



Soutenir le développement professionnel des enseignants: un défi majeur à relever

Michèle **Artigue**

LDAR, Université Denis Diderot – Paris 7

France

michele.artigue@univ-paris-diderot.fr

Résumé

Améliorer la formation initiale des enseignants, mieux les aider à se développer professionnellement, est un défi que doivent affronter la plupart des pays, en dépit d'histoires éducatives, de contextes sociaux, économiques et culturels différents. Pour cette conférence, je souhaiterais mettre l'accent sur la formation continue. Je m'appuierai pour cela sur l'exemple des IREM créés en France au début des années 70 dans ce but, et dont l'histoire me semble riche d'enseignement, ainsi que sur les apports de divers travaux de recherche et réalisations, notamment européens. J'essaierai aussi d'exprimer ce que j'ai appris des collaborations multiples que j'ai noué au fil des années avec l'Amérique latine et la communauté que rassemble la CIAEM.

Mots clefs: éducation, mathématiques, formation des enseignants, développement professionnel des enseignants, IREM, étude des pratiques enseignantes, TICE, communautés d'enseignants, changement d'échelle

Resumen

Mejorar la formación inicial de los docentes, ayudarles mejor a desarrollarse profesionalmente, es un desafío que enfrentan la mayoría de los países, a pesar de historias educativas, contextos sociales, económicos y culturales diferentes. En esta ponencia, me centraré más específicamente en la formación continua. Apoyaré la reflexión en el ejemplo de los IREM creados en Francia a principios de los 70 para esta fin, así como en las aportaciones de diversas investigaciones y realizaciones, especialmente europeas. Trataré también de expresar lo que aprendí de mis colaboraciones con América Latina y la comunidad que reúne la CIAEM.

Palabras clave: educación, matemáticas, formación de docentes, desarrollo profesional de los docentes, IREM, prácticas de enseñanza, TICE, comunidades de docentes, cambio de escala

Introduction

Il ne fait de doute pour personne que toute amélioration substantielle et durable de l'enseignement des mathématiques passe par une amélioration de la formation des enseignants. Il est aussi aujourd'hui clair que, même si elle est de grande qualité, et c'est loin d'être toujours le cas, la formation initiale des enseignants ne peut suffire. Le développement professionnel des enseignants doit être soutenu par l'organisation d'une formation continue spécifique, permettant à ces derniers de rester en contact avec l'évolution de leur discipline, de s'appuyer dans leur travail sur les avancées de la recherche didactique, de tirer profit de l'évolution technologique, d'adapter leur enseignement dans ses contenus comme dans ses pratiques à l'évolution des pratiques et des demandes sociales. Elle doit aussi leur permettre de construire et/ou s'approprier des outils conceptuels leur permettant de réfléchir sur leurs pratiques d'enseignement et leurs effets. Ceci n'a rien de nouveau mais la réussite scolaire conditionne de plus en plus les possibilités d'insertion sociale et professionnelle, de développement personnel des individus, rendant la nécessité d'une éducation de qualité pour tous chaque jour plus évidente. Les mathématiques, qui constituent un des piliers de la culture scolaire, sont bien sûr en première ligne, et donc la formation initiale et continue des enseignants de mathématiques. Dans ce texte, c'est sur la formation continue que je vais me centrer.

C'est à travers les IREM, les Instituts de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques¹, créés en France dans le contexte de la réforme des mathématiques modernes, au tournant des années 70, que j'ai rencontré très tôt dans ma carrière professionnelle la question de la formation continue des enseignants de mathématiques. Ce fut en effet, au début, leur mission essentielle. Je vais revenir dans la première partie de l'exposé sur cette structure originale et son histoire qui s'étale sur près d'un demi-siècle maintenant, car il me semble intéressant pour la réflexion sur la formation continue des enseignants, d'interroger cette histoire et d'en tirer des enseignements. Si j'ai fait ce choix, c'est aussi parce que c'est à travers ce réseau des IREM que, pour moi comme pour beaucoup d'autres enseignants et didacticiens français, se sont nouées des collaborations fructueuses avec l'Amérique latine. J'aborderai ce point dans une seconde partie, essayant d'exprimer ce que j'ai appris des collaborations multiples que j'ai nouées au fil des années avec l'Amérique latine et la communauté que rassemble la CIAEM. Je reviendrai ensuite au développement professionnel des enseignants en m'appuyant sur des travaux auxquels j'ai participé ces dix dernières années autour de la modélisation, des démarches scientifiques et d'investigation. Les collaborations internationales s'y situent pour moi, cette fois, à un niveau européen.

Ce texte est bien sûr marqué par ma propre culture et le contexte éducatif dans lequel je vis. Ils sont à bien des égards très différents de ceux des participants à ce colloque, mais j'ose espérer qu'en dépit des différences, cette réflexion sur la formation continue et le développement professionnel des enseignants résonnera, au moins en partie, avec la vôtre, et que les dissonances elles-mêmes seront sources d'échanges fructueux, comme c'est si souvent le cas dans le champ qui est le nôtre.

¹ Voir le portail des IREM : www.univ-irem.fr

La formation continue des enseignants en France, à travers le filtre des IREM

La demande de création d'IREMs était, à la fin des années 60, depuis plusieurs années portée par l'APMEP, l'Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public, mais ce sont les événements de mai 1968 qui ont indirectement conduit à la création des trois premiers IREM, ceux de Lyon, Paris et Strasbourg, rapidement suivie par celle de nombreux autres. Ils sont aujourd'hui au nombre de 27, couvrant l'ensemble des académies qui sont les structures régionales en charge de l'éducation en France, et s'y s'ajoutent quelques IREM à l'étranger, notamment en Afrique et Amérique latine. Par les principes sur lesquels elle se fonde, la structure des IREM, quand elle a été créée, était réellement novatrice dans le paysage français et même international. Jusqu'à un certain point, elle l'est encore aujourd'hui et, en France, elle reste une structure originale, réservée aux mathématiques, même si quelques IRES (Instituts de Recherche sur l'Enseignement des Sciences) englobant des IREM ont vu le jour.

Des principes dont se réclame depuis son origine cette institution, je voudrais tout particulièrement mettre en avant les suivants :

- L'importance accordée à une collaboration étroite entre chercheurs, enseignants et formateurs d'enseignants se voulant dénuée de tout rapport hiérarchique, à la proximité à la fois avec la communauté mathématique et avec le terrain de l'enseignement des mathématiques ;
- L'articulation forte entre recherche et pratique, conçue comme essentielle pour nourrir le développement professionnel des enseignants ainsi que la production et la diffusion de ressources pour l'enseignement et la formation ;
- La structure en réseau permettant de mutualiser les expertises et de faire jouer les solidarités, l'ouverture aux autres disciplines et aux partenariats, tant associatifs qu'institutionnels ;
- La forte sensibilité épistémologique et historique.

Plus précisément, les IREM se sont voulus dès le départ des structures universitaires, indépendantes mais proches des départements de mathématiques. Ceux qui y travaillent, excepté pour ce qui est du personnel administratif, qu'ils soient mathématiciens ou didacticiens universitaires, enseignants du primaire ou du secondaire, ou formateurs d'enseignants, y travaillent seulement à temps partiel pour garder un contact étroit avec leur terrain principal d'exercice, et a priori également pour une durée limitée. Au sein d'un IREM, chacun contribue à un ou plusieurs groupes de travail thématiques mixtes, à la structure et durée flexible. Ces groupes bénéficient d'une grande autonomie, et leur mission est à la fois de développer des expérimentations et des recherches, de proposer des stages de formation continue pour les enseignants sur la base de ces travaux, et de produire des ressources pour l'enseignement et la formation. Les groupes IREM sont des communautés inclusives et ouvertes qui accueillent régulièrement de nouveaux enseignants qui ont connu l'IREM en suivant un stage de formation continue par exemple. Les recherches menées au sein des IREM sont du type recherche-action ; elles sont étroitement liées aux besoins du terrain et de la formation. Leur logique n'est pas à proprement parler une logique de recherche universitaire et, même s'il est clair que la recherche didactique en France s'est développée au sein des IREM et a été façonnée par cette structure, en s'institutionnalisant, elle a créé ses propres structures et laboratoires, distincts des IREM mais gardant généralement des liens étroits avec eux. Les productions et publications des IREM, qu'elles soient nationales ou locales, reflètent bien ce rôle d'interface entre recherche, enseignement et formation que veulent jouer les IREM. Parmi les quatre revues principales du

réseau des IREM, une seule (*Annales de sciences cognitives et didactique*) est classée comme revue de recherche par l'Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur ; les trois autres (les revues *Repères IREM*, *Petit x* et *Grand N*) sont classées comme revues d'interface. Des chercheurs universitaires, mathématiciens, historiens des mathématiques, didacticiens y publient régulièrement, mais aussi de nombreux animateurs IREM, enseignants ou formateurs d'enseignants, et une vigilance forte est exercée par leurs comités de rédaction pour que les articles soient accessibles et utiles à une large audience.

