

Autour de la formation des enseignants

Denis Butlen, Francis Labroue, Claudie Asselain-Missenard, Daniel Perrin
et Inés M^a Gómez Chacón (intervenants),
Aline Robert et Catherine Houdement (animatrices)

Introduction (C. Houdement)

Si la variété des recherches en didactique des mathématiques est attestée par les travaux de ce colloque (et là, seule une infime partie est visible), se pose la question de la communication des résultats de ces recherches aux enseignants, et plus généralement celle de la formation des enseignants. Il n'est pas question ici de reprendre des résultats sur cette dernière question, quel qu'en soit le développement – voir par exemple la revue consacrée à ce type de travaux, *Journal of Mathematics Teacher Education* (JMTE). Nous voudrions plutôt explorer un petit peu la question de la diffusion, en élargissant la perspective et en demandant à des acteurs engagés de manières différentes dans la formation des enseignants de donner leur témoignage.

Les savoirs en jeu sont complexes : les savoirs mathématiques appris comme élèves ou étudiants nécessitent une recomposition pour les rendre opérationnels sur des questions d'enseignement (cf. le texte de D. Perrin). Les savoirs académiques ne rendent pas compte seuls des connaissances mathématiques nécessaires aux enseignants : des recherches didactiques ont débusqué des savoirs mathématiques moins classiques¹ ou moins formellement explicites². Les savoirs de la formation des enseignants se doivent de plus d'intégrer les nouveaux outils technologiques et leurs potentialités au service des apprentissages (cf. le texte de I. Gómez-Chacón). Les savoirs de la formation des enseignants comportent aussi des savoirs didactiques, qui permettent l'étude et la compréhension des curricula, l'analyse des organisations de l'étude possibles et suggérées, l'adaptation des situations d'enseignement à la réalité du répertoire didactique de la classe. Sans oublier ce qui concerne le sujet cognitif face au savoir mathématique, le sujet social dans la communauté de la classe, plus ou moins multicatégorielle, le sujet psychologique. Comme tous ces savoirs fonctionneront en synergie dans l'exercice de la classe, il est aussi nécessaire de questionner, durant la formation, cette recomposition des savoirs (cf. le texte de D. Butlen).

Cela peut rejoindre les distinctions classiques en *Subject-Matter Knowledge*, et *Pedagogical Content Knowledge* utilisées dans beaucoup de travaux anglo-saxons, illustrant s'il le fallait à quel point les difficultés rencontrées en formation ne sont pas spécifiques à la France mais partagées dans le monde entier.

La formation des enseignants doit aussi s'adapter aux durées et modalités de formation (de une heure à une année, accompagnement individuel, travail en petit groupe ou information en amphithéâtre), à la culture initiale des formés (spécialistes de mathématiques ou généralistes), à la place des mathématiques dans la formation (seule discipline, insérée dans une culture scientifique, une discipline parmi d'autres).

La formation des enseignants doit aussi s'adapter à la concurrence des médias, les ressources sont en pleine explosion : manuels scolaires et ouvrages pédagogiques certes, mais aussi propositions diverses sur la toile.

La question est bien celle-ci : quels outils enseigner aux enseignants pour leur permettre
(1) d'envisager différents possibles ;

¹ Par exemple : Briand (1993) ; Rogalski & al. (2001) ; Perrin (2005).

² Par exemple : Robert (2003) ; Houdement & Kuzniak (2006).

(2) de choisir en toute connaissance de cause dans cette palette de possibles (cf. le texte de F. Labroue) ?

De plus, la conjoncture actuelle (création des Master Enseignement dans les Universités comme accès obligatoire au métier d'enseignant) exige :

- Que nous rendions explicites et publics ces savoirs en affirmant fortement et prouvant leur spécificité d'une part par rapport aux savoirs académiques, d'autre part par rapport aux connaissances issues du compagnonnage ;
- Que nous valorisions notre expérience et expertise de formateurs d'enseignants, expérience capitalisée dans ce qui correspond sans doute à des communautés de pratique³ (cf. le texte de C. Asselain-Missenard).

C'est dans ce contexte que nous avons invité cinq personnes, choisies de façon à rendre compte de la variété de la formation des enseignants, à plancher sur le sujet suivant :

Donnez votre point de vue, le plus synthétique possible, à partir des questions suivantes : comment intervenez-vous en formation ? Quel bilan en faites-vous ? Quelles modifications vous sembleraient utiles ?

Nous les remercions de leur active participation.

Denis Butlen, professeur des universités à l'IUFM de Nantes, chercheur en didactique des mathématiques, s'attelle à la question de la formation mathématique des enseignants du primaire (maternelle, 1^{ère} à 5^{ème} année ; enfants de 3 à 11 ans).

Suivent deux points de vue de terrain sur les professeurs du secondaire (collège : 6^{ème} à 9^{ème} année, lycée 10^{ème} à 12^{ème} année dite Terminale). Francis Labroue, IA-IPR⁴ dans l'académie de Paris, décline le rôle d'un IA-IPR dans la formation des enseignants et précise le type de connaissances nécessaires à l'enseignant pour assumer une des fonctions fondamentales de son métier, faire des choix... Claudie Asselain-Missenard, professeur de collège et de lycée, membre de l'APMEP, nous offre une rétrospective des multiples engagements de sa carrière, qui l'amène à dégager des grands principes du métier de professeur de mathématiques.

Daniel Perrin, professeur des universités à l'IUFM de Versailles, nous présente le point de vue d'un responsable des préparations aux concours qui sélectionnent les professeurs de mathématiques du secondaire et du supérieur : il met en avant l'intérêt des problèmes de concours comme finalité d'une année destinée à solidifier et mettre en réseau les savoirs mathématiques de licence pour mieux appréhender les questions d'enseignement des mathématiques.

Inés Gómez-Chacón, de l'Universidad Complutense de Madrid, développe le point de vue d'une chercheuse en didactique des mathématiques d'un pays voisin : son texte souligne la complexité des connaissances professionnelles d'étudiants professeurs nécessaires à l'intégration des TICs dans l'enseignement des mathématiques, dont la détermination nécessite des projets de recherche à tiroirs, croisant des approches théoriques différentes. Dans l'article sont présentés des éléments de la formation des professeurs de Mathématiques en Espagne, notamment la description, le développement et les résultats d'une proposition de formation initiale des professeurs pour apprendre à enseigner les Mathématiques en utilisant les technologies nouvelles dans leurs cours (projet ESCEMMat scénarios Multimédia pour l'apprentissage des Mathématiques).

Enfin, Aline Robert, professeur des universités à l'IUFM de Versailles, chercheuse en didactique des mathématiques, conclut sur les croisements théoriques éclairant la détermination des compétences professionnelles nécessaires à l'enseignement des

³ Wenger (2005).

⁴ Inspecteur d'Académie - Inspecteur Pédagogique Régional : l'IPR est un cadre de l'Éducation Nationale qui, entre autres tâches, supervise les professeurs de collège et de lycée.

mathématiques, à la difficulté d'une formation adaptée, à la part d'improvisation permanente du quotidien de la classe et à l'infinie modestie que doit garder le chercheur face à la complexité du métier d'enseignant.

La formation des professeurs des écoles en mathématiques, deux exemples de situations, en première et seconde année (D. Butlen)

Plutôt que d'énoncer les grands principes qui organisent mes interventions en formation initiale des professeurs des écoles en mathématiques, je développe ici deux exemples de situations de formation qui me semblent emblématiques de la formation actuelle. La première situation est davantage adaptée à la seconde année de formation, alors que la seconde s'adresse plutôt à des étudiants de première année (après trois ans d'étude à l'université) préparant le concours d'entrée à l'IUFM.

Différents types de savoirs en jeu en formation initiale

M.-J. Perrin a évoqué dans son intervention les différents types de savoirs transmis en formation initiale : des savoirs académiques, des savoirs pédagogiques et des savoirs didactiques, ces derniers assurant pour une part le lien entre les savoirs académiques et les savoirs pédagogiques. Je vais développer des situations qui permettent de faire le lien entre ces différents types de savoirs.

Un premier dispositif : les ateliers d'analyse de pratiques professionnelles (seconde année)

Il s'agit d'un dispositif utilisant l'outil vidéo et fonctionnant en plusieurs étapes. Dans un premier temps, par petits groupes, les stagiaires préparent avec l'aide de formateurs, une séquence d'enseignement (trois séances s'intégrant dans la programmation d'un maître formateur). L'un d'entre eux conduit la séance dans la classe alors que les autres observent l'activité des élèves et du maître. La séance est filmée. Il s'agit donc d'élaborer, de tester et d'analyser un projet d'enseignement en « milieu protégé », indépendamment de toute évaluation. Cette séance est suivie d'une analyse à chaud, puis d'une analyse différée pendant lesquelles stagiaires et formateurs analysent le projet d'enseignement, les situations proposées aux élèves et leur mise en œuvre. Le regard porte notamment sur les gestes professionnels mobilisés et sur les éventuelles difficultés rencontrées.

Ce dispositif est repris au moins trois fois dans l'année. Comme l'analyse s'appuie sur les différents moments d'une pratique effective, elle est susceptible de convoquer les différents savoirs évoqués ci-dessus et de les mettre en relation.

En effet, l'analyse peut porter sur les savoirs en jeu ou visés par le professeur lors de la séance. Ce peut être l'occasion, en revenant sur l'analyse a priori des situations élaborées, d'interroger par exemple le choix des valeurs des variables, l'organisation du milieu. Il s'agit d'évaluer ainsi la pertinence des situations mises en œuvre, mais aussi l'activité du professeur en lien avec l'activité des élèves, notamment en essayant de mesurer les apprentissages potentiels ou effectifs. Le regard est plus particulièrement centré sur trois grands moments de l'activité de l'enseignant : la gestion des processus de dévolution, d'institutionnalisation et de régulation. La gestion de classe, d'un point de vue pédagogique mais aussi didactique, est examinée. Les formateurs s'intéressent en particulier aux gestes professionnels mobilisés à cette occasion ou qui auraient pu l'être.

