C'est à dire qu'il s'agit souvent d'une simple juxtaposition des points de vue des enseignants de chaque discipline sur un thème commun sans qu'une synthèse ne soit construite ensemble alors que l'interdisciplinarité repose sur une perspective interactive et pas seulement cumulative. (Beaufort et al., 2013)

Par ailleurs, dans l'établissement visité, les équipes MPS ne sont pas stables d'une année sur l'autre et sont le plus souvent constituées de nouveaux arrivés dans le lycée, parfois TZR. Or, « La mise en œuvre d'un travail co-disciplinaire ne peut être envisagée sans une intense collaboration des enseignants fortement dépendante du contexte et des ressources qui sont à leur disposition pour assurer une continuité et une cohérence dans la conduite de leur enseignement. » (Prieur et Aldon, 2011, p.35). Les équipes pluridisciplinaires ne se rencontrant que le jour de la rentrée, il est certainement trop tard pour mettre en œuvre un réel projet interdisciplinaire.

4. 2. *Hypothèses et perspectives*

Les séances MPS, conçues dans le cadre de l'atelier Irem et mises en œuvre avec l'appui de cette réflexion collective, bien que critiquables, nous semblent plus proches des attentes de l'institution en ce qui concerne les DI que celles observées dans d'autres classes cette même année scolaire. Les élèves ont davantage de responsabilités à toutes les étapes de la DI. Ils construisent le questionnement initial à partir de la situation proposée par l'enseignant, ce qui favorise la dévolution du problème. L'enseignant laisse des temps de recherche conséquents pour permettre aux élèves de formuler des conjectures et de proposer des démarches pour les éprouver. Les phases d'échanges ne se limitent pas au groupe, l'enseignant fait communiquer à la classe les propositions de certains élèves, propositions qui sont ensuite discutées. Les élèves

sont encouragés à argumenter et à justifier leurs réponses par des connaissances ou des résultats. Ils sont aussi impliqués dans la structuration des connaissances et ils sont conduits à s'autoévaluer (cette dernière phase résultant d'une réflexion menée l'année précédente sur l'évaluation par compétences).

La principale différence avec les observations faites dans d'autres lycées étant l'existence de ce collectif structuré par l'atelier IREM, nous faisons l'hypothèse de son rôle positif dans l'appropriation de la DI par les enseignants. Une réflexion collective sur la nature même des DI avec d'autres enseignants et un formateur pourrait contribuer à aider les enseignants à faire confiance aux élèves sur leurs capacités à proposer des conjectures et à se faire confiance pour gérer les imprévus didactiques. Il faut aussi que les enseignants acceptent ce temps de recherche sans avoir une impression de perte de temps et qu'ils ne quantifient pas le travail effectué lors d'une séance uniquement par le nombre de notions abordées par le professeur au tableau mais aussi par le niveau de compréhension et d'assimilation de ces notions par les élèves.

Le rôle du collectif au sein de l'atelier Irem, en particulier lors des échanges informels, reste difficile à observer et à quantifier, et demanderait la mise en œuvre d'une métho-

dologie plus précise pour pouvoir le prendre en compte à chaque étape du travail. Par ailleurs, d'autres facteurs ont aussi pu influencer les professeurs impliqués dans cet atelier. Ils ont assisté pendant cette année scolaire aux différents séminaires Irem pendant lesquels des thèmes comme les tâches complexes ou l'évaluation par compétences ont été abordés. Enfin la méthodologie suivie a favorisé une investigation réflexive, les entretiens avant et après les séances observées leur ont permis de s'interroger sur leurs pratiques de la DI en MPS.

Le travail engagé cette année pourrait se poursuivre par une formation, inspirée des « lessons studies » japonaises (Gueudet et Lebaud, 2013). Les enseignants devraient concevoir ensemble une séance fondée sur une DI. S'il s'agit de séances MPS, il serait intéressant d'y associer des professeurs de physique-chimie et de SVT. Les enseignants devraient ensuite mettre en œuvre la séance conçue à tour de rôle dans leurs classes respectives. Chaque séance serait filmée et suivie d'une analyse collective, ce qui induirait des modifications entre chaque mise en œuvre. Le travail pourrait aboutir à la rédaction d'une fiche pédagogique sur cette DI la plus complète possible, en particulier en ce qui concerne les idées émises par les élèves, ce qui contribuerait à réduire les imprévus didactiques, sources d'inquiétude pour les enseignants, et à développer les ressources disponibles en terme de DI.