Une caractéristique importante des IREM est, comme mentionné plus haut, leur structure en réseau. Celle-ci s'est très vite organisée autour de l'ADIREM, l'Assemblée des directeurs d'IREM et des commissions inter-IREM. Elle permet, comme indiqué ci-dessus, de faire jouer les solidarités et de mutualiser les expertises, de créer une communauté nationale à partir de cette mosaïque de communautés locales. C'est l'ADIREM par exemple qui prend en charge les négociations et partenariats avec le Ministère de l'Éducation nationale, tandis que les commissions inter-IREM thématiques, aujourd'hui au nombre de treize, rassemblent et coordonnent les travaux des différents IREM, organisent des colloques réguliers et produisent des publications de synthèse. Les trois dernières produites par les commissions inter-IREM Collège, Lycée et Epistémologie et histoire des mathématiques, en sont de bons représentants. Deux sont liées à des évolutions curriculaires et concernent, respectivement, l'enseignement des probabilités au collège (CII Collège 2012) et celui de l'algorithmique au lycée (CII Lycée 2014) ; elles sont publiées en collaboration avec l'APMEP. La troisième est issue du dernier colloque organisé par la commission Epistémologie et histoire des mathématiques, et elle est publiée aux éditions Ellipses, comme de nombreuses productions de cette commission (Barbin et Maltret 2015). Ceci me conduit à souligner une autre caractéristique importante des IREM, à savoir l'attention accordée dans cette institution, depuis ses origines, à l'épistémologie et l'histoire des mathématiques, grâce à des mathématiciens comme Jean-Louis Ovaert, Christian Houzel et Jean-Luc Verley, pour ne citer que quelques noms. En témoigne la création très précoce de la commission inter-IREM Epistémologie et histoire des mathématiques, et la productivité de cette commission qui a été également à l'origine des universités d'été européennes d'histoire des mathématiques.

Les IREM essaient avec persévérance de faire vivre ces principes mais il faut reconnaître que l'originalité de cette structure la rend fragile. Très vite, les IREM ont dû se battre pour survivre, comme le montre bien l'ouvrage collectif intitulé « *On achève bien les IREM* » (Collectif de défense des IREM 1979). Les décharges partielles de service dont bénéficiaient les enseignants du secondaire pour participer aux groupes IREM se sont transformées en heures supplémentaires, puis le nombre de ces dernières a progressivement décliné. Il en a été de même des moyens administratifs et financiers, et même des moyens en enseignants du supérieur pour de nombreux IREM. Dans le contexte de crise actuel qui affecte les universités devenues financièrement autonomes et les finances publiques, malgré la reconnaissance de la qualité et l'utilité des travaux des IREM, malgré le soutien clair du Ministère de l'Éducation nationale et de la communauté mathématique au sens large, faire vivre les IREM en accord avec ces principes, faire progresser leur modèle aussi en prenant en compte l'évolution des perspectives et connaissances dans le domaine du développement professionnel des enseignants sur laquelle je reviendrai dans la suite, est un réel défi. Et ce d'autant plus que s'ajoutent à ces difficultés les problèmes rencontrés par la formation des enseignants en France, avec une formation initiale en pleine reconstruction après les ravages causés par le quinquennat précédent, un nombre important d'enseignants vacataires recrutés sans formation pour faire face à la pénurie actuelle, en

particulier dans les zones socialement défavorisées, et des moyens pour la formation continue réduits et de plus en plus absorbés par les urgences.

Un IREM comme celui dans lequel je travaille, l'IREM de Paris (<http://www.irem.univ-paris-diderot.fr>) donne je pense une bonne image de ce que peut être un IREM aujourd'hui, des potentialités et limites de cette institution. Il est en effet bien intégré dans son université et reconnu par elle ; une dizaine d'enseignants-chercheurs de l'UFR de mathématiques de l'université et une cinquantaine d'enseignants du primaire et du secondaire, des formateurs d'enseignants en poste dans les trois ESPE² de la région parisienne contribuent cette année à ses activités, au sein de vingt groupes thématiques ; il a des liens étroits avec le LDAR (Laboratoire de Didactique André Revuz), du nom de son premier directeur et avec l'UFR de mathématiques, organise une vingtaine de formations continues retenues par les plans académiques de formation d'une ou plusieurs des trois académies de la région parisienne, participe aussi à la formation de formateurs et à la diffusion de la culture mathématique. Malheureusement trop peu d'IREMs disposent aujourd'hui de moyens et d'un potentiel analogue. Et même dans le cas de l'IREM de Paris, il faut souligner qu'aucun des animateurs du secondaire ne bénéficie de décharge de service pour ses activités IREM, ce qui limite nécessairement leur engagement possible dans de substantielles activités de recherche-action, avec ce que cela comporte de lectures préalables, de préparation d'expérimentations, de recueil et d'analyse de données. Par ailleurs, le potentiel de formation continue offert par l'IREM est actuellement sous-exploité par les trois académies de la région parisienne. Même si les formations proposées sont reconnues de grande qualité, elles ne sont pas forcément retenues par les académies dans leurs plans de formation. Le manque de moyens pour la formation continue en est une raison évidente. En fait, le modèle traditionnel des stages de formation IREM est basé sur le présentiel (même s'il se prolonge de plus en plus à distance, entre les séances en présentiel, via l'utilisation de plateformes) et le travail collaboratif dans un environnement universitaire avec les ressources que cela comporte, ainsi que sur une co-animation faisant intervenir les expertises diverses existant au sein des groupes IREM. Dans le contexte actuel, c'est un modèle qui peut sembler coûteux par rapport au nombre d'enseignants touchés. Les académies et le Ministère cherchent plutôt aujourd'hui à développer les formations à distance ou au moins hybrides, moins coûteuses en remboursement de frais de déplacement pour les enseignants, empiétant moins sur leur temps de travail en classe et susceptibles a priori de toucher un plus large public, ou alors des formations de proximité répondant à des demandes précises de groupes d'enseignants.

On le voit donc, même si tous ceux qui comme moi contribuent à faire vivre ce réseau des IREM se reconnaissent toujours dans les principes qui ont présidé à leur création et perçoivent bien que ces derniers n'ont rien perdu de leur actualité, il ne fait pas de doute que le modèle de formation des IREM est un modèle dont l'implémentation ne va plus aujourd'hui de soi, même en France. Et le fait de déplorer l'absence de moyens de la formation continue, ou de juger très sous-estimé par le Ministère le coût réel de formations à distance ou hybrides efficaces, n'empêche pas de s'interroger sur les potentialités et limites de ce modèle pour soutenir massivement le développement professionnel des enseignants et faire avancer substantiellement la cause de l'enseignement des mathématiques. Pour tous ceux qui participent au travail de groupes IREM, le plus souvent sur plusieurs années, ce système est très certainement un moyen

² ESPE : Ecoles Supérieures du Professorat et de l'Éducation ; elles ont succédé en 2013 aux IUFM, eux-mêmes créés en 1990. Intégrées aux universités, elles coordonnent la formation initiale des enseignants, et l'assurent en partenariat avec les universités.

de développement professionnel personnel très performant, mais déjà pour les milliers d'enseignants qui suivent chaque année un des stages de formation de quelques jours (généralement au plus trois jours) proposés par les IREM, l'impact sur les pratiques est moins sûr. De plus, vu la façon dont sont jusqu'ici conçus en France le métier et le développement professionnel des enseignants, rien ne permet de garantir qu'un effet va se faire sentir au-delà de ceux ont suivi les stages ou participé aux groupes, que les formations vont avoir un effet démultiplicateur. Comment faire évoluer le modèle pour conserver ce qui fait sa force tout en profitant au mieux des moyens technologiques, de la multiplication des ressources accessibles, des réseaux sociaux et de la façon dont ils affectent nos modes de communication et d'accès à l'information, comment élaborer des dispositifs favorisant la diffusion des connaissances et expériences ? Ces questions se posent bien sûr aux IREMs et sont travaillées au sein de ce réseau, en constante évolution. Pour y répondre, il me semble cependant utile d'élargir le regard car, même si notre contexte est particulier, nous sommes loin d'être les seuls à affronter ce type de défi. J'amorcerai cet élargissement dans la partie suivante, en évoquant mes collaborations avec l'Amérique latine et le regard que ces collaborations m'amènent à avoir sur ma propre culture et notre système de formation continue.