Si nous étudions les savoirs didactiques mobilisés par le formateur à cette occasion, ce ne sont plus complètement les mêmes que ceux mobilisés par le chercheur. Élaborés au départ pour la recherche, notamment pour la description et l'analyse des relations entre enseignement

et apprentissage, ils sont maintenant mobilisés pour penser à la fois l'activité du professeur et pour l'aider dans son action quotidienne. Nous sommes en présence d'un phénomène de transposition. On peut identifier (cf. Robert) deux étapes. Une première transposition est effectuée en direction des formateurs, transformant ces savoirs de recherche en savoirs de formation. Ce premier travail de transposition est effectué à la fois par des chercheurs et des formateurs engagés dans des recherches en didactique ou proches de ces recherches. Une seconde transposition est ensuite effectuée en direction des enseignants ayant pour but de leur permettre de s'approprier ces savoirs de formation pour leur propre action. Cette seconde étape est le plus souvent assurée par des formateurs proches de la recherche mais qui ne sont pas nécessairement engagés dans celle-ci. Ces transpositions sont donc le résultat d'un travail d'équipe faisant intervenir différentes catégories de formateurs. Réunissant chercheurs, formateurs, enseignants experts, les IUFM nous semblent constituer une structure appropriée pour cette élaboration de savoirs nouveaux, indispensables pour la formation des enseignants.

La situation de formation que nous venons de décrire assure une cohérence à la formation dispensée en IUFM. Elle n'exclut pas d'autres stratégies de formation. Elle permet toutefois d'entrer en résonance avec les représentations des stagiaires (à partir de leurs propres pratiques). Elle prend en compte différentes dimensions des pratiques et différents points de vue (grâce aux regards croisés de formateurs de différentes catégories). Cette cohérence ne pourrait pas être atteinte par une formation qui ménagerait deux temps bien distincts : un premier temps proposant une formation académique comportant une part de didactique et des stages sensibilisant au métier et un second temps centré sur un compagnonnage entre pairs.

Un second exemple de situation de formation : les situations d'homologie

Il s'agit de situations relevant d'une stratégie moins coûteuse, mais davantage adaptée à la formation en première année qu'en seconde année car laissant encore le professeur stagiaire en position d'élève plutôt que de professeur. Le formateur propose aux stagiaires de résoudre un problème mobilisant des connaissances mathématiques dépassant les savoirs enseignés à l'école. Toutefois, le problème peut souvent être adapté et proposé à des élèves de l'école élémentaire. Le but est d'amener les stagiaires à analyser leur démarche de résolution, les connaissances mobilisées et de les repenser dans un objectif d'enseignement, notamment de les mettre en relation, de les organiser en réseaux. Il s'agit donc d'intervenir sur les connaissances des stagiaires, sur leur représentation des mathématiques et de leur enseignement. Cette étape est nécessaire. Ce type de stratégie est efficace mais une formation ne peut se limiter à ce type de situations qui laisse la responsabilité du transfert à la charge du stagiaire sans lui en donner les moyens. Les situations évoquées précédemment complètent avec profit cette dernière stratégie.

Une expérience d'inspecteur (F. Labroue)

La présence d'un inspecteur parmi les intervenants de cette table ronde peut paraître étonnante : quelle peut être la place de cet « intrus » dans un séminaire de didactique des mathématiques, au milieu de personnalités aussi reconnues pour leur réflexion et leur engagement dans la formation des enseignants ? Faut-il y voir le souci de prendre en compte des « contraintes institutionnelles » ? Comment celles-ci peuvent-elles s'articuler avec des objectifs de qualité indispensables pour aider réellement les enseignants, par leur formation initiale et continue, à exercer au mieux leur métier ?

C'est à partir d'une expérience reposant sur une pratique de professeur (en lycée et en collège) et de formateur au sein des IREM en province et à Paris, puis d'inspecteur à Créteil et à Paris, que je vais apporter un témoignage et quelques remarques en réponses aux

questions posées. Naturellement, l'apport de certaines personnes fortement impliquées dans le système éducatif et la participation à des travaux collectifs, notamment des commissions inter-IREM, des jurys de recrutement de professeurs (CAPES, CAPLP) et plus récemment la commission de réflexion sur l'enseignement des mathématiques présidée par J.P. Kahane, ont grandement contribué à enrichir ma réflexion personnelle sur un sujet aussi complexe.

L'intervention d'un inspecteur dans la formation des enseignants

Il convient d'abord de préciser que, pour les professeurs exerçant en collège ou lycée, un inspecteur n'anime pas directement des stages de formation, sauf éventuellement pour présenter des aspects réglementaires concernant essentiellement des modalités d'examen, de nouveaux dispositifs ou des programmes officiels ; dans ce dernier cas, les exemples de mise en œuvre comportant des contenus mathématiques sont présentés par des formateurs.

Cependant, la formation des enseignants fait partie des missions statutaires d'un inspecteur.

En formation initiale

Il s'agit essentiellement de deux types d'intervention, hors l'évaluation finale des PLC2 :

- Participer au choix des établissements et des conseillers pédagogiques pour les stages concernant les professeurs stagiaires (1^{ère} et 2^{ème} année), ce choix pouvant être plus ou moins restreint pour les stages en responsabilité des PLC2, suivant l'écart entre le nombre d'établissements exprimant un besoin compatible avec le statut des stagiaires et le nombre de ceux-ci ;
- Participer à un bilan organisé par l'IUFM en cours d'année scolaire concernant l'ensemble des PLC2 et débouchant éventuellement sur la définition de parcours individualisés pour certains d'entre eux.

En formation continue

Les types d'intervention varient selon la nature des stages au sein du plan académique de formation (PAF) qui concerne les professeurs de l'enseignement public.

Stages à candidatures individuelles

- Proposer une rédaction du cahier des charges pour l'ensemble de ces stages en tenant compte des besoins constatés et des priorités nationales et académiques.
- Étudier les propositions de stages reçues en retour (les deux IREM Paris 7 et Paris Nord étant des partenaires essentiels par la qualité et la complémentarité de leurs projets) et participer à certains arbitrages avant la validation du PAF.
- Organiser d'éventuelles relances pour les inscriptions à certains stages.
- Analyser *a posteriori* le bilan annuel de ces stages.

Stages à public désigné (nouveaux titulaires, stagiaires en situation, professeurs à besoins particuliers)

- Proposer une rédaction du cahier des charges pour l'ensemble de ces stages.
- Organiser le cadrage de ces stages, avec notamment le choix des formateurs.
- Intervenir éventuellement sur des aspects réglementaires.
- Analyser *a posteriori* le bilan annuel de ces stages.

Stages sur site

Il s'agit de stages d'initiative locale proposés par un établissement, plusieurs établissements ou un bassin.

- Émettre un avis sur l'opportunité de ces stages et suggérer d'éventuelles modifications.
- Proposer, dans certains cas, des formateurs.
- Participer au bilan.

Animations

Il s'agit de stages organisés par l'inspection pour présenter des nouveautés dans le domaine de la réglementation ; ils se présentent sous la forme de quelques séances répétitives permettant à l'ensemble des établissements (publics ou privés sous contrat) concernés d'être représentés par quelques professeurs qui ont la charge de transmettre les informations à leurs collègues.

- Proposer les thèmes et une organisation de ces stages.
- Organiser le cadrage de ces stages avec les formateurs choisis.
- Présenter les aspects réglementaires.
- Participer au bilan.

Recrutement et formation des formateurs

Compte tenu de la pyramide des âges des formateurs et de la multiplicité des thèmes à traiter, le recrutement de nouveaux formateurs constitue une priorité et, conformément à leur statut, « les inspecteurs, par leur connaissance des établissements et des professeurs, font partie des personnes-ressources pour le choix des conseillers pédagogiques, des formateurs et des tuteurs ».

Cependant, l'exercice des fonctions de professeur et de formateur ne reposant pas sur les mêmes compétences, il est indispensable que les formateurs puissent bénéficier d'une véritable formation spécifique de qualité. C'est pourquoi, depuis plusieurs années, l'inspection contribue à sensibiliser les professeurs désirant travailler en tant que formateurs à préparer le master professionnel « Métier de formateur d'enseignants de mathématiques (lycée et collège) » délivré par l'Université Denis Diderot - Paris 7 ; cette formation inter-académique échelonnée sur deux ou trois ans s'appuie, dès la première année, sur une analyse des pratiques enseignantes liée à des contenus théoriques permettant au futur formateur de prendre du recul par rapport à son expérience personnelle d'enseignant.

À cette formation « initiale » de formateur s'ajoutent aussi quelques occasions, limitées essentiellement par la disponibilité des personnes concernées, de formation continue au niveau académique, à l'initiative de l'inspection et animées par des universitaires, par exemple sur l'introduction du calcul littéral au collège ou sur l'apport de logiciels d'exercices au lycée. Au-delà du cadre strict des mathématiques, on peut aussi signaler la mise en place d'une formation pour des triplettes de formateurs (premier degré, second degré en français et mathématiques) chargées des stages de liaison école-collège.

Un essai de bilan

Formation initiale

Je laisserai à d'autres intervenants beaucoup plus engagés dans la formation initiale le soin de dresser un bilan concernant celle-ci au moment où sa réorganisation est devenue un sujet d'une brûlante actualité. Je me limiterai à trois observations :

- La nécessité de permettre à un étudiant de disposer non seulement d'un corpus de connaissances en mathématiques suffisamment consistant, mais aussi d'une véritable organisation structurée de ses savoirs, ce qui nécessite un travail et un temps spécifiques ;

- La nécessité d’une réflexion didactique de qualité sur les apprentissages des élèves en mathématiques dans le contexte actuel, susceptible, au-delà du vécu personnel (notamment en collège) d’un étudiant performant et de son éventuelle expérience de cours particuliers, de servir de point d’appui efficace à une formation continue ;
- L’importance du choix des établissements et des conseillers pédagogiques, l’objectif étant de faire bénéficier les professeurs stagiaires d’une formation leur permettant d’adapter le mieux possible, dès l’année suivante, leur enseignement à des situations plus ou moins sensiblement différentes.

