

Commission de réflexion sur l'enseignement des mathématiques

La formation des maîtres en mathématiques

Introduction.....	5
Principes généraux	7
Première partie :.....	8
La formation des maîtres du premier degré.....	8
I. Introduction : les caractéristiques du métier de professeur des écoles	8
1. En général.....	8
2. La part des mathématiques.....	8
3. Les compétences visées pour un enseignant	10
II. Objectifs de la formation (disciplinaire et didactique).....	10
1. Une formation en mathématique	11
2. Une réflexion sur la place des mathématiques dans l’instruction de l’élève	11
3. Une formation à l’enseignement des mathématiques	12
4. Une réflexion sur la spécificité des mathématiques par rapport aux autres disciplines ...	14
5. Quelles mathématiques pour l’école primaire ?	14
III. Un état des lieux 1991-2002 sur l’épreuve de mathématiques du concours externe..	16
1. L’épreuve de mathématiques du concours jusqu’en 2002 et 2003.....	18
2. L’évolution des équipes de composition de sujets entre 1991 et 2002.....	19
3. L’évolution des jurys de correction du concours	19
IV. Des propositions pour la formation initiale des professeurs des écoles.....	20
1. Quel niveau de mathématiques pour le recrutement ?	20
2. Les mathématiques dans le concours.....	21
3. Les mathématiques avant le concours.....	21
4. Les années de formation	22
5. Les conditions de la formation initiale	24
V. La formation continue des professeurs des écoles	25
1. Une formation nécessaire.....	25
2. Actuellement	25
3. Des propositions	26
a. Des stages de début de titularisation.....	26
b. Des stages en cours de carrière :	26
c. Modalités possibles de la formation.....	27
Annexe liée à la formation des professeurs des écoles : les inquiétudes liées au fonctionnement actuel du dispositif du concours	29
1. Un programme national	29
2. La conception des épreuves	30
3. La correction des épreuves.....	30
Deuxième partie :.....	31
La formation des professeurs enseignant les mathématiques en lycée professionnel	31

I - La formation universitaire des PLP.....	31
A. Les objectifs de la formation	32
B. L'état des lieux : le concours du CAPLP	32
1. Quelques chiffres	32
2. Les épreuves actuelles du CAPLP	32
3. Commentaire sur les épreuves actuelles	33
C) Des propositions pour la formation des PLP.....	33
1. Une licence adaptée aux besoins d'un professeur bivalent (mathématiques, physique-chimie) en lycée professionnel dans chaque académie.....	33
2. Des stages de sensibilisation au cours des études.....	34
3. Le niveau du recrutement.....	35
4. Préparation du CAPLP.....	35
5. Les contenus des concours	35
II - La formation professionnelle des stagiaires PLP2 en mathématiques.....	36
III - La formation continue des PLP en mathématiques.....	36
1. La nécessité d'un travail s'inscrivant dans la durée	37
2. L'importance de sortir les PLP d'un certain isolement	37
Troisième partie :	39
La formation disciplinaire des maîtres du second degré en mathématiques.....	39
I. Introduction	39
II. Les objectifs de la formation	39
1. S'adapter aux évolutions.....	39
2. Dominer la discipline.....	41
3. Comprendre l'interaction des mathématiques et des autres disciplines.....	43
a) Le côté du savoir.....	43
b) Le lien mathématiques-sciences : l'enseignement.....	45
c) Les obstacles.....	45
III. L'état des lieux : le concours du CAPES.....	47
1. Quelques chiffres.....	47
2. Les épreuves actuelles du CAPES.....	48
3. Commentaire sur les épreuves actuelles.....	48
IV. Des propositions pour la formation des maîtres du second degré.....	49
1. Des stages de sensibilisation au cours des études.....	49
2. Un recrutement au niveau maîtrise	50
a) L'augmentation de la quantité de connaissances nécessaires.....	50
b) La diminution des connaissances initiales.....	51
c) Augmenter la durée de formation.....	51
d) Des objectifs pour une maîtrise "d'enseignement".....	52
e) Maîtrise et première année d'IUFM.....	53
3. Les contenus du concours : continuité et évolutions.....	53
a) Les flux de recrutement	53
b) Le CAPES : concours mathématique ou professionnel ?	53
c) Les épreuves du CAPES et le rôle des jurys :	55
4 Informatique et mathématiques.....	57
a) Introduction	57
b) L'état des lieux côté formation initiale.....	57
c) Vérifier les connaissances en algorithmique et programmation au concours ?	58
d) Quel niveau de connaissances ?	58
e) Quelle épreuve au CAPES ?.....	59
f) L'agrégation.....	59