Des IREMs à la collaboration avec l'Amérique latine

Réfléchissant aux principes fondateurs des IREM et repensant à l'histoire de la CIAEM telle que je l'ai découverte lors du fabuleux et émouvant colloque organisé pour son cinquantenaire, je vois une proximité évidente avec des valeurs qui ont été à l'origine de sa création et que ses fondateurs ont portées avec force et conviction. En fait, les époques sont voisines, même si la fondation de la CIAEM est antérieure à celle des IREM, et ceci n'y est sans doute pas étranger. Dans les deux cas, on voit le rôle joué par des mathématiciens éminents, Luis Santaló bien sûr mais aussi bien d'autres, voulant promouvoir un enseignement des mathématiques rénové et convaincus de sa possible valeur émancipatrice. Dans les deux cas, on voit l'interaction avec des enseignants et formateurs innovateurs et pionniers, en l'absence des tensions que le développement et l'institutionnalisation de la recherche didactique va voir ultérieurement émerger, et qui deviendront particulièrement fortes en Amérique latine.

Ce n'est donc pas un hasard si très tôt des liens se sont créés, si les IREM ont très vite accueilli des enseignants, formateurs et chercheurs d'Amérique latine, ainsi que des étudiants. Comme le rappelait par exemple Luis Radford lorsqu'il a reçu la médaille Hans Freudenthal au congrès ICME-11 à Séoul, c'est à l'IREM de Strasbourg qu'il s'est formé à la didactique des mathématiques et qu'il a préparé son doctorat. Très vite aussi, des animateurs IREM ont effectué des missions en Amérique latine et s'en sont enrichi. Mais ces proximités, la qualité des relations qui se sont nouées dès cette époque, ne m'empêche pas de me poser des questions. Jusqu'à quel point ces « missionnaires » étaient-ils sensibilisés au fait qu'ils étaient les représentants d'une culture dominante, étaient-ils pénétrés de l'idée que, en dépit des valeurs d'universalité des mathématiques, cette science se développe et vit dans une multiplicité de contextes et sous une multiplicité de formes, que toute action sur l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques ne peut être pensée indépendamment des contextes et qu'elle doit se fonder sur une connaissance approfondie de ces derniers. Jusqu'à quel point arrivaient-ils à questionner des positions, des choix éducatifs, naturalisés dans leur propre culture ?

Je ne peux répondre pour eux, mais je dois admettre que, pour moi, cette prise de conscience n'a été en rien immédiate. Le travail que je faisais à l'IREM, pour inclusif et collaboratif qu'il fût, ne m'y avait pas vraiment préparée. En 1989, a débuté un premier projet CAPES-COFECUB

de collaboration avec le Brésil, à l'initiative de Tania Campos qui dirigeait alors la faculté de sciences de la PUC à Sao Paulo. L'année précédente, je l'avais rencontrée à l'IREM de Paris dont j'étais alors la directrice et, avec Paulo Figueiredo à Recife et quelques collègues français, nous avons monté ensemble ce projet. C'est lors de mon premier séjour au Brésil dans le cadre de ce projet que j'ai rencontré, pour la première fois et très brièvement, Ubiratan d'Ambrosio et entendu parler d'ethnomathématique, d'une façon qui ne soit pas critique. Mais il m'a fallu bien plus de temps, d'expériences et de travail en commun pour que le discours prenne réellement sens, soit incorporé au-delà des mots, pour que j'apprenne.

Tous ceux avec qui j'ai collaboré notamment au Brésil, puis en Colombie, au Mexique, au Chili, en Argentine, au Pérou, mes doctorants et doctorantes aussi dont je ne saurais minimiser l'influence, ont contribué, chacun à sa façon, à me faire grandir dans ce domaine, et je leur en suis infiniment reconnaissante. Il y a quelques années, en 2010, lors d'un colloque à Sao Paulo, j'avais évoqué comment, impliquée pour la seconde fois dans un projet CAPES-COFECUB, j'avais considéré le travail collaboratif, jettant un regard rétrospectif critique sur mon fonctionnement dans le premier projet. Il s'agissait dans ce second projet de concevoir des ressources pour la transition lycée-université dans le domaine des fonctions. J'avais bien sûr travaillé sur ce domaine en France et encadrais la thèse d'un doctorant tunisien sur cette transition en Tunisie (Najar 2010), un système éducatif différent mais restant fortement marqué par l'influence coloniale française. En ce début du 21^e siècle, il ne semblait plus envisageable d'aborder un tel travail collaboratif sans s'interroger au préalable sur ce qu'étaient, dans les deux systèmes éducatifs, les rapports institutionnels à la notion de fonction à la fin de l'enseignement secondaire, et sur ce qui les avait historiquement et culturellement façonnés, sur leurs évolutions récentes, et ceci sans considérer un type de rapport a priori plus légitime qu'un autre. L'analyse menée sur ces bases a été extrêmement instructive pour les chercheurs des deux pays (Alves Dias et al. 2010), la recherche bien distincte de celle que j'aurais pu envisager sur le même thème vingt ans plus tôt, et sans aucun doute plus utile. Il est clair que la sensibilité anthropologique qui s'est développée en France via la théorie anthropologique du didactique due à Chevallard, depuis une vingtaine d'années, y a aidé et qu'elle nous a fourni des constructions conceptuelles très utiles à notre projet, comme celles de rapport et d'idonéité institutionnels, d'échelle de co-détermination didactique, de praxéologie (Chevallard 2002). Mais je suis convaincue que cette sensibilité et ces outils conceptuels, à eux seuls, n'auraient pas suffi à créer cette posture si je ne vous avais pas vus lutter les uns et les autres au fil des années pour donner à la recherche et à l'éducation mathématique sur ce continent son identité, pour faire reconnaître vos problématiques et vos approches.

Il m'a fallu aussi des années pour prendre conscience du fait que, dans mon propre pays, existaient et croissaient des inégalités semblables à celles qui m'avaient frappée lors de mes premiers séjours en Amérique latine, pour prendre conscience, face aux enjeux actuels d'une éducation mathématique inclusive et de qualité pour tous, des limites du modèle souvent qualifié « d'élitisme républicain », hérité de la troisième république et qui a permis à des jeunes de ma génération d'origine modeste, dont moi-même, d'accéder aux savoirs universitaires et à la recherche. Dans ce domaine aussi, où votre sensibilité avait précédé de beaucoup la nôtre, vos approches, constructions et résultats ont été pour moi particulièrement éclairants.

Dans ces prises de conscience, ma participation au comité exécutif d'ICMI d'abord comme vice-présidente puis comme présidente a sans aucun doute joué aussi un rôle essentiel. Il y a eu, entre autres, la célébration du centenaire de l'ICMI et le travail approfondi que cette célébration