Formation continue

En ce qui concerne la formation continue, le premier élément généralement mis en avant est la faiblesse du nombre de professeurs de mathématiques inscrits aux stages à candidatures individuelles qui peut conduire à fermer certains d’entre eux. Cette réalité indiscutable, qui n’est pas spécifique aux mathématiques, doit cependant être nuancée et analysée en s’intéressant à l’ensemble des éléments constituant la formation continue et en observant les évolutions du contexte au cours des dernières années :

- Chaque fois que des contenus mathématiques absents de la formation initiale de la majorité des professeurs ont été introduits dans les programmes des classes, les inscriptions aux stages centrés sur l’acquisition et l’enseignement de ces savoirs ont été importantes : statistique inférentielle et fiabilité en sections de techniciens supérieurs, théorie des graphes en terminale ES. Aujourd’hui, le problème se pose pour l’introduction des probabilités en troisième ;
- Les relances d’inscription effectuées en début d’année scolaire, sur quelques stages ciblés, permettent d’augmenter le nombre de stagiaires ;
- Les formations sur site se développent de plus en plus : correspondant à un besoin ressenti, elles permettent de travailler dans le contexte propre à un ou plusieurs établissements, ce qui est particulièrement le cas pour l’utilisation des TICE (équipement informatique) ou des liaisons école-collège ou collège-lycée ;
- La multiplicité des nouveautés institutionnelles introduites ces dernières années, notamment en collège (socle commun de connaissances et de compétences, projet personnalisé de réussite éducative PPRE, accompagnement scolaire, B2i, etc.) a amené des professeurs à participer à une succession de réunions d’information ou de formation sur ces sujets ;
- Les formations concernant l’intégration de l’outil informatique dans l’enseignement des mathématiques, organisées depuis de nombreuses années sous des statuts différents au sein de la formation continue (y compris des présentations proposées par le CRDP), ont permis une avancée très significative de la pratique dans les classes, en salle de cours avec vidéo projection ou en salle d’informatique, qui franchit une nouvelle étape avec l’évaluation du B2i et l’expérimentation d’une épreuve pratique de mathématiques pour la série S ;
- Les informations fragmentaires dont on dispose sur l’indice de satisfaction des stagiaires présents aux différentes formations en mathématiques attestent d’une reconnaissance de la qualité des interventions et de l’adéquation avec les objectifs attendus.

Ainsi, un bilan reposant sur une observation partielle à un instant donné donne une vision insuffisante pour apprécier d’une part la globalité de la formation continue vécue par les professeurs et, d’autre part, l’évolution qualitative de celle-ci au cours des dernières années. Il faut du temps, de la persévérance et naturellement des moyens adaptés pour progresser dans ce domaine, la présence d’un nombre suffisant de formateurs de qualité étant une nécessité.

En guise de conclusion

Le problème complexe de la formation initiale et continue des professeurs ne saurait trouver ici une réponse globale en quelques phrases. En revanche, le rapport rédigé à ce sujet il y a quelques années par la commission de réflexion sur l'enseignement des mathématiques présidée par J.P. Kahane me semble conserver toute sa pertinence.

Je me limiterai donc à souligner quelques éléments :

- L'importance d'une formation initiale de qualité, dans ses aspects scientifiques et didactiques, constituant un point d'appui efficace pour la formation continue ;
- L'importance des analyses de pratiques, élément essentiel d'une formation centrée sur les apprentissages dans des situations variées ;
- L'importance de la formation des formateurs dont le nombre et les centres d'intérêt doivent permettre de constituer un maillage suffisamment fin pour répondre aux nombreux besoins.

Pour conclure, posons-nous la question suivante : si nous n'avons droit qu'à un mot pour résumer le métier d'enseignant, lequel paraît le plus pertinent ? Ma préférence va au verbe d'action *choisir*.

En effet, à chaque instant, un professeur est amené à effectuer des choix en fonction du contexte de son enseignement : dans la préparation et la gestion d'une séquence, dans la mise au point d'un sujet de devoir, dans l'élaboration d'un barème, etc. Et de ces choix découle, pour une bonne part, la portée de son enseignement.

Aussi est-il essentiel que la formation initiale et la formation continue contribuent à :

- Ouvrir l'éventail des choix possibles ;
- Développer l'autonomie de jugement permettant de justifier les choix effectués.

Tel est, à mes yeux, l'objectif fondamental d'une formation de professeurs.

Le point de vue d'une professeure de mathématiques, militante de l'APMEP⁵ (C. Asselain-Missenard)

Sujet. Donnez votre point de vue, le plus synthétique possible, à partir des questions suivantes : comment intervenez-vous en formation ? Quel bilan en faites-vous ? Quelles modifications vous sembleraient utiles ?

Je vais parler de moi, d'abord parce que c'est ce qu'on m'a demandé et aussi parce que mon âge avancé et l'expérience qui est censée aller avec m'y autorisent. Mais en partant de mon expérience, je vais essayer d'extraire quelques idées qui me tiennent à cœur.

Je suis d'abord professeur de collège (avec une incursion plus récente en lycée, qui m'a permis de voir que ce n'est pas très différent). Mon métier, c'est d'être en face d'élèves, enfants et adolescents. Mais on ne peut pas exercer ce métier sans essayer d'avoir en parallèle un regard distancié, un peu externe sur sa pratique. En gros, mon métier c'est d'avoir le nez dans le guidon, mais je pense qu'il est fondamental de lever la tête à intervalles réguliers si on veut éviter les risques de collision...

Principe P1 : la réflexion autour de sa pratique fait partie intégrante du métier d'enseignant.

⁵ Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public : créée en 1910, elle regroupe d'abord les professeurs de mathématiques du secondaire (6^{ème} et au-delà) avant de s'ouvrir à tout enseignant de mathématiques du primaire au supérieur.

Reste à voir comment c'est possible, quel est le rôle de l'institution, comment elle y incite ou freine. Je vais essayer de le montrer dans la suite à partir de ce que j'ai vu et fait. Mais je peux déjà dire que ce truc qui va de soi n'est pas totalement intégré dans les mœurs, loin s'en faut.

Formation initiale

En parallèle à mon métier d'enseignant sur le terrain, j'ai une expérience de formateur dans l'institution. Je suis intervenue en formation initiale de professeurs du second degré dans deux cadres :

1- Comme conseiller pédagogique, et ça j'y crois. Tant dans le tutorat d'un jeune collègue qui aborde pour la première fois son métier que dans la pratique accompagnée, où un conseiller pédagogique entouré de deux ou trois stagiaires décortique finement une séquence d'enseignement que l'un d'eux vient d'animer.

Et ça, d'une part c'est passionnant, d'autre part c'est scandaleux que ce ne soit pas répandu hors le cadre de la toute première année. Ce devrait être une pratique courante d'aller voir les uns chez les autres comment ça se passe.

Le métier d'enseignant est chez nous beaucoup trop solitaire et c'est nuisible : panique quand M. Labroue débarque, tant l'enseignant a pour règle d'être seul maître à bord. Cela montre à quel point un regard externe sur ce qu'on fait dans sa classe est perçu comme une intrusion. Ce serait différent si enseigner sous le regard des autres était une pratique courante. Cette tendance solitaire est nocive car elle favorise la tendance à figer sa pratique, à croire que ce qu'on fait est la seule façon de faire (et la seule bonne !).

Principe P2 : tout enseignant gagnerait à accepter dans sa classe le regard des autres et les échanges qui en découleraient.

Ce n'est pas compliqué d'un point de vue pratique, ce n'est pas coûteux, mais ça exige une certaine évolution (voire révolution) des mentalités.

2- Comme tuteur de mémoire pour les PLC²⁶. Ce n'est pas parce que la chose a plus ou moins disparu que l'on ne peut pas dire deux mots. Cet exercice de s'extérioriser par rapport à ce qu'on fait, réfléchir autour et l'écrire, c'est certainement formateur.

On peut sans doute dire que ça venait trop tôt. La première année, on ne peut pas demander cela. Par contre, le demander un peu plus tard, voire régulièrement devrait être une pratique courante de formation continue. Réfléchir, agir et savoir mettre en mots ce qu'on a fait et pourquoi devrait faire partie des compétences de tout enseignant.

Principe P3 : écrire chaque année quelques pages sur ce qu'on a entrepris, ce qu'on a réussi, ce qu'on a voulu faire et pas fait, pourquoi pas ?

Ce serait sans doute plus formateur que de recevoir une fois tous les 5 ans un inspecteur une heure en serrant les fesses. Ce serait une base d'évaluation au moins aussi bonne que cette pratique quinquennale.

Formation continue

J'ai en parallèle quelques expériences de formation continue, finalement assez diverses. À mes débuts, l'enseignement des maths était tout juste sorti de la tempête Lichnerowitz⁷. Les IREM⁸ étaient à leur apogée, actifs et avec des moyens réels.

⁶ Professeur stagiaire de lycée ou de collège (de la 6^{ème} à la 12^{ème}) (en deuxième année de formation à l'IUFM).

⁷ Lichnerowicz préside de 1966 à 1973 la Commission ministérielle sur l'enseignement des mathématiques.

⁸ Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques.

Dès ma première année, nommée à La Norville, collège de banlieue, j'ai bénéficié d'une configuration exceptionnelle : un corps enseignant de maths composé pour moitié de jeunes tout droits sortis du concours (avec des connaissances disciplinaires fraîches, mais aucune connaissance des élèves) et l'autre moitié de PEGC⁹ expérimentés, mais qui étaient légèrement déstabilisés par la révolution dite des maths modernes. C'était une évidence que tout ce monde gagnerait à travailler ensemble. On l'a fait et on a eu les moyens pour le faire. Groupe IREM auto-constitué (vaguement animé par un formateur, peu enthousiaste à se déplacer en si grande banlieue).