Annexe : Cohérence et transposition : quelques exemples.....	60
Exemple 1 :	60
Exemple 2	60
Exemple 3	61
Exemple 4	61
Exemple 5 :	62
Exemple 6 :	62
Bibliographie :	63
Quatrième partie :	64
La formation professionnelle des maîtres du second degré en mathématiques	64
I. Introduction : pour circonscrire notre champ de réflexion.....	64
II. La formation vue par les stagiaires.....	66
1. Les dispositifs et les acteurs : le point de vue de l'institution.....	66
2. Du côté des acteurs (stagiaires et tuteurs).....	66
a) Succès de la formation sur le terrain.....	67
b) Des difficultés communes à tous les débutants, confirmées par leurs tuteurs, mais dont certaines se modifient au fil de l'année.....	68
c) Une absente : la référence explicite à l'apprentissage des élèves	68
III Objectifs de la formation professionnelle disciplinaire initiale	69
1. Des objectifs à court terme (l'installation): faire passer les étudiants du point de vue de l'apprentissage des mathématiques à celui de leur enseignement.....	70
2. Des objectifs à plus long terme : apprendre à gérer les activités des élèves en classe, à élaborer des bons problèmes, à s'adapter aux élèves, à intégrer du nouveau	71
a) Apprendre à gérer les activités des élèves	71
b) Concevoir des progressions ou des situations viables des trois points de vue : épistémologique, didactique et institutionnel.....	72
c) La prise en compte des élèves et l'évaluation des enseignements	73
d) L'intégration du nouveau.....	73
IV Perspectives et propositions	73
1. Amont et aval de la formation professionnelle disciplinaire initiale : pré-professionnalisation et formation des formateurs	74
2. Entre recherches et formation, un travail de transposition pas toujours fait, un partage des rôles encore à trouver.....	74
3. Vers de nouveaux dispositifs plus adaptés à la formation des pratiques ?	75
4. Un point en débat :	77
Bibliographie succincte (spécifique aux mathématiques)	78
Cinquième partie :	80
La formation continue des enseignants de mathématiques du second degré	80
I L'importance de la formation continue	80
II Quelles ambitions pour la formation continue ?.....	81
1. Renforcer la formation mathématique des personnels recrutés en dehors des concours externes et internes	82
2. Accompagner les évolutions dans les contenus d'enseignement.....	82
3. Enrichir la culture mathématique et plus généralement la culture scientifique des enseignants.....	82
4. Aider les enseignants à prendre en compte l'évolution technologique	84
5. Contribuer à la construction d'une professionnalité enseignante amorcée dans la formation initiale.....	85
6 Aider les enseignants à mettre en place des organisations didactiques adaptées.....	87
7. Réfléchir sur les questions d'évaluation et d'orientation.....	88

III Comment satisfaire ces besoins de formation ?	89
IV. La situation actuelle et ses insuffisances.....	91
1. L'inadaptation de la formation continue existante aux besoins	91
2. Une liaison insuffisante entre formation et recherche	94
3. La formation des formateurs	95
V. Quelques propositions pour conclure	96
Glossaire des sigles	103

Introduction

La réflexion de la CREM ¹ sur la formation des maîtres s'inscrit dans la suite logique de ses travaux. Elle prend en compte, en particulier, les recommandations des divers rapports d'étape sur l'informatique, les statistiques, le calcul et la géométrie.

Sur le sujet difficile et controversé de la formation des maîtres, la commission a souhaité prendre un certain recul par rapport à la conjoncture actuelle. En effet, il est clair, pour des raisons démographiques évidentes (notamment le prochain départ à la retraite des nombreux professeurs de la génération d'après guerre), que l'institution va devoir faire face, dans les années qui viennent, à des recrutements massifs et devra sans doute pour cela transiger avec l'exigence de qualité. Dans notre discipline, le problème sera d'autant plus aigu qu'il est constaté une désaffection inquiétante des jeunes pour les études scientifiques. On risque ainsi de voir se développer des recrutements parallèles comme il en apparaît déjà aujourd'hui (embauche de nombreux vacataires, concours réservés aux emplois jeunes, etc.)

Il convient de rappeler qu'actuellement, moins de la moitié des professeurs en exercice ont été recrutés par la voie "normale" des concours externes. Cela ne nous semble pas une pratique saine. En particulier, si l'existence de concours internes, permettant de valider une formation continue authentique, est une bonne chose, la multiplication conjoncturelle de divers concours (spécifiques, réservés, etc.) ne nous semble pas souhaitable.

La réflexion de la commission, qui privilégie la qualité et suppose pour cela un régime de recrutement régulier et maîtrisé, s'inscrit donc plutôt dans une perspective à moyen terme. En ce sens elle se différencie d'autres groupes de réflexion qui travaillent actuellement sur le même sujet, mais avec des contraintes de date plus impératives (haut comité de suivi des concours, groupe d'experts pour le cahier des charges de la deuxième année d'IUFM, etc.) et ses propositions ont une portée moins conjoncturelle.

Cela étant affirmé, la commission ne se désintéresse évidemment pas de la situation actuelle et nombre de ses propositions peuvent immédiatement être mises en œuvre. En tous cas, pour faire face aux difficultés prévisibles des années qui viennent, il nous semble essentiel de retenir deux points :

1) Si l'on souhaite attirer un maximum de jeunes vers le métier d'enseignant il est nécessaire de remettre en service un système de pré-recrutements rémunérés comme il y en a déjà eu dans le passé (le système des IPES jusque dans les années 1970, les allocations de licence ou de première année d'IUFM au début des années 1990). Nous sommes plutôt en faveur d'un système de type IPES qui comporte, en contrepartie, un engagement de l'étudiant qui en bénéficie au service de l'Education Nationale.