a suscité sur l'histoire de cette organisation, ses réussites et ses échecs, sa lente ouverture aux voix de la périphérie malgré des réalisations pionnières comme justement la création de la CIAEM, sur les défis qui étaient à affronter. Il y a eu le renforcement des réseaux régionaux et la création d'un nouveau réseau, EMF, l'Espace Mathématique Francophone, basé sur une proximité linguistique, et permettant notamment de faire mieux participer l'Afrique francophone. Il y a eu la décision prise d'organiser le congrès ICME-11 à Monterrey, un ICME pour la première fois en Amérique latine, pour la première fois aussi dans un pays émergent. Il y avait dans cette décision la volonté de faire mieux entendre la voix de l'Amérique latine et de montrer tout ce qu'elle avait à apporter à la communauté internationale. Il y avait aussi l'espoir de voir les différents groupes, les différentes communautés, dépasser les conflits qui les traversaient pour relever ensemble le défi que constituait la réalisation d'un tel congrès, et l'espoir que ceci pourrait avoir des retombées positives durables. Les difficultés rencontrées ont bien montré que les choses n'étaient pas si simples. Mais il y a eu la joie de l'attribution de la seconde médaille Felix Klein à Ubiratan D'Ambrosio au cours de ce même congrès. Un moment fort pour moi a été aussi le lancement de l'étude ICMI sur le multilinguisme dont le pilotage était confié à Maria do Carmo et Mamokgethi Setati. Cette étude devait, elle aussi, permettre de faire mieux entendre les voix de la périphérie, en s'attaquant à des questions qui aujourd'hui nous concernent tous mais auxquelles les chercheurs de ces pays ont été très largement les premiers à s'intéresser, et sur lesquelles ils ont produits des avancées remarquables. La réalisation de cette étude n'a pas été un long fleuve tranquille, mais j'attends avec impatience l'ouvrage qui va en résulter et va aider à dépasser la vision encore si dominante de la diversité linguistique comme obstacle. Il y a eu le travail en commun avec Beatriz Macedo et Minella Alarcon à l'UNESCO, le document qui en est résulté (UNESCO, 2011) que j'avais longuement évoqué au colloque du cinquantenaire, et le lancement du programme CANP en 2011 qui l'a prolongé, dont l'ambition est justement de renforcer la formation des enseignants et formateurs, en faisant jouer les synergies entre communautés au sein d'une même région. La seconde réalisation a été pilotée par Angel Ruiz au Costa Rica en août 2012 pour l'Amérique centrale et les Caraïbes et ses retombées étaient déjà clairement visibles un an plus tard lors de la première conférence à Saint Domingue du réseau CEMACYC qui y avait été créé. Il y a eu, bien sûr, tout le travail en commun au sein de l'exécutif avec Angel Ruiz, mais aussi avec Yuriko Baldin sur le projet Felix Klein de l'ICMI et sa version en langue portugaise, pour rendre accessibles et sources d'inspiration pour les enseignants les mathématiques qui n'ont cessé de se développer depuis l'époque où Felix Klein prononçait ses célèbres conférences à destination des enseignants. Avec l'ICMI, ma prise de conscience est devenue bien plus politique, et les moyens d'action se sont aussi élargis, mes horizons aussi. S'est aussi renforcée ma conviction que pour avancer substantiellement et durablement en matière d'éducation mathématique et de formation des enseignants, nous devons être capables de mobiliser et faire travailler ensemble, dans le respect de leurs expertises respectives, toutes les communautés concernées par l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques. Je sais bien que cela demeure encore difficile dans de nombreux pays, mais une volonté politique portée par des structures internationales comme le sont l'ICMI et l'IMU mais aussi des structures régionales, est sur ce plan particulièrement importante.

Comme je l'ai mentionné plus haut, toutes ces expériences, toutes ces rencontres, m'ont amenée à questionner ma propre culture, mieux voir ses forces et ses faiblesses. Au niveau des forces, il y a certainement cette culture de collaboration entre communautés et ce goût des mathématiques qui s'expriment dans les groupes IREM et se manifestent aussi aujourd'hui dans la préparation collective du forum « Mathématiques vivantes, de l'école au monde » sous l'égide

de la CFEM, la Commission Française pour l'Enseignement des Mathématiques, en clôture de la semaine des mathématiques, et dont j'assure avec Cédric Villani, médaille Fields 2010, la coordination scientifique (<http://www.cfem.asso.fr/actualites/forum-mathematiques-vivantes>). Il y a aussi sans aucun doute, et non indépendante, la solidité de la formation mathématique de beaucoup d'enseignants et a fortiori de leurs formateurs. Il y a bien sûr la force d'une recherche didactique, connue notamment pour ses cadres théoriques, le fait que très précocement, elle a voulu constituer le champ didactique comme un champ autonome, le fait aussi qu'elle a adopté très tôt une perspective systémique et fonctionnelle, qui s'est progressivement élargie de la théorie des situations didactiques (Brousseau 1997) à la théorie anthropologique du didactique, déjà mentionnée. Mais ce qui me semble aussi important c'est que, grâce aux IREM justement, cette recherche s'est développée en contact étroit avec le terrain de l'enseignement, ses préoccupations et questions, et en collaboration étroite avec les enseignants. Comme c'est le cas plus généralement, elle a porté, depuis une vingtaine d'années, une attention croissante aux enseignants, à leurs pratiques et à ce qui les détermine. Ceci s'est notamment traduit par l'émergence de cadres spécifiques comme celui de la double approche ergonomique et didactique des pratiques, qui se révèlent précieux pour penser le métier d'enseignant et le développement professionnel de ces derniers (Robert et Rogalski 2002), (Vandebrouck 2010). Tout comme l'est l'extension aux enseignants et à leurs pratiques, notamment documentaires, de l'approche instrumentale que j'avais présentée de façon détaillée au premier congrès CEMACYC (Gueudet, Pepin et Trouche 2012).

En revanche, il me semble que c'est une culture qui reste encore, malgré des efforts indéniables, trop peu sensible aux inégalités scolaires et à la façon dont l'enseignement des mathématiques contribue à ces inégalités, une culture où l'évaluation est insuffisamment formative et constructive, et où l'échec d'un pourcentage non négligeable d'élèves est trop facilement accepté. C'est aussi une culture où les mathématiques enseignées communiquent encore insuffisamment avec les autres disciplines malgré les efforts curriculaires faits dans ce domaine depuis une quinzaine d'années, et où la dimension citoyenne et critique de l'enseignement des mathématiques est encore insuffisamment prise en compte dans la pratique de l'enseignement. C'est enfin une culture qui peine comme beaucoup d'autres à trouver un équilibre satisfaisant entre le développement de connaissances et savoirs mathématiques et celui de compétences scientifiques plus transversales, et à faire vivre un enseignement des mathématiques vivant, dans ses questionnements comme ses pratiques. Sur toutes ces questions, les besoins de formation continue sont importants et insuffisamment pris en charge. Il me semble enfin, quand je compare avec ce qui se passe dans d'autres pays, par exemple ici au Mexique et plus largement en Amérique latine, que nous avons un retard certain pour ce qui concerne les formations à distance et hybrides, malgré des projets nationaux comme Pairform@nce et maintenant M@gistère (<https://magistere/.education.fr>), la mise en place de la plateforme FUN (<https://www.france-universite-numerique-mooc.fr>), avec notamment les MOOC EFAN « Enseigner et former avec le numérique » et EFAN Maths, auxquels se sont inscrits l'an passé plusieurs milliers de participants. Les collaborations que mon laboratoire, le LDAR, a noué récemment avec la Universidade Federal do Rio Grande do Sul au Brésil et avec le Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada de l'Instituto Politécnico Nacional et le CINVESTAV au Mexique, ou le montrent bien.

Dans ce qui suit, je vais revenir comme annoncé aux questions de formation continue et développement professionnel des enseignants, en m'appuyant sur la présentation et l'analyse de

quelques exemples choisis justement parce qu'ils concernent des défis actuels partagés du développement professionnel des enseignants.

Formation continue et développement professionnel des enseignants : quelles perspectives?

Comme je l'ai souligné dans l'introduction, le développement professionnel des enseignants est une question cruciale et les systèmes éducatifs y semblent de plus en plus sensibles. La formation continue devient de plus en plus pour les enseignants à la fois un droit et un devoir, et là où elles n'existaient pas, des structures spécifiques se mettent en place pour la stimuler et la coordonner, à l'image du NCETM (National Centre for Excellence in the Teaching of Mathematics) en Angleterre en 2006 ou de son homologue plus récent en Allemagne, le DZLM (Deutsche Zentrum für Lehrerbildung Mathematik) créé en 2014. Des traditions existantes sont systématiquement étudiées et transposées à d'autres contextes, comme c'est le cas pour celle maintenant bien connue des « Lesson Studies ». Des projets de grande ampleur s'attaquent aux questions de changement d'échelle, comme c'est le cas pour divers projets européens visant à disséminer un enseignement des mathématiques et des sciences basé sur des démarches d'investigation. Et les potentialités offertes par les technologies numériques pour soutenir et accompagner ce développement professionnel sont de plus en plus sollicitées et systématiquement exploitées. La recherche sur la formation des enseignants mais aussi sur leurs pratiques qui s'est fortement développée depuis une vingtaine d'années fournit par ailleurs des appuis de plus en plus solides pour la réflexion et l'action. Enfin, la formation des formateurs eux-mêmes, longtemps point aveugle des systèmes de formation, est elle aussi de plus en plus questionnée et fait l'objet de recherches et travaux spécifiques. La multiplication des publications dans ce domaine bien mise en évidence déjà dans (Adler et al. 2005), la création de la revue *Journal of Mathematics Teacher Education* en 2006, des ouvrages de synthèse comme l'étude ICMI 15 (Even et Ball 2009), le montrent bien. Dans l'espace restreint de cette contribution, j'ai choisi de mettre en évidence ces évolutions à travers la présentation et discussion de deux exemples, se situant à des échelles très différentes, mais impliquant tous deux des changements importants des pratiques enseignantes. Le premier concerne la formation à des pratiques de modélisation et interdisciplinaires entre mathématiques, sciences et technologie à travers l'expérience développée dans ce domaine à l'IREM de Paris depuis une quinzaine d'années (Artigue 2012). Le second concerne divers projets européens visant la dissémination de démarches d'investigation en mathématiques et en sciences en Europe, notamment les projets Primas et Mascil. Je n'évoquerai pas, faute de place, la question pourtant essentielle de la formation à l'usage des technologies numériques dans l'enseignement des mathématiques qui constituait le thème de ma conférence au premier colloque CEMACYC et y renvoie le lecteur (Artigue 2013).