Assez vite, j'ai rejoint les rangs des animateurs IREM à l'IREM Paris 7. Dans une structure assez peu contrainte, on réfléchissait en groupes mixtes (enseignants du secondaire et du supérieur) à des questions d'enseignement librement choisies, et cette réflexion débouchait sur des publications, des groupes de réflexion réguliers et des stages où s'inscrivaient ceux qui voulaient (c'était le début de la mise en place de structure dévolues à la formation continue). Tout ça dans une très grande liberté.

Évidemment, l'idéalisation du passé englouti joue un rôle dans mon regard sur cette période, mais je crois qu'il y avait un élan qui s'est un peu perdu dans les sables.

Puisque Aline Robert m'a présentée ici avec une de mes casquettes, qui m'est chère, de militante de l'APMEP, j'évoquerai aussi la formation qui se met en place au sein d'une association de spécialiste comme celle là. Les ateliers des Journées Nationales sont un bon exemple. Le public est volontaire, il vient même en payant, et sur son temps de vacances. Bien sûr, on trouve de tout dans les ateliers de l'APM. Mais la majorité des interventions et des conférences sont de très grande qualité et l'ambiance est souvent un peu magique, parce que les gens qui sont là savent vraiment pourquoi ils sont là. C'est comme pour les élèves : l'envie d'être là favorise l'apprentissage.

Principe P4 : la formation entre pairs, la mutualisation des compétences sur le lieu de travail est un ressort de formation à ne pas négliger.

Principe P5 : la formation gagne en efficacité si les formés sont eux-mêmes à l'origine de la démarche.

Une autre approche est la formation dans la réalisation d'un projet commun. J'ai eu l'occasion pendant un certain nombre d'années de travailler dans un secteur assez riche sur le plan des mathématiques, Orsay et sa verte vallée, le pays de Daniel Perrin. Et d'y impulser diverses actions toutes basées sur l'échange et la confrontation de pratiques entre écoles primaires, collège, lycée et université. Jumelages de classes école-collège, collège-lycée, universitaires dans les classes, pratiques de clubs de maths et échanges entre ceux-ci...

Et là, je peux dire qu'on a tous beaucoup appris les uns des autres.

Principe P6 : la réflexion autour de son enseignement s'enrichit de la confrontation avec la pratique des gens des métiers voisins.

Enfin, j'en arrive au bout, j'ai presque fini de vous raconter ma vie, avec mes expériences plus récentes de formateurs ces dernières années. J'ai été embauchée par la DAFOR (rectorat de Paris) pour animer des stages sur sites de liaison entre école et collège. Pour moi, ça a été une expérience mitigée. Bien sûr, on peut se dire qu'une petite graine semée finit presque toujours par germer et qu'avec des objectifs modestes, mine de rien, on peut faire évoluer les mentalités et les pratiques.

Alors pourquoi est-ce que je juge (sans doute avec un excès de sévérité) cette expérience négative ? Ça consistait à aller dans un collège (lambda, sans tradition particulière d'échanges

⁹ Professeurs d'Enseignement Général de Collège, recrutés à partir de 1969 : professeurs enseignant deux disciplines, anciens instituteurs (corps en voie d'extinction).

inter degrés) et de mettre ensemble professeurs des écoles du secteur et profs de sixième. Le formateur avait pour rôle de faciliter les échanges. Outre des problèmes d'organisation et d'ambition de ces formations (où le côté pluridisciplinaire compliquait les choses), nous nous sommes heurtés à un problème structurel.

Ces formations sur site sont décidées par un chef d'établissement qui sent bien que ça ne se passe pas comme il voudrait et il fait appel à la formation continue pour l'aider à résoudre son problème. Les enseignants se sentent forcés d'assister au stage et perçoivent cette formation imposée comme une négation de leur compétence. Il faut vraiment être très bon pour renverser cet état d'esprit quand c'est le cas ! Je dois dire que notre plus sûr appui dans ces confrontations a été celui des enseignants du premier degré, qui contrairement aux profs de collège, concevaient la formation continue comme une pratique normale et pas comme une insulte à leurs compétences.

Principe P7 : la formation est plus fructueuse si elle apparaît comme une pratique usuelle, un complément habituel de l'acte d'enseigner.

En conclusion

Dans la cité idéale du formateur Missenard...

- La réflexion autour de sa pratique ferait partie intégrante du métier d'enseignant.
- Il serait naturel pour un enseignant d'accepter régulièrement dans sa classe le regard des autres et les échanges qui en découleraient.
- Chaque acteur aurait plaisir à écrire chaque année quelques pages pour analyser ce qu'il a entrepris, ce qu'il a réussi, ce qu'il a voulu faire et pas fait, et le présenter à un regard externe, pas forcément hiérarchique.
- La formation entre pairs, la mutualisation des compétences sur le lieu de travail, serait une pratique banale.
- Les formations seraient fructueuses car les formés seraient eux-mêmes à l'origine de la démarche.
- La réflexion de chacun autour de son enseignement s'enrichirait de la confrontation avec la pratique des gens des métiers voisins.
- La formation apparaîtrait comme une pratique naturelle, un complément habituel de l'acte d'enseigner.

Quand toutes ces conditions seront réunies, l'expertise du formateur s'imposera comme une nécessité clairement perçue par tous : son rôle sera à la fois simple et essentiel !

Le point de vue d'un responsable de la préparation aux concours du CAPES et de l'Agrégation de mathématiques (D. Perrin)

Je suis responsable depuis 18 ans de la préparation au CAPES d'Orsay après avoir été pendant 15 ans responsable des préparations à l'agrégation des ENS de Sèvres et Ulm. Les idées que je présente ici ont été rédigées dans le rapport de la commission Kahane sur la formation des maîtres, auquel je renvoie¹⁰.

Quelles interventions dans la formation ?

Je vais résumer les points forts de la préparation, comme responsable plutôt que comme intervenant. Il y a deux objectifs majeurs.

¹⁰ Pour le trouver, il suffit de taper Kahane, formation des maîtres, sur Google.

La préparation à l'écrit : solidification des connaissances

Contrairement à certains, je ne pense pas du tout que la préparation à l'écrit du CAPES soit un bachotage¹¹, bien au contraire. Lorsque les étudiants abordent la préparation au CAPES, ils sont titulaires d'une licence, mais il faut se garder de croire que les connaissances qui figurent au programme de celle-ci sont acquises. Il y a au moins deux raisons pour qu'il n'en soit pas ainsi :

1) L'émiettement des modules, accentué encore par le système LMD, qui fait que les connaissances ne sont pas corrélées, qu'elles ne forment pas un tout cohérent.

2) Le système des examens et partiels qui fait qu'on n'interroge que sur une petite partie du programme, et en posant (en général) des exercices disjoints qui ne nécessitent pas une remise en ordre des connaissances.

Au contraire, l'écrit du CAPES, qui porte sur un programme vaste (même s'il ne fait intervenir essentiellement que les deux années L1 et L2), avec des problèmes complexes, où les parties s'enchaînent et où il s'agit de mettre en œuvre toutes les connaissances, oblige à ce travail de reconstruction, de stabilisation et de mise en cohérence.

La préparation à l'oral : le lien avec l'enseignement du second degré

C'est sans doute le point le plus important. L'intérêt de la préparation au CAPES, notamment de la préparation à l'oral, est de faire le lien entre les connaissances acquises lors des études supérieures et les connaissances à enseigner dans le second degré. Elle vise à donner le recul indispensable pour enseigner de manière souple et attentive. Je vais illustrer cette thèse par quelques exemples.

Le lien entre aires, intégrales et primitives

Dans leur cursus universitaire, les étudiants rencontrent l'intégrale de Riemann, voire celle de Lebesgue, mais, il est exceptionnel qu'on ait attiré leur attention sur les rapports entre ces notions et le problème de la mesure des aires ou des volumes. En particulier, la réflexion sur les liens entre aires, intégrales et primitives est souvent un peu courte, notamment par rapport au programme actuel.

Ces divers points sont abordés lors de la préparation à l'oral, dans l'exposé qui porte sur primitives et intégrales mais aussi lors des épreuves sur dossier (calcul de π par la méthode d'Archimède ou de Descartes, par exemple).

Les fonctions trigonométriques, la limite de $\sin x / x$ en 0

La plupart des étudiants, lorsqu'ils arrivent au CAPES, n'ont jamais rencontré une approche rigoureuse¹² des notions de longueur d'arc et d'aire qui permet de traiter géométriquement une question comme la limite¹³ de $\sin x / x$ en 0. C'est important car, sans cette réflexion, les jeunes professeurs ne seront pas convaincus qu'un tel traitement géométrique est possible et s'empresseront d'admettre ces résultats sans en proposer une justification, même incomplète, à leurs élèves¹⁴.

¹¹ Il pourrait y avoir bachotage si l'on connaissait d'avance le type d'épreuves qui seront proposées. Or, l'expérience montre, au contraire, qu'on ne peut jamais savoir ce qui va sortir, contrairement aux examens de l'université.

¹² Sauf peut-être via l'exponentielle complexe, totalement hors sujet ici.

¹³ Quatre-vingt dix fois sur cent, si on leur demande d'établir l'inégalité $\sin x \leq x \leq \tan x$, qui permet de déterminer la limite de $\sin x / x$, ils étudient les fonctions différences en les dérivant, alors que ladite limite est le point de départ de la dérivation des fonctions trigonométriques.

¹⁴ Pour voir qu'une approche géométrique consistante est possible, on regardera ce que proposaient sur ce sujet les manuels des années 1960, le livre de la collection Monge par exemple.

Quel bilan ?

Le bilan de la préparation au CAPES, dans la perspective de la formation des maîtres, me semble extrêmement positif, pour les raisons que j'évoquais plus haut : solidification des connaissances, lien entre les connaissances universitaires et celles enseignées dans le second degré.