¹ Commission de Réflexion sur l'Enseignement des Mathématiques. Les sigles sont explicités dans un glossaire situé à la fin du texte.

2) Si les circonstances contraignent les pouvoirs publics à recourir temporairement à des recrutements qui n'auraient pas toute la qualité voulue, cela rend d'autant plus indispensable d'améliorer la formation continue, notamment pour les personnels en début de carrière.

Ce texte comporte cinq parties. La première traite de la formation initiale et continue des enseignants du premier degré. La seconde de la formation initiale et continue des professeurs de lycée professionnel. Les trois autres concernent le second degré (formations disciplinaire, professionnelle, continue).

Principes généraux

La philosophie de la commission en ce qui concerne l'enseignement et, partant, la formation des maîtres, pourrait se résumer en une phrase : une fonction essentielle de l'enseignement est de donner aux adultes de demain les possibilités de comprendre le monde et de participer à la construction de l'environnement (encore imprévisible) qui sera le leur, en leur fournissant un socle de connaissances solide et adaptable.

La mission de l'école dans son ensemble doit donc être de dispenser un « enseignement durable » (au sens où l'on parle de développement durable) : cela signifie que, face à des bouleversements toujours plus rapides de la société, l'enseignement doit former des hommes et des femmes aptes à réfléchir, à décider, en un mot, des citoyens aptes à prendre leur destin en main de manière rationnelle.

Pour atteindre cet objectif, la commission met en avant deux mots clés : **adaptabilité et culture**. Adaptabilité parce qu'il faudra être capable de réagir face aux changements sans les subir et pour cela continuer à se former la vie durant. Culture, parce que c'est elle qui va fonder la pérennité des connaissances et constituer la mémoire de l'humanité. Ce mot de culture mérite d'ailleurs quelques explications supplémentaires. En effet, à notre sens, cette culture contient évidemment celle de la discipline (pour nous, les mathématiques) qui en constitue le socle, mais que vont enrichir les contacts avec tout l'éventail des autres disciplines. Elle implique aussi une prise de distance par rapport à des contingences sociales et économiques trop étroites et une vision globale de la formation, qui résiste à la tentation de développer uniquement des connaissances techniques spécialisées mais obsolètes aussitôt qu'acquises.

On verra que ce thème de la culture est omniprésent dans ce qui suit, avec de multiples déclinaisons et de fortes exigences.

La commission, à côté de ces principes généraux qu'elle juge essentiels, a pris en compte aussi les bouleversements de la société en ce qui concerne l'enseignement. En effet, même si ces points ne relèvent pas des seules mathématiques, nous devons tenir compte des évolutions du métier de professeur liées à trois types de changements :

- 1) la composition sociale du public, qui a radicalement changé depuis quelques décennies, et qui est moins enclin qu'avant à consentir l'effort que demande toute acquisition de connaissances,
- 2) le regard que le monde extérieur porte sur l'école et qui lui aussi a beaucoup changé, lui demandant toujours plus, tout en lui faisant moins confiance,
- 3) le développement des moyens d'information et de communication qui fait que l'école n'est plus, tant s'en faut, la seule source d'information des jeunes.

Une conséquence de cette prise en compte c'est qu'à côté de la formation des maîtres dans la discipline (formation scientifique et didactique), qui est le thème essentiel de ce rapport, la commission a été très attentive à la formation professionnelle des professeurs.

Première partie :

La formation des maîtres du premier degré

I. Introduction : les caractéristiques du métier de professeur des écoles

1. En général

Il existe un référentiel des compétences et capacités caractéristiques d'un professeur d'école (Réf BO n°45 du 08/12/1994) relativement consensuel, qui nous semble tout à fait pertinent et sur lequel nous nous appuyons pour définir les caractéristiques du professeur des écoles.

Nous passerons ensuite à une étude plus spécifique des mathématiques.

Le professeur des écoles est polyvalent, a vocation à enseigner des petites sections de maternelle, à des élèves de 3 ans mais aussi parfois de 2 ans- à la dernière année d'école primaire -CM2, à des élèves de 10-11 ans- et exerce un métier en constante évolution. Les connaissances nécessaires au professeur des écoles se déclinent en trois pôles : savoirs, élèves, école et institution.

Le pôle « savoirs » regroupe des connaissances disciplinaires dans toutes les disciplines de l'école maternelle et élémentaire ; des « connaissances et outils d'enseignement relatifs à toutes les disciplines qui sont au programme des écoles » ; une « connaissance de l'enfant du développement de l'enfant et de ses capacités d'apprentissage », mais aussi de ses capacités d'écoute, d'engagement dans la tâche.

Le pôle « élèves » vise des compétences d'adaptation aux différents terrains de l'école, une adaptabilité au milieu : créer une dynamique de classe, gérer et évaluer les apprentissages des élèves, s'adapter à la diversité des élèves, etc.

Le pôle « école et institution » insère les connaissances précédentes dans les diverses contraintes liées aux textes de référence, au système éducatif en général, au travail en équipe : il vise des compétences telles que s'insérer dans une équipe pour assurer la continuité des apprentissages, connaître la place et le rôle de l'école dans le système éducatif et la société, connaître les relations entre école et environnement social et économique, connaître les autres niveaux d'enseignement, en particulier le collègue...