Modélisation et interdisciplinarité

Les curricula mathématiques de nombreux pays mettent de plus en plus l'accent sur la modélisation, et la nécessité pour l'enseignement des mathématiques de renforcer ses connexions non seulement avec la vie quotidienne des élèves et les questions qui s'y posent mais aussi avec l'enseignement des autres disciplines, notamment scientifiques. En France, cette évolution est devenue particulièrement visible à partir des années 2000 à travers l'introduction de dispositifs spécifiques d'enseignement par projets interdisciplinaires au lycée comme celui des TPE (Travaux Personnels Encadrés) puis de l'enseignement MPS (Méthodes et Pratiques Scientifiques). C'est aussi le cas au collège, à travers l'introduction dans les programmes de thèmes de convergence auxquels les divers enseignements scientifiques doivent contribuer, et

plus récemment à travers l'importance accordée à la résolution de tâches dites complexes posées dans des contextes extra-mathématiques dans le cadre de la maîtrise du « Socle commun de connaissances et compétences ». Mais comme en témoignent bien tous les travaux menés sur modélisation et interdisciplinarité, par exemple au sein du groupe affilié à l'ICMI, ICTMA (<http://www.ictma15.edu.au>), malgré les recherches menées et les ressources développées, malgré les injonctions curriculaires, la progression des pratiques de modélisation et d'interdisciplinarité est très lente. Dans ce domaine, la formation continue des enseignants est essentielle mais très insuffisante, tant quantitativement que qualitativement.

Lorsque les TPE ont été introduits, dans divers IREM des groupes se sont constitués dans l'urgence pour accompagner les enseignants dans leur mise en place. Cela a été le cas à l'IREM de Paris où nous avons constitué un groupe à majorité mathématique mais incluant aussi des didacticiens des sciences physiques et chimiques et des sciences de la vie et de la terre. Comme c'est classique dans un groupe IREM, nous avons travaillé avec les enseignants du groupe à mettre en place ce nouveau dispositif dans leurs classes, à trouver et développer des ressources. Nous avons aussi étudié, plus largement, la façon dont les TPE se mettaient en place dans leurs établissements respectifs, comment les enseignants de mathématiques y trouvaient ou non leur place, comment les élèves percevaient ce nouveau dispositif, comment ils étaient accompagnés dans leur travail, et nous avons analysé les productions qui en résultaient, leurs potentialités et leurs limites. Ces travaux ont alimenté les formations sur ce thème que l'IREM a proposé plusieurs années consécutives, sur plusieurs journées (trois à cinq jours), et qui touchaient chaque année une trentaine d'enseignants en moyenne. Les TPE se sont progressivement installés dans le paysage éducatif et les demandes de formation ont décliné au bout de quelques années, d'autres priorités prenant le relais. Apparemment un certain équilibre avait été atteint mais il n'était pas du tout sûr qu'il soit satisfaisant. Au contraire, les données dont nous disposions conduisaient à penser que, dans les TPE, les enseignants de mathématiques restaient en position marginale et que l'interaction avec les autres disciplines était très limitée (Artigue et Bühler 2002).

Le travail du groupe IREM s'est alors plus résolument orienté vers l'étude des démarches scientifiques propres aux différentes disciplines, leurs similarités mais aussi leurs différences, les points de contacts possibles, et vers la modélisation, en s'appuyant sur des études historiques et épistémologiques, ainsi que sur les nombreux travaux de recherche didactique dans ce domaine, notamment ceux conduits autour de l'idée de cycle de modélisation (cf. par exemple (Blum 2015) pour une vision synthétique). Parallèlement, notre activité de formation a pris en compte celle tout aussi nécessaire des formateurs d'enseignants, avec l'introduction d'un enseignement de modélisation dans le master didactique de formation de formateurs de l'université (Artigue et al. 2009). Cet enseignement offrait de bien meilleures conditions pour une formation satisfaisante. En effet, alors que les stages de formation continue offerts aux enseignants avaient vu leur durée progressivement réduite à trois jours de formation, deux jours consécutifs et une journée deux mois plus tard, pour permettre des réalisations effectives de la part des stagiaires et des retours réflexifs d'expérience, la formation de master était une formation de 3h hebdomadaires sur un semestre, se concluant par un mémoire préparé en petits groupes, soutenu oralement devant le groupe entier et discuté ensuite collectivement. Ceci nous a permis notamment de mettre momentanément à distance le quotidien de la classe pour permettre aux futurs formateurs de vivre par eux-mêmes une expérience de modélisation substantielle, ce qui n'avait été préalablement le cas pour pratiquement aucun d'entre eux. Une situation étrange quand on imagine qu'ils allaient avoir sans aucun doute à conseiller des enseignants dans ce

domaine. Cette formation débute par des considérations épistémologiques sur la notion de modèle et de mathématisation, l'étude de quelques exemples historiques comme le travail pionnier dans ce domaine de Daniel Bernoulli sur la variole. Ces exemples permettent aussi de rafraîchir les connaissances des enseignants avec des modèles classiques, exponentiels et logistiques notamment, dans leurs versions discrète et continue. La formation se poursuit ensuite par la présentation et l'analyse de quelques travaux réalisés par des enseignants ayant suivi le master les années précédentes, présentés par leurs auteurs ou des membres du groupe IREM, ainsi que celle de ressources existantes, notamment celles élaborées dans le cadre du projet européen LEMA (www.lemma-project.org) qui concernent à la fois l'enseignement et la formation, et sont disponibles en français. A la suite de cette phase introductive, vient la phase de constitution des groupes et de définition des projets de modélisation sur des thèmes choisis par les enseignants en formation ou adaptés de ceux proposés par le groupe IREM. Une grande liberté est laissée aux enseignants dans le choix et la gestion de leur projet, la place respective donnée à l'approfondissement de l'expérience de modélisation et à l'étude de ses transpositions didactiques possibles dans l'enseignement. Le but est que, collectivement, à travers les différents projets réalisés, le groupe de formés dispose d'une base suffisamment large pour permettre de travailler les différents aspects du processus de modélisation mathématique et de sa transposition didactique, et que soient aussi abordées si possible à la fois des modélisations déterministes et probabilistes. Au cours de la réalisation des projets, l'apport des formateurs est un apport différencié selon les projets, en fonction des demandes des groupes, ceci pouvant inclure la mise en relation avec des spécialistes des domaines et problèmes de modélisation étudiés. Deux séances sont consacrées à des présentations intermédiaires des différents groupes. Les soutenances ensuite sont collectives, d'une durée d'une heure au moins, discussion comprise, pour chacun des projets. Et elles se poursuivent par un travail collectif d'étude des possibilités d'exploitation didactique de chacun d'eux. Les mémoires produits par les différents groupes sont mutualisés et les plus aboutis sont mis en ligne sur le site du groupe modélisation de l'IREM (http://www.irem.univ-paris-diderot.fr/sections/groupe_modelisation/), après quelques modifications, le cas échéant. Au fil des années, cette formation de master a formé plusieurs centaines d'enseignants pour la plupart engagés aujourd'hui dans des activités de formation. Les évaluations annuelles menées à l'issue de la formation comme les contacts avec les anciens montrent bien à quel point cet enseignement de modélisation est toujours pour eux au départ déstabilisant mais aussi à quel point ils s'y investissent et sont durablement marqués par lui. Les prises de conscience qui en résultent vont en fait bien au-delà de la modélisation : vision des mathématiques, prise de confiance dans la capacité d'en apprendre, acceptation de l'état de non-savoir et des incertitudes associées, sens du travail collaboratif et exploitation des complémentarités... Ceci nous conforte dans le choix que nous avons fait dès le début de donner dans cette formation, puisque le temps le permettait, une place substantielle à la construction par les formés d'une expérience réelle de modélisation, au lieu de nous borner à leur faire rencontrer et analyser des transpositions proches de situations scolaires.