Malgré cela, l'objectif principal de la préparation, qui est le passage d'un statut d'étudiant à un statut de futur professeur, n'est que partiellement atteint. Ainsi, on souhaiterait que, face à un exercice, les futurs professeurs ne se contentent pas de le résoudre, mais aussi :

1) Qu'ils comprennent comment cet exercice est fabriqué, comment on pourrait le modifier, etc. Par exemple, face à un exercice portant sur l'écriture de e à l'aide de la suite des $1/n$! qu'on trouve dans certains manuels rédigé avec des récurrences et des intégrations par parties, sans explication, il me semble essentiel que les futurs professeurs se demandent d'où sort cette méthode (en général ils ne se posent pas la question) et qu'ils y reconnaissent la formule de Taylor avec reste intégrale (qui leur est familière par ailleurs).

2) Qu'ils ne se contentent pas de trouver une solution (même si elle est suggérée par l'énoncé) mais qu'ils en cherchent d'autres, dans le but d'en trouver éventuellement une meilleure, et surtout, de prévoir les méthodes que pourraient utiliser des élèves, afin de les conforter ou de les réfuter.

L'expérience montre qu'il est très difficile d'atteindre cet objectif.

Quelles modifications ?

Bien entendu, aucune formation n'est parfaite et il est facile de repérer des manques. Dans le cas présent, j'en relèverai deux¹⁵.

La géométrie

C'est un point sur lequel les études supérieures sont très pauvres et présentent un certain nombre de lacunes.

Euclide, Hilbert, etc.

Dans les cursus universitaires, la géométrie est souvent absente, ou très limitée. De plus, dans la préparation à l'écrit du CAPES elle est traitée, en général, dans le cadre des espaces vectoriels et affines. Or, cette approche n'est d'aucun secours pour un enseignant de collège¹⁶. Il serait au moins aussi important d'avoir une connaissance (qui n'a pas besoin d'être très approfondie) d'une axiomatique du type de celle d'Euclide-Hilbert. En effet, seule cette axiomatique leur donnerait les moyens de savoir sur quoi reposent les résultats de géométrie du collège et comment ils s'articulent les uns aux autres : c'est le souci de la cohérence.

Les polyèdres

C'est un point qui n'est pas abordé en général en préparation au CAPES, faute de temps, et qui est pourtant très important mathématiquement et culturellement. L'expérience que j'ai menée pendant des années en licence pluridisciplinaire montre que c'est tout à fait possible.

¹⁵ Certains diront que l'absence d'une formation professionnelle est un manque du CAPES. Je ne suis pas vraiment d'accord avec cette opinion. Je pense en effet que chaque chose doit venir à son heure et que le système actuel qui renvoie (pour l'essentiel) la formation professionnelle à la seconde année d'IUFM n'est pas si mauvais.

¹⁶ Au niveau de la terminale, elle est utile car elle permet aux enseignants d'avoir un « temps d'avance » sur leurs élèves. Par exemple, le passage par les applications linéaires permet de répondre très rapidement à la question de la composition de deux rotations planes.

D'autres points culturels importants : Erlangen, Bolyai, les géométries non euclidiennes

Je cite, en vrac, un certain nombre de points, que j'estime importants sur le plan culturel et que l'on pourrait aborder si le temps ne nous était pas compté.

- Le programme d'Erlangen. C'est un texte fondateur de la géométrie actuelle. Il s'agit surtout de reconnaître la nature d'un problème et d'identifier les outils appropriés pour le résoudre.
- Un théorème comme celui de Bolyai (qui dit que deux polygones de même aire sont équivalents par puzzle) est intéressant car il constitue la justification théorique des pratiques de découpage et recollement que l'on utilise à l'école et au collège.
- Enfin, il ne me semble pas normal qu'un professeur de mathématiques puisse ignorer qu'il existe des géométries non euclidiennes. C'est d'autant plus dommage qu'on peut aujourd'hui, grâce aux logiciels de géométrie dynamique, explorer très aisément ces géométries.

La modélisation

C'est un point qui est abordé lors de la préparation à l'oral du CAPES, mais encore insuffisamment à mon sens. Une amélioration en ce sens nécessiterait sans doute de réfléchir un peu plus aux liens qui unissent les mathématiques et les autres disciplines (et notamment la physique).

Des propositions ?

Dans l'état actuel des choses, avec ce que je peux connaître de la réforme qui se prépare et à laquelle je suis totalement, radicalement et définitivement hostile, avec le gouvernement et le président que nous avons, je me garderai bien de proposer quelque chose, de peur que cette proposition ne soit reprise à l'encontre des enseignants et de leur formation comme c'est le cas sans cesse à l'heure actuelle. Un seul exemple : les directeurs d'IUFM ont proposé, pendant des années, la masterisation de la formation des maîtres. Les voilà servis, à un détail près qu'ils n'avaient pas prévu, c'est que les IUFM vont sans doute en être les premières victimes.

Mathématiques et technologies - Apprentissage du professeur et stratégies de formation (Inés M^a Gómez-Chacón)

Introduction

Certaines questions proposées par l'organisation nous ont semblé spécialement intéressantes, notamment sur la formation des professeurs. Nous avons centré notre réflexion sur : Quel genre d'interventions réalisons-nous dans la formation des professeurs dans notre contexte ? Quel bilan faisons-nous ? Et quelles modifications nous semblent utiles ?

Afin de donner une réponse à ces questions, l'article est structuré de la manière suivante : premièrement, sont brièvement expliqués certains éléments de la formation des professeurs de Mathématiques en Espagne ; ensuite est présenté un exemple de formation initiale pour apprendre à enseigner les Mathématiques à l'aide des technologies que nous développons depuis 2006 dans la Facultad de Ciencias Matemáticas de l'Université Complutense de Madrid. Cet exemple est l'occasion d'explicitier des questions concernant la formation des professeurs de mathématiques et la technologie, le cadre théorique qui soutient la formation, la stratégie de formation, les activités menés et le bilan.

La formation de professeurs de Mathématiques en Espagne

De nos jours, la formation des professeurs de mathématiques en Espagne est observée à travers trois perspectives différentes : en tant que cadre institutionnel, en tant que contexte pratique de la Didactique des Mathématiques et en tant que domaine de recherche.

En Espagne, les domaines de recherche, Didactique des Mathématiques et formation des professeurs de Mathématiques sont mises en relation grâce à un lien commun, le contexte pratique de la formation de professeurs de Mathématiques et participent à l'organisation des plans de formation des professeurs.

De même, de nombreux efforts ont été réalisés pour expliquer les caractéristiques des modèles de formation des professeurs. La recherche d'un « modèle idéal » a entraîné une réflexion sur les éléments qui doivent caractériser le savoir professionnel désiré, en particulier pour la formation didactique et mathématique initiale des professeurs de l'école primaire et de secondaire. Des aspects théoriques et méthodologiques sous-jacents ont été rassemblés (Giménez, Llinares & Sánchez, 1996 ; Llinares, 2002 ; Carrillo & Climent, 1999 ; Rico, 2004 ; Gascón & Bosch, 2007 ; types d'actuation (Blanco & Contreras, 2002 ; Alsina, Burgués, Fortuny, Giménez & Torra, 1995) ; ressources (Godino, 2004, Projet EDUMAT).

Ces travaux de recherche et de formation de professeurs se basent sur des cadres théoriques de référence très différents : il est ainsi très difficile de donner un résumé et un modèle unique pour le cadre de formation des professeurs en Espagne. Néanmoins, on peut souligner certains aspects dans lesquels la recherche du « modèle idéal » trouve un consensus. Par exemple : commencer le processus de formation des professeurs à partir du savoir empirique de l'apprentissage de l'enseignement et des représentations du professeur ; considérer le professeur de mathématiques comme un professionnel actif dans le contexte du cours de mathématiques ; renforcer le savoir du professeur pour enseigner les mathématiques ; développer de nouvelles compétences « personnelles » nécessaires suite aux changements sociaux qui concernent l'école, comme le mouvement migratoire, les contextes socioculturels multiples dans les classes et le développement des nouvelles technologies.

Pérez (2006) a réalisé une étude dans les centres d'enseignements de la sous-direction territoriale de Madrid-Capitale sur la situation réelle de l'intégration des TICs dans l'enseignement. Cette étude a mis en évidence que, même si les professeurs considèrent que les TICs contribuent à améliorer l'enseignement de la discipline et les considèrent comme un instrument nécessaire, l'intégration dans le processus d'enseignement des mathématiques n'est pas un phénomène généralisé. Dans certains niveaux d'enseignement, comme le premier cycle de secondaire, cette pratique est inexistante. En outre, un résultat de cette étude est qu'actuellement, les curricula ne proposent pas leur intégration. Les professeurs se servent des TICs et d'internet pour préparer les cours, élaborer des épreuves et des examens et pour obtenir de l'information liée à la matière. Il existe une demande de formation des professeurs sur les matériaux didactiques liée aux aspects curriculaires et méthodologiques.

Actuellement en Espagne, il existe des équipes qui cherchent à répondre à cette demande en proposant des projets de recherche financés par le Plan National sur les environnements d'apprentissage et le tutorat pour la formation d'enseignants, les modèles théoriques en didactiques des mathématiques dans un environnement informatique (Cobo et *al.*, 2007 ; Fortuny, 2008 ; Llinares, 2004).

Pour finir sur cet aspect prospectif, la communauté de chercheurs a comme défi de donner une réponse au rôle que joue la création de certains processus de formation dans ce qu'apprend le professeur et de caractériser la façon avec laquelle on apprend, et en particulier dans les contextes d'apprentissage des mathématiques à travers des environnements technologiques.