2. La part des mathématiques

Les mathématiques sont une discipline parmi d'autres à l'école primaire : les programmes de 1995 recensent pour le cycle 2 (5-6 à 8 ans) et pour le cycle 3 (8 à 11 ans) cinq champs disciplinaires répartis comme ci-dessous dans une semaine de 26 heures.

1995	Champs disciplinaires ²	En cycle 2	En cycle 3
	Français (et év. langues vivantes en cycle 3)	9h	9h
	Mathématiques	5h	5h30
	Découverte du monde en cycle 2 Histoire - géographie en cycle 3 Education civique	4h	4h
	Sciences et technologie en cycle 3 Education artistique	6h	5h30

² 2 heures sont explicitement attribuées aux travaux dirigés.

EPS		
-----	--	--

Ceux de 2002 sont découpés ainsi :

2002	<i>Domaines du cycle 2</i>	<i>Horaires cycle 2</i>
	Maîtrise du langage et de la langue française	9h
	Vivre ensemble	0h30 (débat hebdomadaire)
	Mathématiques	5h à 5h30
	Découvrir le monde	3h à 3h30
	Langue étrangère ou régionale	1h à 2h
	Education artistique	3h
	Education physique et sportive	3h

2002	<i>Champs disciplinaires du cycle 3</i>	<i>Horaire cycle 3</i>	<i>Domaine et horaire</i>
	Littérature (dire, lire, écrire)	4 h 30 à 5 h 30	12 h Langue française Éducation littéraire et humaine
	Observation réfléchie de la langue française (grammaire, conjugaison, orthographe, vocabulaire)	1 h 30 à 2 h	
	Langue étrangère ou régionale	1 h 30 à 2 h	
	Histoire et géographie	3 h à 3 h 30	
	Vie collective (débat réglé)	0 h 30	
	Mathématiques	5 h à 5 h 30	8 h Éducation scientifique
	Sciences expérimentales et technologie	2 h 30 à 3 h	
	Éducation musicale Arts visuels	3 h Éducation artistique	
	Éducation physique et sportive	3 h Éducation physique et sportive	

À l'école primaire, la légitimité des mathématiques n'est pas remise en question, même si l'horaire attribué aux mathématiques de l'école primaire a un peu baissé depuis 1977 (6h dans toutes les classes dans les programmes de 1985 et de 1977), mais il faut tenir compte de l'introduction de nouvelles disciplines comme les langues vivantes. Si les mathématiques enseignées à l'école primaire sont restées (globalement) les mêmes depuis 1977 (premier changement de programmes après la réforme dite des mathématiques modernes), le découpage et la rédaction des contenus des programmes ont été de plus en plus influencés par les publications de l'INRP³ adaptant pour les maîtres les travaux de recherche français et étrangers et leur proposant des situations d'enseignement. En ce qui concerne les travaux de recherche français, il faut mentionner le rôle très important de ceux menés ou dirigés par G. Brousseau, depuis les années 75, au sein du Centre d'Observation et de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques de Talence.

Même si l'horaire est précisé, le rôle et la place des mathématiques dans l'école en général ne font cependant pas l'objet d'un consensus : un professeur des écoles doit être préparé à dispenser un enseignement de mathématiques situé parmi d'autres disciplines et fortement relié à elles.

³ Publications ERMEL : Equipe de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques à l'École Élémentaire : *Apprentissages mathématiques* pour le CP (dès 1977), pour le CE (2 tomes en 1978), pour le CM (3 tomes en 1981-82) ; actuellement nouvelles éditions revues à l'aune des nouvelles recherches (6 tomes de 1990 à 99, cycles 2 et 3).

3. Les compétences visées pour un enseignant

Recensons les compétences qu'il serait souhaitable de développer chez le futur professeur des écoles concernant plus particulièrement les mathématiques :

- posséder une maîtrise raisonnable des savoirs mathématiques de l'école élémentaire permettant d'avoir un certain recul par rapport aux programmes,
- connaître des éléments d'épistémologie des mathématiques : réflexion sur la pratique mathématique, sur le rapport au vrai et au faux, sur l'histoire des mathématiques ...
- identifier le rôle des mathématiques dans la formation scolaire, sociale et personnelle de l'élève, en particulier identifier la place des mathématiques par rapport aux autres disciplines, en relation avec d'autres domaines de savoirs et leur utilité pratique,
- identifier les savoirs et connaissances⁴ que les élèves doivent s'approprier en mathématiques,
- concevoir un enseignement à long terme : progression sur le cycle, l'année, le trimestre, le mois...
- analyser, choisir, adapter ou concevoir une progression sur un thème ou une notion,
- analyser, choisir, adapter ou concevoir des situations d'introduction et de construction, d'entraînement, de réinvestissement, d'évaluation...
- adapter le tout aux élèves auxquels cet enseignement s'adresse
- savoir mener cet enseignement dans la classe, éventuellement à plusieurs niveaux,
- analyser des difficultés récurrentes d'élèves, analyser des difficultés particulières d'un élève particulier, choisir, adapter, concevoir des situations d'aide...