Depuis cette année, à la demande d'inspecteurs pédagogiques de l'académie de Créteil, l'une des trois académies de la région Ile-de-France, et l'une de celles en France concentrant le plus de difficultés sociales, le travail de notre groupe a pris une autre dimension, qui nous confronte directement à la question du changement d'échelle, abordée seulement indirectement dans la formation précédente. Même si c'est un travail qui débute, il nous semble intéressant pour cette raison de le mentionner ici. Le point de départ de la demande est constitué par les résultats particulièrement faibles obtenus dans cette académie l'an passé à l'épreuve de

mathématiques du DNB (Diplôme National du Brevet), l'examen passé à l'issue de la scolarité du collège, en fin de troisième (grade 9). L'épreuve était constituée l'an passé exclusivement de tâches dites complexes (7 tâches) situées pour la plupart dans des contextes non mathématiques et dont la résolution nécessitait de la modélisation et de multiples adaptations. Le dispositif E3M a été alors imaginé, en s'inspirant du dispositif PACEM (Projet pour l'Acquisition de Compétences En Mathématiques) mis en place face aux difficultés rencontrées par une proportion importante des élèves entrant au collège (grade 6) avec les nombres et les calculs dans cette académie, dont l'efficacité semble aujourd'hui attestée (Chesné 2014). E3M vise le développement de la culture scientifique et cible plus particulièrement les enseignants de mathématiques, de sciences et de technologie de quatrième (grade 8). C'est un dispositif à plusieurs étages qui ambitionne de former en quatre ans tous les enseignants de ce niveau de l'académie, subdivisée pour cette occasion en quatre zones, et nous avons été sollicités pour y apporter notre concours. Il s'agit pour nous de travailler avec un premier groupe constitué d'enseignants en exercice qui sont déjà formateurs académiques, six enseignants de mathématiques, deux de sciences physiques et chimiques, deux de sciences de la vie et de la terre, et deux de technologie qui vont avoir à piloter cette formation. L'année prochaine, dans tous les établissements de la première zone, deux enseignants, un de mathématiques et un de l'une des trois autres disciplines, seront pris en charge pour une formation hybride comportant trois jours en présentiel et utilisant la plateforme M@gistère pour la partie à distance. Ils deviendront ensuite personnes ressources pour leur établissement, sachant que les ressources de M@gistère seront accessibles à tous. Les trois années suivantes, les autres zones seront progressivement incorporées. Dans ce dispositif, comme dans PACEM, une grande importance est attachée à l'élaboration d'une évaluation diagnostique passée en début d'année par tous les élèves du niveau considéré des établissements des zones concernées, et au travail avec les enseignants en formation sur cette évaluation et ses résultats, pour définir les enjeux et stratégies d'apprentissage. Pour PACEM, l'évaluation avait été élaborée à partir des évaluations nationales de la DEPP (Direction de l'Évaluation, de la Prospective et de la Performance) du Ministère de l'Éducation nationale, mais dans le cas présent, l'évaluation diagnostique est à construire. C'est l'une des tâches du groupe de pilotage, qui doit aussi sélectionner et partiellement construire les ressources pour la formation en présentiel et pour la formation à distance. Une évaluation sommative de fin d'année est également à produire, et ses résultats comparés à ceux de l'évaluation diagnostique seront utilisés pour évaluer l'efficacité du dispositif.

Tout ceci représente pour l'équipe de pilotage et pour nous qui l'accompagnons dans son travail, malgré l'expertise acquise dans ce domaine au fil des années, un réel défi. Nous sommes aussi tous conscients que, quelle que soit la qualité des tests, des ressources et des scénarios de formation produits, ce dispositif ne pourra fonctionner s'il ne recueille pas l'adhésion des enseignants, si les communautés locales que l'on souhaite créer ne disposent pas de conditions et moyens leur permettant de se réunir et travailler ensemble, si les enseignants ne voient pas leurs efforts encouragés et valorisés, s'ils ne perçoivent pas rapidement ce qu'ils y gagnent dans l'exercice de leur métier, dans leurs relations avec les élèves et dans les apprentissages que réalisent ces derniers, si leurs idées, propositions et critiques ne sont pas prises en compte pour réguler le dispositif. Dans une académie qui cumule tant de difficultés, tout ceci n'a rien d'évident. Mais ceci illustre bien les problèmes auxquels l'on est inévitablement confronté lorsque l'on cherche à agir à grande échelle à travers la formation continue des enseignants, avec la nécessité de gérer des niveaux successifs d'élargissement et de trouver les moyens de s'assurer que l'épistémologie du projet n'est pas dénaturée dans ces élargissements successifs, de soutenir

la création et le développement de communautés d'enseignants, de combiner des dispositifs solidement construits et la prise en compte et valorisation des initiatives et idées surgissant du terrain. Ces difficultés sont aussi celles qu'affrontent les projets de dissémination à grande échelle des démarches d'investigation en mathématiques et en sciences qui se sont multipliés ces dernières années en Europe et auxquels je vais m'intéresser maintenant.

Dissémination des démarches d'investigation

L'idée d'apprentissage ou d'enseignement basé sur les démarches d'investigation (IBL dans la suite) n'est en rien nouvelle, comme chacun sait, mais elle a fait l'objet depuis une dizaine d'années en Europe d'une promotion toute particulière, suite à la publication du rapport connu sous le nom de rapport Rocard (Rocard et al. 2007). Ce rapport voyait en effet dans un enseignement trop déductif et formel une des causes principales de la désaffection pour les carrières scientifiques des jeunes européens et demandait que soient substantiellement financés des projets visant la dissémination de méthodes d'enseignement et d'apprentissage basées sur les démarches d'investigation en sciences et la résolution de problèmes en mathématiques. Des appels d'offre ont été lancés et de nombreux projets effectivement financés. J'ai participé en tant qu'expert scientifique à deux d'entre eux, les projets Fibonacci (www.fibonacci-project.eu), Primas (www.primas-project.eu) et participe actuellement au projet Mascil (www.mascil-project.eu) qui, en un sens, prolonge le projet Primas en considérant plus particulièrement l'enseignement professionnel et les relations avec le monde du travail.

Ces projets adoptent des stratégies de dissémination différentes, par exemple le projet Fibonacci s'est construit, de façon originale, autour de l'idée de jumelage entre des centres déjà experts dans les démarches d'investigation et leur diffusion au moins locale, en mathématiques et/ou en sciences, et des centres cherchant à le devenir ; un réseau de 60 centres répartis dans 26 pays a été ainsi constitué sur la durée du projet. Cependant, tous considèrent la formation continue des enseignants comme un élément essentiel de leur stratégie, et c'est sur cette dimension que je vais me centrer dans ce qui suit, en m'appuyant notamment sur le travail de synthèse réalisé pour le numéro 45(6) de la revue ZDM. Dans (Maaß et Artigue 2013) nous définissons en effet un modèle pour rendre compte des stratégies de dissémination, organisé autour des composantes suivantes :

- la position sur un axe dont les extrémités sont constituées d'une part par les stratégies purement « top-down » et l'autre par les stratégies « bottom-up »,
- les ressources,
- la prise en compte du contexte (niveaux engagés du micro au macro, et façon dont ils sont engagés),
- le développement professionnel des enseignants.

En ce qui concerne plus précisément cette dernière composante, en nous appuyant sur différents travaux cherchant à caractériser des formes efficaces de développement professionnel, et notamment une méta-étude de Lipowski et Rzejak (2012), nous mettons l'accent sur différents facteurs qui ont été identifiés comme contribuant à l'efficacité d'activités de développement professionnel : la pertinence de ces activités par rapport au quotidien de l'enseignement, la place accordée aux échanges d'expériences ; la prise en compte des représentations des enseignants, leur explicitation et discussion ; la durée de la formation et son caractère intensif ; la combinaison entre développement professionnel sur et hors du lieu de travail (« learnin-on-job et learning-off-job ») ; la nécessité de prendre en compte la diversité des compétences

professionnelles à développer ; l'importance de dépasser une formation par le discours et de faire vivre aux enseignants les pratiques que l'on souhaite leur voir mettre en œuvre ; l'importance pour les enseignants d'avoir un feed back sur leurs propres pratiques ; l'importance de se centrer sur un thème précis si l'on veut pouvoir mesurer un effet sur les performances des élèves ; l'intérêt d'engager les enseignants dans des projets de recherche même modestes ; la possibilité aussi pour des groupes d'enseignants de prendre en charge leur développement professionnel (« learning-by-job ») à l'image de ce qui se produit dans le dispositif des « lesson studies » par exemple ; l'importance enfin d'appuyer le développement professionnel sur des ressources flexibles qui permettent l'adaptation à différents contextes sans toutefois perdre l'essence et la valeur épistémique de ce qui est proposé.