Questions sur la formation des professeurs en mathématiques et en technologie

La question qui nous a guidée est le besoin d'une formation adéquate des professeurs pour l'implémentation des TICs dans le cours de mathématiques. Le travail du professeur dans le cours avec des environnements informatiques est complexe, il requiert des nouvelles compétences techniques, didactiques et mathématiques (Artigue, 2002 ; Trouche, 2005). Par conséquent, une révision des stratégies de formation initiale des professeurs de mathématiques est nécessaire dans ce domaine. Nous avons choisi la formation initiale des professeurs de mathématiques, en supposant que ces cours peuvent aider les professeurs en formation à apprendre des stratégies d'intégration et d'introduction, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui.

Les hypothèses qui ont guidé cette proposition de formation sont les suivantes :

- H1 : le fait d'utiliser, comme étudiant, un software pour résoudre les problèmes de mathématiques pendant le cursus universitaire ne débouche pas de façon spontanée sur l'élaboration d'une méthode, comme professeur, pour l'intégration du software dans des situations d'enseignement ;
- H2 : l'influence positive que la formation à l'usage des TICs exerce dans l'activité de l'étudiant-professeur dans ses croyances et dans ses activités, apprendre à enseigner à travers des créations expérimentales d'intégration de technologie où se visualise l'articulation entre la genèse instrumentale d'utilisation et les besoins dans le développement professionnel du professeur (composantes cognitives, médiatiques, personnelles et institutionnelles).

En accord avec ces hypothèses ont été construites diverses expériences de situations de formation dans le cadre du développement du curriculum pour l'éducation supérieure (éducation mathématique dans la licence de Mathématiques), en suivant les directives du processus de convergence européen. Ces scénarios sont pensés pour que les étudiants universitaires du second cycle spécialisés en méthodologie et en didactique des Mathématiques (possibles futurs professeurs de mathématiques dans l'enseignement au lycée) acquièrent ou perfectionnent les compétences nécessaires pour enseigner les mathématiques en utilisant les nouvelles technologies dans les cours avec leurs élèves. On a appelé ces scénarios ESCEMMat (scénarios Multimédia pour l'apprentissage des mathématiques) ; le matériel relatif au curriculum de ces scénarios se trouve en format multimédia (en format site web avec des vidéos et des documents de texte, Fig.1).

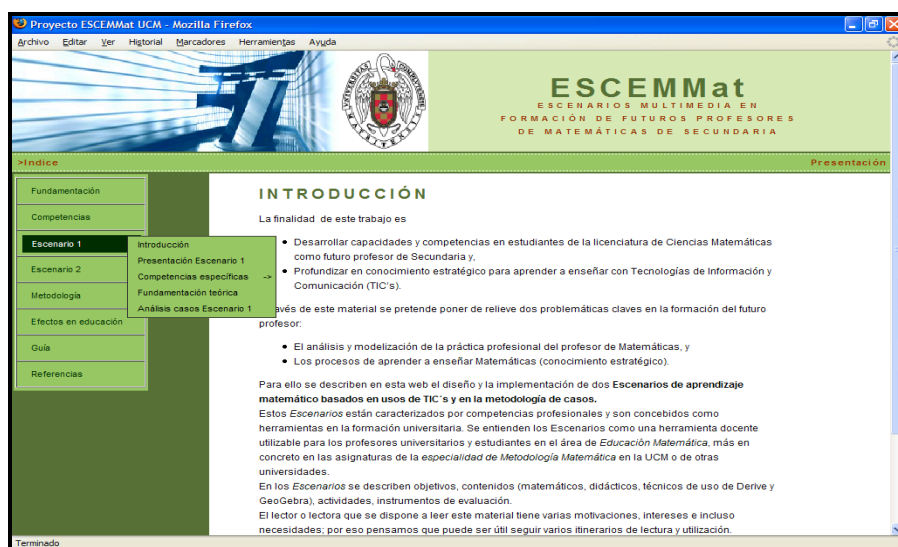


Fig. 1 - Introduction de site web ESCEMMat

Dans ce qui suit sont précisés le cadre théorique de référence en rapport avec la formation des professeurs et avec l'enseignement et l'apprentissage avec la technologie en mathématiques, puis la méthodologie utilisée dans la recherche (*Design Based Research*), et le processus formatif continu. Enfin sont évoquées les premières conclusions de ce travail.

Approche théorique

Les cadres théoriques pris en considération dans le développement de cette étude se réfèrent à la formation des professeurs, à l'enseignement et à l'apprentissage avec les nouvelles technologies dans le cours de mathématiques.

Pour l'établissement des compétences, l'analyse des pratiques d'enseignement et les situations spécifiques de formation, nous avons utilisé comme cadre conceptuel la double approche définie par Robert et Rogalski (2002) qui croise une approche d'ergonomie cognitive avec une approche didactique de l'activité du professeur. Néanmoins, cette double approche n'a pas été conçue pour analyser les pratiques du professeur dans des contextes technologiques. Pour cela, il a été nécessaire de considérer dans notre cadre, en tant que complément, l'approche instrumentale développée par Rabardel (1999) qui a déjà été prise en considération dans le cadre de l'éducation mathématique dans de nombreuses études (voir Artigue, 2002 ; Haspekian, 2005 ; Trouche, 2005). L'idée principale de cette dernière approche est la genèse instrumentale, à travers laquelle l'être humain construit des schémas instrumentaux pour manier des instruments.

Dans ce projet, cette perspective a été prise en considération pour la création des sessions formatives à deux niveaux : le premier niveau, pour la détermination des compétences nécessaires aux étudiants pour apprendre à enseigner avec TICs ; le second niveau, pour étudier les aspects de médiation instrumentale et le schéma de l'utilisation dans l'élaboration des scénarios comme contenu du curriculum universitaire.

La présence d'un instrument modifie le triangle classique des trois pôles (professeur, élève, connaissance). La médiation de l'instrument agit sur deux angles :

- Pour les élèves, les instruments peuvent avoir une profonde influence dans la construction du savoir et les processus de conceptualisation ;
- Pour les professeurs, il est nécessaire d'avoir une connaissance stratégique pour gérer l'apprentissage des élèves dans la classe et manier les variables de compréhension du « comment l'instrument exerce une influence favorable aux connaissances mathématiques sur l'utilisateur » (modélisation didactique et mathématique et transposition informatique).

En incorporant le cadre théorique de l'approche instrumentale pour l'intégration de programmes de software éducatif visant des mathématiques, tels que Derive et GeoGebra, dans les scénarios ESCEMMAT en tant qu'instruments d'enseignement et d'apprentissage, on a cherché à montrer le développement d'une genèse instrumentale par le professeur. Se sont ainsi manifestés les deux aspects cités dans le précédent paragraphe : en premier lieu, le phénomène d'instrumentalisation par lequel les deux instruments informatiques sont instrumentalisés par le professeur, exploités à des fins didactiques, qui développent de plus en plus leurs potentiels didactiques ; en second lieu, le phénomène d'instrumentalisation dans lequel le professeur, en tant qu'individu, part de ses propres schémas d'enseignement pour incorporer et stabiliser l'utilisation de ce programme pour apprendre des mathématiques.

Méthodologie et données

On a utilisé la notion de scénario d'apprentissage et la méthodologie de recherche *Design-based research* pour la création, le développement et la mise en œuvre d'ESCEMMAT, en considérant quatre aspects :

- l'aspect technologique (utilisation de la technologie dans les cours, contrôle de la

transposition informatique avec Derive et GeoGebra) ;

- l'aspect pédagogique et didactique (contrôle de la transposition didactique et des ressources des enseignants) ;
- l'aspect conceptuel (maîtrise du contenu mathématique) ;
- l'aspect professionnel (contrôle de la composante socio-institutionnelle et de la composante personnelle du professeur de Mathématiques de lycée).

La méthodologie *Design-based research* (Collins et al., 2004) est une méthodologie de recherche systématique et flexible qui a pour but l'amélioration de la pratique éducative à travers une analyse interactive d'une création, un développement, et une implémentation, basés sur la collaboration entre chercheurs et professionnels de l'enseignement.

Les études ont lieu dans des situations réelles de la pratique quotidienne, organisées en deux phases : une phase d'anticipation et une phase de réflexion.

Ont été choisis deux thèmes précis qui apparaissent dans le curriculum des Mathématiques de lycée et deux instruments informatiques d'appui différents spécifiques des Mathématiques (un pour chaque thème), contenus que les professeurs en formation doivent apprendre à enseigner. Ceci donne lieu à deux scénarios de formation qui portent les titres suivants (voir Fig. 2) :

Scénario 1. Apprendre à enseigner les systèmes d'équations algébriques avec Derive.

Scénario 2. Apprendre à enseigner la fonction exponentielle avec GeoGebra.

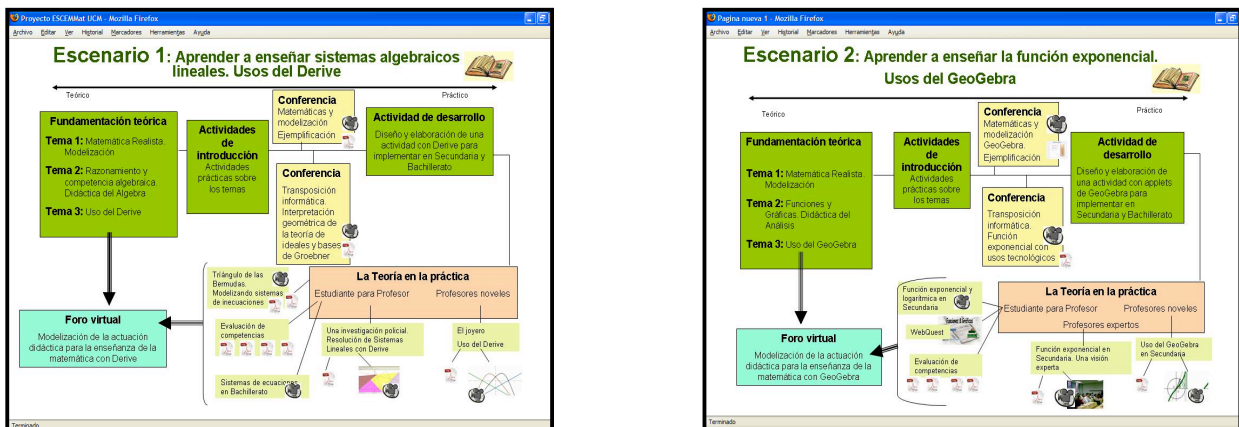


Fig.2 - Carte des Scénarios

Les scénarios sont conçus comme matériel de curriculum de formation. Pour cela, il est donc important de souligner qu'il faut différencier deux types de situations : situation de formation et situation d'enseignement. Dans ces situations s'établissent divers niveaux d'activité et de pratique pour le formateur ainsi que pour le professeur en formation.