II. Objectifs de la formation (disciplinaire et didactique)

Dans la suite, nous nous concentrons sur les aspects mathématiques de la formation des maîtres, faisant l'hypothèse qu'elle s'insère dans une formation polyvalente, soit générale (avec un risque de superficialité), soit à dominante⁵ (littéraire, artistique) mais avec le risque (à long terme) que certaines dominantes ne soient plus représentées dans certaines écoles (classes uniques etc.).

Les futurs professeurs des écoles n'ont pas tous une formation scientifique, loin de là. Selon la note d'information 01-46 d'octobre 2001 du Ministère de l'Éducation Nationale, « les nouveaux professeurs des écoles sont issus à 78% des filières lettres et sciences humaines ». Bien qu'actuellement recrutés au niveau licence, pour un grand nombre, ils ont très souvent abandonné l'étude des mathématiques dès la seconde. Leurs souvenirs sont donc lointains et leurs connaissances souvent fragiles et lacunaires. À cela s'ajoute, pour un certain nombre, un désamour des mathématiques, voire une phobie.

Bien entendu personne ne nie la nécessité que des professeurs d'école, ayant à les enseigner, connaissent suffisamment de mathématiques pour pouvoir dispenser un enseignement vivant et adapté.

⁴ S'agissant par exemple de l'apprentissage du nombre entier, les étudiants professeurs des écoles découvrent souvent qu'il est nécessaire d'avoir compris le principe de numération décimale pour réussir des additions, alors qu'ils réduisaient cette compétence à l'acquisition d'un simple mécanisme à imiter.

⁵ En 2001-2002 les mathématiques ne peuvent entrer dans la dominante. Il n'existe pas de dominante scientifique.

1. Une formation en mathématique

En réalité, l'entrée dans la fonction d'enseignant nécessite de compléter les connaissances de base par **un nouveau regard (souvent plus positif) sur les savoirs mathématiques**, d'opérer notamment une **refondation** et, en prenant un certain recul, d'établir de nouveaux liens entre des connaissances souvent disparates et isolées, moyennant en particulier un minimum de culture sur la genèse de certains concepts et leur dynamique propre.

Prenons l'exemple des nombres : il est nécessaire d'avoir une culture mathématique, épistémologique et sociale du numérique, notamment sur les entiers, décimaux, rationnels et même les réels, de comprendre la complexité de leur genèse et d'avoir des repères historiques (par exemple de savoir que les décimaux ne datent que du XVI^{ème} siècle) ; de percevoir les enjeux de leur utilisation sociale (par exemple de savoir que les décimaux ont été imposés à la société par une loi sur l'usage du système métrique au XIX^{ème} siècle) ; de les relier à l'histoire de l'évolution des idées.

Tout adulte domine le comptage, mais l'enseignement du « savoir compter » passe aussi par une étude fine de notre numération décimale ou plutôt des deux systèmes de numération (orale et écrite) qui régissent nos codages de la quantité ; indépendamment de connaissances cognitives sur l'apprentissage du nombre, cette étude fait partie des mathématiques.

L'analyse des algorithmes des opérations sur les entiers, de leur pertinence et de leur caractère relatif est toujours une découverte pour les étudiants de quelque origine qu'ils soient ; elle les amène à prendre conscience des choix culturels et scientifiques qui régissent aussi le « calcul ».

L'étude épistémologique des décimaux ancre une habitude culturelle dans un champ mathématique et social, lie mathématiques, physique et astronomie via pratiques et instruments de mesure ; elle relativise la simplicité d'un codage et invite à questionner son apprentissage.

Les algorithmes opératoires sur les décimaux prolongent formellement les algorithmes opératoires des entiers, mais leur utilisation adéquate nécessite la compréhension du principe de notation décimale et des propriétés algébriques des opérations : sinon apparaissent les erreurs du type $4,6 + 2,7 = 6,13$ ou encore $4,3 \times 4,3 = 16,9$.

2. Une réflexion sur la place des mathématiques dans l'instruction de l'élève

Ces savoirs doivent s'insérer dans **la perception de la place des mathématiques** dans l'école : les mathématiques sont un ensemble de techniques et d'outils au service des autres disciplines⁶ ; mais aussi une incitation à la recherche et au raisonnement (essai, imagination, formulation, contrôle...) et une aide à la compréhension du monde (prévision, anticipation, raisonnement, déduction...) ; il s'agit aussi de reconnaître la pensée mathématique dans des « objets » usuels (les nombres entiers, par exemple, conceptualisent une première abstraction de la quantité ou du rang) ou des situations qui ne le sont pas nécessairement (stratégie au cours d'un jeu, modélisation d'une expérience ...).

Prenons un jeu comme la « course à vingt »⁷ (jeu à deux ; chacun dit un nombre entier à tour de rôle ; le jeu commence à zéro et on ajoute 1 ou 2 au nombre précédent ; le premier qui dit 20 a gagné). Découvrir par un raisonnement que celui qui commence peut gagner à coup sûr est un témoignage fort du pouvoir des mathématiques.

Un problème⁸ comme « Dans cette tirelire, il y a des pièces de 2 euros et des billets de 5 euros ; en tout 18 objets (pièces et billets) et une somme de 57 euros. Combien de chaque

⁶ Ce rôle est occulté dans les faits puisque par exemple aucun plan de rénovation des sciences ne s'est soucié d'y associer les mathématiques, comme outil et comme pratique.