Dans le modèle construit, ces différents ingrédients sont pris en compte. La question de la formation continue est reprise de façon plus détaillée dans l'article (Maaß et Doorman 2013) de ce même numéro, qui présente la stratégie de dissémination élaborée dans le projet Primas qui implique quatorze universités de douze pays européens, puis compare son implémentation dans les pays des deux auteurs : Pays Bas et Allemagne. Cette stratégie de dissémination suit les principes de la « Design Research » et est principalement du type « Cascade ». Primas est basé en effet sur l'idée de multiplicateurs, présente dès l'origine du projet, puisque les partenaires s'y engagent à former dans chaque pays au moins vingt multiplicateurs qui, eux-mêmes devront former au moins cent enseignants.

Comme le précisent les auteurs, les caractéristiques mentionnées ci-dessus sont prises en compte dans le processus de développement professionnel qui est conçu comme un processus spiralé (cf. figure 1) et de longue durée (deux ans). Il alterne l'implémentation en classe d'activités orientées IBL et des séminaires où les enseignants ont la possibilité de réfléchir sur leurs pratiques et de travailler sur des questions critiques³ vis à vis de l'IBL à l'aide de ressources structurées incluant notamment des guides pour les formateurs, des activités et ressources pour les enseignants et des vidéos de classes. La formation des multiplicateurs eux-mêmes est conçue comme une formation d'une année, combinant les trois modalités : « learning-off-job », « learning-on-job » et « learning by job ».

³ Les ressources sont notamment structurées autour des sept questions suivantes : « organizing student-led inquiry; helping students to tackle unstructured problems; promoting concept development through inquiry; asking questions that promote reasoning (and include all students); supporting collaborative work; building on what students already know ; using self – and peer assessment to promote learning. » (Maaß et Doorman 2013, p. 891)

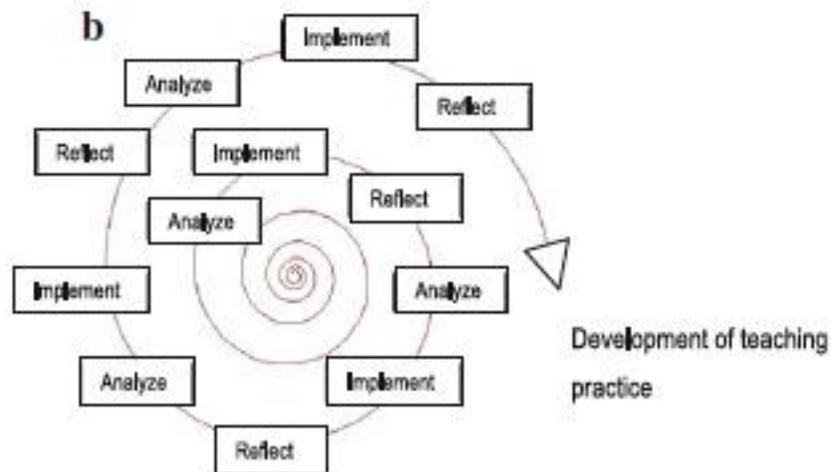


Figure 1. Le modèle spiralé de développement professionnel de Primas (Maaß et Doorman 2013, p. 891)

Ce modèle général a dû composer avec les conditions et contraintes de douze systèmes éducatifs différents, ce qui accroissait singulièrement le défi. Globalement, le modèle de dissémination de Primas s'appuie sur une approche socio-écologique (Dalton et al. 2007) distinguant différents niveaux systémiques auxquels un individu (ici un enseignant) est relié. La stratégie de dissémination de Primas, comme celle d'ailleurs des autres projets européens auxquels j'ai participé ou participe, prend en compte tous ces niveaux (cf. figure 2).



Figure 2 : Niveaux de systèmes socio-écologiques, repris de (Dalton et al. 2007)

Pour favoriser l'adaptation, une étude préalable des contextes a été d'abord réalisée, en s'appuyant sur la hiérarchie de co-détermination didactique de la théorie anthropologique du didactique (Dorier et Garcia 2013). Comme on le voit dans la comparaison des réalisations aux Pays-Bas et en Allemagne, les systèmes de conditions et contraintes de ces deux contextes sont bien distincts et ont sensiblement influencé ces réalisations.

Pour ce qui est des multiplicateurs, aux Pays-Bas, il ne fut pas facile d'en trouver et ceux-ci furent en fait principalement des formateurs d'enseignants déjà familiers avec le concept

d'IBL et les pratiques associées. Leur formation fut donc courte et essentiellement centrée sur la familiarisation avec les ressources élaborées par le consortium Primas qu'ils testèrent d'abord dans des ateliers avec leurs étudiants en formation initiale. Quelques formateurs les rejoignent ensuite et ils bénéficièrent d'une formation d'une journée avant de commencer à assurer des formations en tandem avec des formateurs expérimentés, se formant donc essentiellement sur le terrain et dans l'exercice de l'activité même de formation (« learning-by-job »). En Allemagne, les multiplicateurs étaient des enseignants n'ayant pas une expérience particulière de l'IBL et leur formation de cinq journées s'étala sur une année avant qu'ils ne commencent à assurer des formations pour quinze enseignants, par groupes de deux. Pendant les deux années suivantes, ils bénéficièrent d'une formation supplémentaire de six journées (trois journées par an), et des membres de l'équipe Primas assistèrent à certaines des formations qu'ils assuraient pour leur fournir un feedback. Par ailleurs, deux grands événements permirent de rassembler tous les multiplicateurs, enseignants et les membres de l'équipe Primas. Comme aux Pays-Bas, les sept modules préalablement élaborés furent centraux dans la formation mais quelques modules supplémentaires furent ajoutés à leur demande, concernant par exemple les questions d'évaluation. Leur formation combina donc les trois catégories mentionnées plus haut, et fut visiblement plus substantielle.

En ce qui concerne la formation des enseignants et leur développement professionnel, dans les deux cas, le modèle en spirale fut respecté. Aux Pays-Bas, les modules Primas furent utilisés après avoir été traduits, mais des activités furent ajoutées pour une meilleure connexion avec le curriculum et les pratiques d'enseignement du pays, par exemple le travail sur des énoncés de manuels jugés trop structurés. La formation dut aussi s'intégrer aux systèmes de développement professionnel en place et l'article cite par exemple le cas d'une école dans laquelle quatre journées sont réservées au développement professionnel des enseignants, situation relativement fréquente dans ce pays, et où la formation Primas fut donc l'une des options proposées aux enseignants, nécessitant l'adaptation à quatre jours d'un programme initialement établi pour sept journées. A l'université de Freiburg, en Allemagne, université porteuse du projet, la formation des enseignants s'étala sur deux ans, suivant le modèle en spirale et utilisant les sept modules ainsi que les modules additionnels développés dans le cadre de la formation des multiplicateurs.

Comme on le voit, dans les deux pays, des efforts ont été faits pour minimiser les risques liés à un modèle de dissémination en cascade. Dans les deux cas aussi, on voit le rôle joué par les ressources collaborativement produites, et la prise en compte de la nécessaire adaptabilité de ces ressources aux différents contextes. S'agissant de l'impact de ces activités, il s'est avéré, comme dans les autres projets similaires, difficile à mesurer. Certes, il est relativement aisé d'obtenir des données quantitatives concernant les nombres de multiplicateurs, d'enseignants, d'élèves touchés, et les diverses activités de développement professionnel organisées. Certes des questionnaires peuvent être largement diffusés pour essayer de mesurer l'impact de ces activités sur les représentations des enseignants sur l'IBL et sur leurs pratiques, sur les représentations des élèves et sur leurs apprentissages, mais obtenir via de tels questionnaires des informations non superficielles et fiables, tant sur les activités que sur leur impact semble difficile. Des études de cas peuvent être aussi menées incluant entretiens, observations et enregistrement de séances de formation et d'enseignement, mais elles sont nécessairement très limitées en nombre. Elles apportent des informations très utiles, permettent de mieux comprendre les processus de développement professionnel potentiellement à l'œuvre et ce qui les influence, mais elles ne permettent aucune généralisation. Ces méthodologies ont été utilisées dans les différents projets européens mentionnés. Elles semblent montrer chez les enseignants un changement effectif des