RÉFÉRENCES

- MINISTERE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, BO spécial n°6 du 28 août 2008.
 MINISTERE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, BO spécial n°4 du 29 avril 2010.
- ARTIGUE, M. (2011), Rapport pour l'UNESCO : Les défis de l'enseignement des mathématiques dans l'éducation de base.
<http://unesdoc.unesco.org/images/0019/001917/191776f.pdf>
 (consulté le 5 août 2013).
- BEAUFORT, S., CAUSSIDIER, C., HAUSBERGER, B., HAUSBERGER, T., MOLINATTI, G., ROBERT, J.P., (2013), Explication croisée des démarches d'investigation en sciences : un levier pour donner du sens et favoriser le dialogue entre disciplines scolaires.
http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/87/92/18/PDF/Article_explicitation_croisee_demarches-v18.pdf (consulté le 28 février 2014).
- BONAFE, F., CHEVALLIER, A., COMBES, M.-C., DEVILLE, A., DRAY, L., ROBERT, J.-P., SAUTER, M. (2002), *Les narrations de recherche de l'école primaire au lycée*. IREM de Montpellier et APMEP (brochure n°151).
- BROUSSEAU, G. (1997), *Theory of Didactical Situations*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- CAUSSIDIER, C., HAGEGE, H., HAUSBERGER, B., HAUSBERGER, T., HENN, F., MOLINATTI, G., MORRO, C., RUMEAU, B., TERKI F., (2013), Option Sciences, Option Démarches et culture Scientifiques, Futurs enseignements d'exploration Méthodes et pratiques scientifiques : Travaux du groupe Enseignement Scientifique de l'IREM de Montpellier. IREM de Montpellier-Université Montpellier 2
- GANDIT, M., GIROUD, N., GODOT, K. (2011), Les situations de recherche en classe : un modèle de situation pour travailler la démarche scientifique en mathématiques. In M. Grangeat (dir), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisition des élèves* (pp. 35-49). École normale supérieure de Lyon.
- GRANGEAT, M. (2013), Modéliser les enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation : développement des compétences professionnelles, apport du travail collectif. In M. Grangeat (dir), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe* (pp. 154-184). Grenoble : Presses universitaires de Grenoble.
- GUEUDET, G. & LEBAUD, M.P (2013), Démarches d'investigations en sciences, collectifs dans la formation des enseignants : enquête sur un lien complexe. In M. Grangeat (dir), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe* (pp. 95-113). Grenoble : Presses universitaires de Grenoble.
- GUEUDET, G. & TROUCHE, L. (2010), Des ressources aux documents, travail du professeur et genèses documentaires. In G.Gueudet & L.Trouche (dir), *Ressources vives. Le travail documentaire des professeurs en mathématiques* (pp. 57-74). Rennes : PUR et INRP.

MATHE, S., DE HOSSON, C. & MEHEUT, M. (2012), Démarche d'investigation en sciences physiques. Questions de transposition didactiques et formation des enseignants. In B. Calmettes (dir.), *Didactique des sciences et démarches d'investigation. Références, représentations, pratiques et formation* (pp. 181-198). Paris : L'Harmattan.

MONOD-ANSALDI, R. & PRIEUR, M. (coord.) (2011), *Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie*. Rapport d'enquête IFE-ENS de Lyon.

<http://ife.ens-lyon.fr/ife/ressources-et-services/ocep/dispositifs/DI/rapport-DI/view>
(consulté le 5 août 2013)

PASTORI, M. (2013), Faire pratiquer une démarche d'investigation en classe de mathématiques : un exemple de coopération entre enseignants et chercheurs. In M. Grangeat (dir), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe* (pp. 45-58). Grenoble : Presses universitaires de Grenoble.

PRIEUR, M., ALDON, G., (2011), Un enseignement co-disciplinaire de la modélisation du cycle du carbone. Repères IREM n°82, Janvier 2011.

TUFFÉRY-ROCHDI, C. (2012), Enseignement d'exploration Méthodes et Pratiques Scientifiques : Quel impact pour les enseignants de mathématiques sur leurs cours disciplinaires ? In *Actes du colloque « Hommage à Michèle Artigue »*, mai 2012, (pp. 54-56).

https://docs.google.com/file/d/0B7H9DyVUr48leUNGYTM4YzJsYnc/edit?usp=drive_web&pli=1

(consulté le 5 août 2013).

TUFFÉRY-ROCHDI, C. (à paraître), Enseignement d'exploration Méthodes et Pratiques Scientifiques : démarches d'investigation et compétences professionnelles des enseignants, In *Actes de l'école d'été de didactique des mathématiques, Nantes, août 2013*.