⁷ La course à vingt. Brousseau 1978 *Théorie des situations didactiques* pages 25-41 La Pensée Sauvage 1998

⁸ *Comment font-ils ? L'écologiste et le problème de mathématiques*. INRP 1985

à des extrapolations rapides sous forme de produit des longueurs s'il n'est pas contrôlé par une approche de la conservation de l'aire par découpage et recollement, c'est-à-dire un travail sur la « grandeur » aire.

Un travail didactique permet aussi de faire la différence entre connaissances nécessaires à la résolution d'un problème et connaissances « expertes » (les plus économiques et les plus généralisables), comme dans le problème de la tirelire ci-dessus. Il conduit à se garder de « l'illusion de transparence⁹ », la simplicité apparente d'un concept est rarement garante de la simplicité de sa genèse cognitive, comme une étude des numérations écrite et orale en témoigne pour le nombre entier¹⁰. Cela engage une prise de conscience des phénomènes de transposition : comment découper, organiser, adapter le savoir mathématique pour que les élèves puissent y accéder.

La didactique fournit aussi des outils d'aide à la décision et d'évaluation de situations d'enseignement. Elle permet, par exemple, grâce aux travaux de G.Vergnaud (1985), de comprendre et de savoir anticiper par cycle la hiérarchie des taux de réussite des problèmes suivants en relativisant la difficulté de l'addition par rapport à la soustraction :

Types de problèmes ¹¹	Proportion de réussite sur 100			
	Mat	CP	CE1	CE2
1- X a 3 billes. Y a 5 billes. Combien X et Y ont-ils de billes ensemble ?	100	100	100	100
2- X avait 3 billes. Puis Y lui a donné 5 billes. Combien de billes a maintenant X ?	87	100	100	100
3- X avait des billes. Il en a donné 5 à Y. Maintenant X a 3 billes. Combien avait-il de billes ?	22	39	70	80
4- X avait 8 billes. Puis il a donné 3 billes à Y. Combien de billes a maintenant X ?	100	100	100	100
5- X et Y ont ensemble 8 billes. X a 3 billes. Combien Y a-t-il de billes ?	22	39	70	100

Elle recense les obstacles a priori dans l'apprentissage et permet de comprendre, d'interpréter et de traiter certaines réponses erronées mais significatives : par exemple quand, au problème suivant « Pierre achète 0,60 mètre de fil à 3 euros le mètre », l'élève fournit la réponse 5 euros, c'est souvent parce qu'il a d'abord essayé l'opération naturelle $3 \times 0,60$ et tout surpris d'avoir trouvé un nombre plus petit que 3, alors qu'il avait intégré que le produit de deux nombres était toujours plus grand que chacun des facteurs¹², il se met à douter et à essayer une autre opération, proche, une division : il obtient 5 en essayant $3 : 0,60$.

⁹ C'est-à-dire le fait qu'un objet mathématique soit familier rende invisible sa complexité.

¹⁰ Etude qui conduit à comprendre, interpréter et traiter des réponses écrites du type 6012 / 612 / 82 à la dictée orale de 72 ; 121456 / 120456 à la dictée orale de 12 456.

¹¹ Michel Fayol Page 151 dans *L'enfant et le nombre. Du comptage à la résolution de problèmes*. Editions Delachaux et Niestlé 1990

¹² On pointe ainsi un obstacle épistémologique lié à la multiplication par un nombre inférieur à 1.

4. Une réflexion sur la spécificité des mathématiques par rapport aux autres disciplines

La **spécificité des mathématiques** doit être aussi questionnée par rapport aux autres disciplines : spécificité de nature (le rapport au réel, le statut du vrai et du faux), spécificité des écrits, spécificité de l'argumentation... Autrement dit, une réflexion sur leur caractère nécessaire (ou non) dans la formation de la personne et du futur citoyen.

À ceux qui douteraient de la possibilité de déjà développer le concept de preuve à l'école primaire (indépendamment de l'inscription dans l'hypothético-déductif), nous renvoyons au livre de l'équipe ERMEL¹³, par exemple au problème « le plus grand produit », déjà cité dans le rapport Annexe au Calcul de la Commission : il s'agit de chercher, parmi les décompositions additives d'un nombre entier en somme de nombres entiers, celle ou celles qui correspondent au plus grand produit. Ce problème permet aux élèves d'émettre des propositions, de les débattre ou de les affiner, en ayant recours à une connaissance (« mettre 1 dans le produit ne sert à rien »), un contre-exemple (« pour un nombre pair, prendre la somme des deux moitiés »), un raisonnement (« pour trouver le plus grand produit, il faut essayer des nombres de 2 à 6 maximum ») et ainsi d'avancer vers la solution générale et vers les preuves correspondantes.