représentations concernant l'IBL, une confiance acquise dans la capacité de mener de telles activités, mais des passages à l'acte qui restent généralement limités à l'introduction de quelques séances relevant de l'IBL dans un enseignement non profondément modifié. Au-delà des difficultés et du temps que demande toute évolution de pratiques, je pense que la forme même des tâches proposées dans les ressources et leur description favorise en fait ce type d'usage. Les tâches en effet illustrent de façon intéressante différentes facettes de l'IBL, mais généralement davantage ce qui concerne le développement de compétences relativement transversales que de constructions conceptuelles en mathématiques ou en sciences. Leur inscription dans une progression curriculaire, d'autant plus difficile à préciser que les curricula européens sont très divers, n'est pas prise en charge, et l'on peut se demander jusqu'à quel point cette limitation est palliée par les formations locales proposées. C'était je pense le cas dans le projet Primas et aujourd'hui dans le projet Mascil pour les équipes qui s'appuient sur le concept de « Parcours d'Etude et de Recherche » (PER) développé dans le cadre de la TAD (Chevallard 2015). Dans ce concept, l'accent est mis sur la recherche de questions dites à fort pouvoir générateur, à partir lesquelles une démarche d'investigation guidée par l'enseignant est susceptible de permettre d'aborder, en leur donnant sens et fonctionnalité, des parties substantielles du curriculum. Mais se situer dans un tel paradigme que Chevallard qualifie de « questionnement du monde » représente un bien plus grand bouleversement que l'intégration d'activités IBL épisodiques dans le quotidien de la classe, et l'on peut penser que le développement professionnel initié ne pourra avoir des effets substantiels et durables que s'il peut se prolonger au sein de communautés d'étude et de recherche d'enseignants, régulièrement nourries d'apports extérieurs.

Conclusion

Dans ce texte, je me suis intéressée à la formation continue et au développement professionnel des enseignants de mathématiques, en m'appuyant plus particulièrement sur l'expérience des IREM et sur des projets européens dans lesquels j'ai été récemment impliquée qui visent la dissémination de démarches d'investigation dans l'enseignement des mathématiques et des sciences. Cette expérience et ces projets ne donnent bien sûr qu'une vision très partielle du champ de la formation continue des enseignants et des stratégies qui sont ou peuvent être développées pour soutenir leur développement professionnel, mais ils montrent bien, me semble-t-il, les efforts faits dans ce domaine, dans des contextes divers, l'évolution des moyens et des perspectives, notamment engendrée par l'évolution technologique. Ils montrent aussi les besoins suscités par des demandes sociales croissantes pour un enseignement des mathématiques plus ouvert sur le monde actuel et ses problématiques, fournissant aux élèves des outils pour y prendre leur place et le questionner, un enseignement émancipateur et accessible à tous. Les enseignants, dans la plupart des pays, sont mal préparés à faire face à ces attentes, mais tout autant les systèmes éducatifs dans lesquels leur action éducative s'inscrit. Et c'est bien sûr, comme le montrent bien les travaux cités, à ces différents niveaux que l'action s'impose.

Comme c'est souvent le cas en éducation, la collaboration entre acteurs de contextes et cultures différentes aide les dénaturalisations et déconstructions nécessaires à une compréhension approfondie des problèmes, à l'imagination de futurs possibles, au-delà de la seule mutualisation des acquis et des ressources. Pour moi, depuis plusieurs décennies, ce sont les échanges avec les enseignants, formateurs, chercheurs d'Amérique latine qui jouent tout particulièrement ce rôle. J'ai essayé de le montrer aussi dans ce texte, ne parvenant sans doute que très imparfaitement à vous faire comprendre tout ce que vous m'avez apporté.

Références bibliographiques

- Adler, J., Ball, D., Krainer, K., Lin, F.L., & Novotna, J. (2005). Reflection on an emerging field: Researching mathematics teacher education. *Educational Studies in Mathematics*, 60, 359-381.
- Alves Dias, M., Artigue M., Jahn A.P., Campos T. (2010). A comparative study of the secondary-tertiary transition. In, Pinto M.F. & Kawasaki T.F. (Eds.), *Proceedings of the 34th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Vol. 2, pp. 129-136. Belo Horizonte, Brazil: PME.
- Artigue M. & Bühler M. (2002). Quelle place pour les mathématiques dans les TPE. *Actes du colloque inter-IREM Didactique*. IREM de Dijon.
- Artigue M., Dartois Y., Pouyanne N., Rumelhard G. (2009). Modélisation et interactions entre mathématiques et biologie : l'expérience du Master professionnel « Didactique » à l'université Paris-Diderot –Paris 7. In, Ouvrier-Buffet C. & Perrin-Glorian M.J. (Eds.) *Approches plurielles en didactique des mathématiques*. Laboratoire de didactique André Revuz, Université Paris Diderot. pp. 277-293.
- Artigue M. (2012). Reflections around Interdisciplinary Issues in Mathematics Education. In, W. Blum, R. Booromeo Ferri, C. Katja Maass (Eds.) *Mathematik unterricht im Kontext von Realität, Kultur und Lehrerprofessionalität*, pp. 24-33. Springer Spektrum.
- Artigue, M. (2013). La formación tecnológica de los docentes: un desafío mayor. In A. Ruiz (Ed.), *Actas del Congreso CEMACYC 1*.
- Barbin, E., & Maltret, J.L. (Eds.) (2015). *Les mathématiques méditerranéennes : d'une rive à l'autre*. Paris : Editions Ellipses.
- Blum, W. (2015). Quality Teaching of Mathematical Modelling: What Do We Know, What Can We Do? In S.J. Cho (Ed.), *Proceedings of the 12th International Congress on Mathematical Education*, pp. 73-98. New-York: Springer. <http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-12688-3>
- Brousseau, G. (1997). *Theory of didactical situations in mathematics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Chesné, J.F. (2014). *D'une évaluation à l'autre : des acquis des élèves sur les nombres en sixième à l'élaboration et à l'analyse d'une formation d'enseignants centrée sur le calcul mental*. Thèse de doctorat. Université Paris Diderot – Paris 7. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01081505>
- Chevallard, Y. (2002). Organiser l'étude 3. Écologie & régulation. In Dorier J.-L., Artaud M., Artigue M., Berthelot R., Floris R. (Eds.) *Actes de la 11e école de didactique des mathématiques* (pp.41–56). Grenoble: La Pensée Sauvage.
- Chevallard, Y. (2015). Teaching mathematics in tomorrow's society: A case for an oncoming counterparadigm. In S.J. Cho (Ed.), *Proceedings of the 12th International Congress on Mathematical Education*, pp. 173-188. New-York: Springer. <http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-12688-3>
- CII Collège (2012). *Probabilités au collège*. Brochure 198. Paris : APMEP.
- CII Lycée (2014). *Algorithmique au lycée*. Brochure 1003. Paris : APMEP.
- Collectif de défense des IREM (1979). *On achève bien les IREM*. Arles : Editions Solin.
- Dalton, J. H., Elias, M. J., & Wandersman, A. (2007). *Community psychology: Linking individuals and communities*. Belmont: Thomson-Wadsworth.

- Dorier, J., & Garcia, F. J. (2013). Challenges and opportunities for the implementation of inquiry-based learning in day-to-day teaching. *ZDM—The International Journal on Mathematics Education*, 45(6), 837-849.
- Even, R., & Ball, D.L. (Eds.) (2009). *The Professional Education and Development of Teachers of Mathematics*. New York : Springer.
- Gueudet, G., Pepin, B., & Trouche, L. (2012). *From text to 'Lived resources': Mathematics Curriculum Material and Teacher Development*. New York: Springer
- Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2012). Lehrerinnen und Lehrer als Lerner – Wann gelingt der Rollen-tausch? Merkmale und Wirkungen wirksamer Lehrerfortbildungen. *Schulpädagogikheute*, 3(5), 1–17.
- Maaß, K., & Artigue, M. (2013). Implementation of inquiry-based learning in day-to-day teaching: a synthesis, *ZDM—The International Journal on Mathematics Education*, 45(6), 779-795.
- Maaß, K., & Doorman, M. (2013). A model for a widespread implementation of inquiry-based learning, *ZDM—The International Journal on Mathematics Education*, 45(6). 887-899.
- Najar, R. (2010). *Effets des choix institutionnels d'enseignement sur les possibilités d'apprentissage des étudiants. Cas des notions ensemblistes fonctionnelles dans la transition Secondaire/Supérieur*. Thèse de Doctorat. Université Paris Diderot – Paris 7. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00564191>
- 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 mathématiques, des sciences et des Technologies*, 2(4), 505-528.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). *Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe*. Brussels: European Commission.
- UNESCO (2011). *Challenges of Basic Mathematics Education*. Paris: UNESCO.
- Vandebrouck F. (Ed.) (2013). *Mathematics Classrooms: Students' Activities and Teachers' Practices* (pp. 229-245). The Netherlands: Sense Publishers.