Dans la situation de formation existent deux niveaux d'activité : activités du formateur (A1) et les activités du professeur en formation pendant la formation (A2). Dans les situations de formation, la double approche et l'approche instrumentale donnent accès au niveau du stage : P1, celle du Formateur, et le stage P2 du professeur en formation. Les tâches du professeur en formation sont liées au développement des mathématiques dans la mesure où elles construisent ses compétences professionnelles pour apprendre à enseigner à l'aide de la technologie. Dans ce niveau de stage (P2) le professeur en formation devra réaliser diverses tâches, relatives au maniement instrumental du software à l'apprentissage mathématique ainsi qu'aux tâches relatives à la création d'activités pour enseigner aux élèves. L'approche instrumentale permet d'analyser la genèse instrumentale proposée au professeur en stage.

Dans la situation d'enseignement on trouve les niveaux d'activité suivants : le niveau d'activité du formateur, le niveau d'activité du professeur en formation et le niveau des élèves de secondaire et de lycée. Le niveau d'activité du formateur est d'observation, d'analyse et

d'évaluation du stage d'enseignement du professeur en formation (A3). Le niveau d'activité du professeur en formation requière des tâches qui créent et organisent l'activité de l'élève et établissent la genèse instrumentale de l'élève (A4). Il y a un autre niveau d'activité, le niveau d'activité avec les élèves de lycée. Les élèves doivent réaliser une tâche mathématique avec TICs. On peut l'analyser du point de vue de l'éducation mathématique et de l'approche instrumentale. Et l'observation des élèves de lycée du processus d'instrumentation et d'instrumentalisation, genèse qu'ils construisent (A5).

Dans les situations d'enseignement, la double approche nous permet d'analyser un autre niveau de stage, stages en contextes réels que l'on qualifie comme niveau P3. Il s'agit du stage du professeur en formation. Dans ce cas, sont pris en considération les niveaux d'activité (A4) et (A5) dans les composantes médiatiques et cognitives du stage. L'accès aux composantes sociales, personnelles et institutionnelles s'évalue au travers d'un questionnaire, un entretien et le mémoire du stage.

En dernier lieu, souligner que dans le modèle méthodologique d'instruction le point de vue réaliste de l'éducation mathématique a été pris en considération. On a souligné la modélisation mathématique qui permet de décrire en termes mathématiques un phénomène réel, en obtenant des résultats mathématiques et l'évaluation et l'interprétation mathématiques d'une situation. Dans la création d'activités pour l'élève de lycée, en commençant par les questions d'environnement, on observe la réinvention des concepts, la progression graduelle entre différents niveaux d'abstraction, et l'acquisition des processus de résolution.

En suivant la méthodologie *Design-Based Research*, les phases sont combinées en diverses étapes temporelles, de façon cyclique, récursive, de la forme suivante :

Étape temporelle 1 : année 2006-2007 (avec 69 étudiants de professeur du deuxième cycle de la licence de mathématiques inscrits dans la matière Méthodologie mathématique et Stage d'enseignement.).

Phase I : *analyse initiale du problème* (phase d'anticipation). Création des activités de formations, élaboration de la première version du scénario 1 (apprendre à enseigner les systèmes d'équations algébriques avec Derive).

Élaboration de questionnaires d'évaluation et de diagnostic des compétences professionnelles.

Phase II : *expérimentation et implémentation* dans deux matières de la licence de mathématiques : Méthodologie Mathématique et Stage d'enseignement. Le formateur développe des sessions de formation sur la modélisation en mathématiques et sur l'instrumentalisation du software Derive pour des systèmes algébriques et polynomiaux. Les étudiants-professeur impliqués dans cette première étape temporelle, créent un stage pour expliquer les systèmes d'équation algébrique pour le niveau 1 de secondaire en utilisant comme instrument d'appui le programme de calcul symbolique Derive (Scénario 1). Après l'élaboration du stage par écrit, elle est révisée et corrigée. Ensuite, l'étudiant-professeur donne ce cours créé pour lui (et révisé) dans une classe réelle d'un lycée du quartier qui collabore avec nous. La leçon est enregistrée en vidéo pour son évaluation postérieure et incorporation dans les matériaux multimédia du scénario.

Phase III : *première évaluation* (phase de réflexion) de la part de l'équipe de recherche. Analyse de l'expérimentation et de l'étude des effets du scénario de formation dans les compétences professionnelles de l'étudiant de professeur. Réalisation d'études de cas. Incorporation des résultats pour l'amélioration des matériaux pour la formation correspondante au scénario 1.

Étape temporelle 2 : année 2007-2008 (avec 38 étudiants de professeur du deuxième cycle de la licence de mathématiques inscrits dans la matière Méthodologie mathématique).

Phase I : *analyse initiale du problème* (phase d'anticipation). Design des activités de formation, élaboration de la première version du scénario 2 (apprendre à enseigner la fonction exponentielle avec GeoGebra). Réélaboration des questionnaires d'évaluation et diagnostic des compétences professionnelles.

Phase II : *expérimentation et implémentation* dans une matière de la licence de mathématiques. Méthodologie mathématique : le formateur développe des sessions de formation sur la modélisation en mathématiques et sur l'instrumentalisation du software GeoGebra, en plus, il possède le matériel du scénario 1 comme exemple et pour l'analyse des stages. Ensuite, les étudiants doivent élaborer le guide d'un stage par écrit en incluant tous les détails pour, après l'avoir corrigé, donner ce cour dans une classe réelle de lycée en expliquant la fonction exponentielle avec GeoGebra (scénario 2). Les étudiants de cette deuxième étape temporelle travaillent activement avec les matériaux élaborés dans la première étape à travers les matériaux du scénario 1, créés et élaborés pour le format web.

Phase III : *phase de réflexion de l'équipe de recherche*. Analyse de l'expérimentation et étude des effets du scénario 2 de formation dans les compétences professionnelles de l'étudiant de professeur. Réalisation de l'étude de cas. Nouvelle restructuration de la création du scénario 1, ajuster les compétences, ses niveaux et l'affinage des éléments d'évaluation et diagnostic (phase de réflexion dans la deuxième étape temporelle).

Phase IV : *phase finale de réflexion* de la part de l'équipe de recherche. Évaluation finale, réajustage du modèle et du matériel de formation et du diagnostic des compétences professionnelles.

Le type de registre utilisé pour la prise de données a été des enregistrements en vidéo, des colloques, des questionnaires pour la détermination des compétences et des protocoles de résolution des problèmes.

L'évaluation et la fiabilité de la méthodologie utilisée ont été internes et externes. La fiabilité interne se réfère à la fiabilité des méthodes utilisées dans le projet de recherche. Les mesures pour obtenir ce genre de fiabilité ont inclus un ramassage systématique de données, un établissement préalable de catégories et postérieurement un contraste avec des experts. Dans l'application de protocoles de diagnostic et d'analyse de compétences on a compté avec des juges externes, ce qui a permis une comparaison triangulaire de perspectives. Pour la fiabilité externe le critère appliqué est la reproductibilité. Ce qui a exigé une transparence, une explicitation du processus et un itinéraire de formation. De plus, le choix d'une méthodologie comme celle de *Design-Based Research* comporte un développement cyclique de recherche, ramassage de données et leur interprétation, ce qui entraîne de façon continue des éléments de contrôle et d'ajustage.

Résultats et premières conclusions

Les résultats de cette étude nous ont permis de confirmer nos hypothèses et de décrire les difficultés qu'ont les étudiants professeurs de mathématiques au lycée pour apprendre à enseigner avec TICs. Suite aux analyses de cas des deux scénarios à travers les questionnaires d'évaluation, ont été identifiés divers profils d'étudiants, en accord d'un côté avec les compétences cognitive, médiatique, personnelle, et, d'un autre côté avec la genèse, le maniement instrumental du software et la transposition informatique montrés dans les modules d'enseignement. Pour finir, on a réussi à décrire avec notre recherche les points forts et les points faibles de l'utilisation des applications interactives et à concevoir les enregistrements digitaux en vidéo des cours de mathématiques comme instruments pour le développement des compétences professionnelles et le contenu du curriculum concernant l'apprentissage de l'enseignement des mathématiques avec TICs.

Voici brièvement quelques résultats.

- Détection de trois profils d'étudiants. Ces profils se caractérisent selon la position, professionnelle ou vocationnelle, la conception des mathématiques, les attitudes envers les TICs, la maîtrise des contenus mathématiques et de résolution de problèmes, la maîtrise de l'organisation du curriculum, la connaissance instrumentale du software et selon d'autres habilités génériques instrumentales et interpersonnelles.
- Détection des difficultés pour apprendre à enseigner les mathématiques avec TICs : 35% des étudiants présentent une difficulté dans la modélisation d'un problème réel, notamment un manque de créativité et d'initiative lorsqu'il s'agit de créer des exemples et de les poser en cours. Un pourcentage élevé d'étudiants a des difficultés pour articuler le modèle mathématique avec le software didactique et un manque de pratique dans son utilisation en cours. On observe une discontinuité entre la tâche prescrite par le professeur et la tâche réalisée par les étudiants.
- On a observé l'influence positive qu'ont les scénarios créés et les enregistrements digitaux en vidéo des cours de mathématiques comme instruments pour le développement des compétences professionnelles et pour une meilleure visibilité de l'articulation entre la genèse instrumentale d'utilisation et les requêtes dans le développement professionnel du professeur (composantes cognitive, médiatique, personnelle et institutionnelle).
- Dans l'étude de cas, on observe que pour arriver à apprendre à enseigner avec les TICs, il est nécessaire d'avoir une attitude positive face à la technologie et aux mathématiques, et un des facteurs importants pour ces attitudes est la maîtrise instrumentale (processus conscients d'instrumentation et d'instrumentalisation).