En ce qui concerne l'aspect modélisation, nous renvoyons par exemple à la situation « le poids d'un récipient » de Nadine et Guy Brousseau¹⁴ : les élèves ont à trouver le poids d'un récipient avec de l'eau ; le récipient contient d'abord un verre, puis deux, puis trois, puis quatre... ; après chaque ajout d'eau par l'enseignant, les élèves sont amenés à écrire leur prévision du poids du récipient, puis un élève vient mesurer sur la balance et écrire le verdict. Un débat suit concernant les erreurs de prévision. Pour la prévision du poids du récipient avec deux verres, les élèves doublent le poids initial (contrôlé par la balance), autrement dit s'engagent implicitement dans des procédures liées à la proportionnalité, puis progressivement tiennent compte de la tare ; c'est alors qu'ils sont souvent déçus (et trouvent « injuste ») que la balance ne leur renvoie pas exactement la même valeur. Cette situation fait prendre conscience qu'un modèle mathématique permet de prévoir, de comparer et de valider des résultats et de l'existence d'écarts entre les résultats des manipulations et ceux des calculs numériques.

5. Quelles mathématiques pour l'école primaire ?

Les questions qui précèdent nous conduisent tout naturellement à tenter de définir une culture mathématique du citoyen. Bien entendu, il s'agit ici de définir une culture mathématique **pour tous**¹⁵ et en nous limitant, dans un premier temps, au niveau de la fin de l'école primaire. L'intérêt d'une telle définition est de permettre de replacer les mathématiques dans leur environnement social et de relativiser les choix de la scolarité obligatoire. En effet, que les mathématiques développent l'aptitude à structurer sa pensée est un fait reconnu par tous et qui peut être validé aussi, parfois, dans des situations extra mathématiques. Encore faut-il que ces mathématiques soient raisonnablement maîtrisées par l'individu, qu'il se les soit appropriées positivement afin de les réinvestir consciemment. Cela pose le problème du niveau de conceptualisation que l'on pense abordable par la majorité des élèves et des individus en général. **À quel niveau de conceptualisation peut-on amener la majorité des élèves actuels dans leur scolarité obligatoire ? À quel niveau de**

¹³ ERMEL (Eds.) (1999). *Vrai ? Faux ?... On en débat !* INRP, Paris.

¹⁴ Revue *Grand N* n°50 (1991-92) pp.65-87. IREM de Grenoble.

¹⁵ L'enseignement de « plus de mathématiques à quelques-uns » est une autre question, qu'il faut traiter à part.

conceptualisation peut-on amener les élèves de telle tranche d'âge : voilà sans doute des questions essentielles.

Précisons ici ce que nous entendons par niveau de conceptualisation. Les élèves sont capables de résoudre certains problèmes sans que les concepts mathématiques correspondants aient été explicitement formulés. Ce n'est pas pour cela qu'ils sont capables de comprendre le concept et surtout de lui appliquer une technique générale ou un traitement plus théorique.

Voici quelques exemples dans ce sens.

- Un problème additif peut être résolu en maternelle dans la mesure où des intuitions locales, pour certains nombres, permettent au jeune enfant de répondre qu'il a 4 billes s'il en a 2 dans une main et 2 dans l'autre, sans aucune référence ici au concept additif. Plus tard, en revanche, cette référence permet à l'élève d'envisager la réponse dans presque n'importe quelle situation.
- En fin d'école primaire, les élèves sont capables, par des raisonnements fondés sur les propriétés implicites de linéarité, de résoudre un grand nombre de problèmes de proportionnalité sans référence au coefficient de proportionnalité, qui sera un objectif de collège en liaison avec la fonction linéaire associée. Par exemple, la question : « *une voiture parcourt en trois heures 262 km ; si elle maintient cette vitesse, quelle distance parcourra-t-elle en quatre heures et demie ?* » donnera lieu à une réponse¹⁶ sans que le calcul de la vitesse soit nécessaire (d'ailleurs, ici, cette méthode « élémentaire » est sans doute la plus simple).¹⁷
- Il est admis que les élèves doivent prendre connaissance de l'existence de nombres autres qu'entiers dès l'école primaire. Considérons l'introduction des rationnels (positifs) : leur écriture même les identifie comme couples d'entiers, et pour le jeune enfant il n'est pas immédiat d'y voir un « seul » nombre (par exemple qu'il est possible d'intercaler sur la demi-droite graduée entre deux autres nombres) : il lui est plus facile de l'envisager d'abord comme une mesure dont l'écriture lui rappelle le mode d'obtention : ainsi la conception de cinq quarts comme « cinq parts de l'unité partagée en quatre » lui permettra assez vite de conclure sur le complément à l'entier supérieur ou le dépassement de l'entier inférieur, sur la somme de certaines fractions, par exemple $\frac{5}{4} + \frac{1}{2}$ (sans moindre idée de la technique de réduction au même dénominateur), alors que la conception de « cinq unités partagées en quatre » ne lui permettra pas, ou moins « naturellement » ce type de traitement¹⁸.
- L'exemple précédent montre le rôle des grandeurs dans les apprentissages numériques : les jeunes élèves sont capables de comparer des longueurs, des aires (bien avant de savoir les mesurer) ; la recherche d'un rapport entre certaines longueurs commensurables peut permettre d'introduire des rationnels (par leur écriture fractionnaire) ; plus tard, la recherche d'un rapport entre deux longueurs incommensurables peut permettre d'inférer l'existence de nombres irrationnels.
- La géométrie fournit un autre domaine riche en niveaux de conceptualisation et d'interprétation : pour l'enfant de cycle 3 (8 à 10 ans), la recherche de tous les triangles possibles à partir de baguettes de 4 cm, 8 cm et 10 cm l'amène, entre autres, à expliciter

¹⁶ alors que la même question avec une durée de *cinq heures et demie* ne pourra être résolue.