Pour terminer, il faut souligner le besoin d'une application plus étendue (une durée majeure des étapes, une population plus nombreuse avec une formation plus homogène et plus de disciplines dans lesquelles on puisse aborder ce sujet) pour pouvoir avoir une meilleure évaluation du modèle proposé de formation des enseignants. Cela fournirait des éléments décisifs à la tâche complexe de spécifier et mieux détailler les niveaux, les descripteurs et les indicateurs des compétences utilisées.

Remerciements

Cette étude a été possible grâce au financement des projets : *Proyectos de Innovación y Mejora de la Calidad Docente* n° 463 (PIMCD) du Vice-rectorat de Recherche de l'Université Complutense de Madrid. Le Projet ASTROCAM (referencia S-0505/ESP/000237) subventionné par la *Dirección General de Universidades e Investigación de la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid*.

Conclusion (A. Robert)

Ces interventions, très diversifiées, illustrent vraiment bien l'intérêt, voire la nécessité, de croiser différents points de vue sur la formation. L'importance de tenir compte de tous les acteurs pour mieux comprendre et ce qui se joue et sur quoi intervenir apparaît comme cruciale. On peut percevoir à la fois les progrès qui ont été faits dans ce domaine et les besoins qui restent cependant, notamment sur la compréhension de la genèse et de l'enrichissement des pratiques enseignantes.

Les pratiques enseignantes font ainsi intervenir de nombreuses dimensions, qu'on peut énumérer en termes de types de connaissances – nous en avons eu quelques aspects, connaissances mathématiques, pédagogiques, professionnelles (cf. Perrin, Labroue, Missenard). Un autre point de vue, complémentaire, développé par des didacticiens, a été illustré dans les deux interventions didactiques de Butlen et Chacón : la complexité des pratiques y est abordée comme telle, et les différentes dimensions ne sont pas juxtaposées

mais tissées de concert. Cela implique des formations faisant intervenir simultanément diverses connaissances, pas nécessairement étiquetées mais mises en fonctionnement sur une situation de classe limitée. Cela demande des ajustements permanents, des improvisations permises par la conjoncture. C'est dans un deuxième temps qu'on remonte à des aspects plus globaux. Mais cela demande aussi des connaissances disponibles chez les formateurs !

Plus généralement, on peut penser que c'est en tirant parti des croisements des différents cadres théoriques utilisés pour analyser les pratiques enseignantes qu'on avancera dans le décryptage de leur complexité et dans la constitution du stock de connaissances utiles.

Ce que je soulignerai enfin dans cette conclusion, en y revenant, c'est l'importance à mes yeux de ce constat évident après les diverses interventions de la table ronde : la manière même de poser les questions de pratiques et de formation diffère selon la position dans le système.

Ainsi, je pense qu'un des enjeux de l'amélioration de la formation tient non seulement à la qualité des recherches sur les pratiques, absolument indispensables, mais aussi à la prise en compte explicite des différences de position et à la qualité du travail de communication, de transposition, qui est organisé. Et cela doit aller dans les deux sens : des chercheurs aux formateurs et aux enseignants et des enseignants aux formateurs et aux chercheurs...

Me référant à Vygotski, une fois de plus, je dirai, en reprenant ma casquette de chercheure en didactique des mathématiques, et de manière un peu caricaturale et imagée, que si nous n'arrivons pas à intervenir le plus souvent possible dans la « Zone Proximale de Développement » des pratiques des enseignants avec lesquels nous travaillons, nous risquons de perdre une partie des bénéfices de la formation. « Reste » à déterminer ce qui est proche des pratiques des acteurs, et à élaborer des situations où ces acteurs se retrouvent, tout en avançant...

Voilà un thème pour un futur colloque, même si j'espère que ce colloque-ci aura, entre autres, déjà un peu servi ce projet !

Catherine Houdement

Université de Rouen, Laboratoire de didactique André Revuz

catherine.houdement@univ-rouen.fr

Denis Butlen

Université de Nantes, CREN

denis.butlen@univ-nantes.fr

Francis Labroue

IA-IPR à Paris

francis.labroue@ac-paris.fr

Claudie Asselain-Missenard

Professeur de mathématiques, Académie de Paris, Militante de l'APMEP

claudie.m@club-internet.fr

Daniel Perrin

Université de Cergy-Pontoise

daniel.perrin@math.u-psud.fr

Inés M^a Gómez Chacón

Facultad de Ciencias Matemáticas, Universidad Complutense de Madrid

igomezchacon@mat.ucm.es

Aline Robert

Université de Cergy-Pontoise, Laboratoire de didactique André Revuz

robert@math.uvsq.fr

Références

- Alsina C., Burgués C., Fortuny J. M., Giménez J. & Torra M. (1995). *Enseñar matemáticas*. Barcelona: Graó.
- Artigue M. (2002). Learning mathematics in a CAS environment: the genesis of a reflection about instrumentation and the dialectics between technical and conceptual work. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 7, 245-274.
- Blanco L. J. & Contreras L. C. (2002). Un modelo formativo de maestros de Primaria, en el área de matemáticas, en el ámbito de la Geometría, En L. C. Contreras y L. J. Blanco (Eds.) *Aportaciones a la formación inicial de maestros en el área de matemáticas*. Una mirada a la práctica docente. Cáceres: Universidad de Extremadura. pp. 89-118.
- Briand J. (1993). *L'énumération dans le mesurage des collections, un dysfonctionnement de la transposition didactique*. Thèse Bordeaux.
- Cobo P., Fortuny J. M., Puertas E., Richard P. R. (2007). AgentGeom: a multiagent system for pedagogical support in geometric proof problems. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 12, 57-79.
- Collins A., Joseph D & Bielaczyc K. (2004). Design Research: Theoretical and Methodological Issues". *The journal of the learning sciences*, V3(1), 15-42.
- Carrillo J. & Climent N. (Eds.) (1999). *Modelos de formación de maestros en Matemáticas*. Huelva: Universidad de Huelva.
- Fortuny J. (Coord) (2008). *IV Seminario I+D sobre Entornos de Aprendizaje y Tutorización para la Formación del Profesorado de Matemáticas*. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Gascón J. & Bosh M. (2007). La miseria del "generalismo pedagógico" ante el problema de la formación del profesorado. En L. Ruiz-Higueras et al. (Eds) *Sociedad, Escuela y Matemáticas. Aportaciones de la Teoría Antropológica de lo Didáctico*. Universidad de Jaen, 201-240.
- Giménez J., Llinares S., Sánchez V. (Eds.) (1996). *El proceso de llegar a ser un profesor de Primaria. Cuestiones desde la educación matemática*. Granada: Comares. Mathema, 8.
- Godino J. D. (Ed.) (2004). *Didáctica de la Matemática para Maestros*. Proyecto Edumat-Maestros. <http://www.ugr.es/~jgodino/edumat-maestros/welcome.html>.
- Gómez-Chacón I. M^a & Joglar N. (2008). Escenarios multimedia para aprender a enseñar matemáticas con nuevas tecnologías. Estudio de Casos. *V Congreso de Docencia Universitaria*. Universidad de Valencia.
- Haspekian M. (2005). An Instrumental Approach to Study the Integration of a Computer Tool Into Mathematics Teaching: the Case of Spreadsheets. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 10, 109-141.
- Hohenwarter M. & Lavicza Z. (2007). Mathematics teacher development with ICT: towards an International GeoGebra Institute. In D. Küchemann (Ed.), *Proceedings of the British Society for Research into Learning Mathematics*. 27(3). University of Northampton, UK: BSRLM.
- Houdement C. & Kuzniak A. (2006). Paradigmes géométriques et enseignement de la géométrie. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 11, 175-195.
- Llinares S. (2002). Participation and reification in learning to teach. The role of knowledge and beliefs. En G. C. Leder, E. Pehkonen and G. Torner (Edts.), *Beliefs: A Hidden Variable in Mathematics Education?* Dordrecht: Kluwer Academic Pb. pp. 195-209.
- Llinares S. (2004). Building virtual learning communities and the learning of mathematics by student teachers. *Conference presented in ICME 10*, Copenhagen, Denmark, <http://www.ICME-10.dk>.
- Perez A. (2006). El profesorado de matemáticas ante las Tecnologías de la Información y la Comunicación, *La Gaceta de la RSME*, vol 9(2), 521-544.
- Perrin D. (2005). *Mathématique d'école. Nombres, mesure et géométrie*. Cassini.
- Rabardel P. (1999). Éléments pour une approche instrumentale en didactique des mathématiques, conférence, *Actes de l'université d'été, Université de Caen*.

- Rico L. (2004). Reflexiones sobre la formación inicial del profesor de Matemáticas de Secundaria. Profesorado, *Revista de currículum y formación del profesorado*, 8 (1).
- Robert, A. (2003). Un point de vue sur les spécificités du travail géométrique des élèves.... *Petit x*, 63.7-29.
- Robert A. & Rogalski J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques: une double approche. *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, 2 (4), 505-528.
- Rogalski M., Pouyanne N. & Robert A. (2001). *Carrefours entre analyse, algèbre et géométrie*. Ellipses.
- Trouche L. (2005). Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations. *Recherches en didactique des Mathématiques*, 25/1, 91-138.
- Wenger E. (2005). *La théorie des communautés de pratique. Apprentissage, sens et identité*. Traduction Traduction et adaptation de F. Gervais, Presses de l'Université Laval, Canada.