¹⁷ On a déjà vu plus haut un exemple du même type : pour le problème de la tirelire, il existe une solution arithmétique qui ne fait pas appel aux systèmes d'équations à deux inconnues. L'expérience de formation des professeurs de collège montre qu'ils ont beaucoup de mal à imaginer une telle solution et à la reconnaître pour valable lorsque leurs élèves la proposent.

¹⁸ Cependant ces deux conceptions sont toutes deux nécessaires à la compréhension du rationnel. Si l'une peut être étudiée au primaire, l'autre peut être envisagée au collège.

des conditions de non-existence de triangles définis par des longueurs, validées par la perception et l'expérience. Au collège, ces conditions deviennent un des principes (inégalité triangulaire ou axiome du plus court chemin) d'un nouveau contrat géométrique, plus théorique, mais avec des axiomes reliés au sensible. Puis, plus tard, en particulier au lycée, le même dessin peut faire référence à l'addition de deux vecteurs, plongeant ainsi la géométrie dans une théorie algébrique.

En ce qui concerne la formation des enseignants, on voit bien, sur ce dernier exemple, en quoi les études supérieures classiques (même scientifiques) restent incomplètes : il est sans doute nécessaire que les étudiants, dans une perspective d'enseignement de la géométrie, aient l'occasion de faire un point sur les différents paradigmes géométriques¹⁹ en présence dans la scolarité (dont les premiers ne sont pas théoriques mais référés au sensible et aidés par des instruments), mis en relation avec des éléments épistémologiques de la géométrie. Ce faisant, ils seront amenés à étudier des preuves qu'ils n'avaient pas nécessairement envisagées (ou acceptées) dans leur cursus antérieur et à replacer ces preuves dans le cadre adapté. La même remarque vaut aussi pour des situations de calcul (comme celle de la tirelire).

Une fois un accord trouvé sur les niveaux de conceptualisation, on peut poser une seconde question :

Quels savoirs mathématiques sont utiles (dans une perspective de culture mathématique du citoyen) et avec quel niveau de conceptualisation ?

La réponse à cette deuxième question permettrait peut-être de définir les contenus des programmes. Autrement dit, travailler les articulations entre les différents niveaux de scolarité pourrait être fait non pas seulement en répartissant des contenus, mais en précisant pour un contenu donné à quel niveau de conceptualisation il peut être abordé à tel moment de la scolarité.

III. Un état des lieux 1991-2002 sur l'épreuve de mathématiques du concours externe

Les professeurs des écoles sont recrutés depuis 1991²⁰ (voie externe) par un concours académique après une licence ou un équivalent de trois années universitaires. Le concours comporte, pour la plupart des épreuves (dont français, mathématiques...) des questions disciplinaires et des questions à dimension plus professionnelle (liée à l'analyse d'éléments de classes ; étude de productions d'élèves, analyse a priori d'exercices ou de documents pédagogiques...). Jusqu'en 2002, le concours comporte six épreuves : deux d'admissibilité écrites, *sans programme détaillé*, français (quatre heures ; coefficient 4 ; note éliminatoire 5) et mathématiques (trois heures ; coefficient 4 ; note éliminatoire 5) – ce qui est resté *inchangé en 2003*,- et quatre épreuves d'admission - *avec des modifications en 2003 détaillées ci dessous* :

- une épreuve orale destinée à tester les capacités de communication et d'argumentation sur des questions éducatives (une heure de préparation ; 20 min d'exposé à partir de

¹⁹ Houdement et Kuzniak (1999) Géométrie et paradigmes géométriques. In *petit x* n°51. 5-21. IREM de Grenoble.

²⁰ il existe aussi un concours interne destiné aux non titulaires ayant exercé dans l'enseignement : ce concours, moins difficile (rapport nombre de présents/ nombre de places) comporte une épreuve de mathématiques mais avec une seule partie pédagogique : selon les concepteurs du sujet, il arrive que cette épreuve soit exempte de mathématiques dépassant le niveau exigible d'un élève de fin de primaire.

questions, soit sur un dossier préparé par le candidat, soit sur un dossier donné par le jury, suivi de 25 minutes d'entretien ; coefficient 3 ; note éliminatoire 5) ; *en 2003, il existe un programme détaillé de cette épreuve qui passe à un coefficient 4, le dossier est toujours proposé par le jury ;*

- une épreuve écrite au choix parmi trois offres : biologie et géologie, sciences physiques et technologie, histoire et géographie (trois heures, coefficient 1) *remplacée à partir de 2003 par une épreuve orale à choisir parmi deux offres sciences et technologie OU histoire, géographie (30 min, coefficient 2, programmes détaillés) ;*
- une autre épreuve écrite au choix parmi trois offres ; langues, musique ou arts plastiques (coefficient 1), *remplacée à partir de 2003 par une épreuve orale de coefficient 2 ;*
- une épreuve d'éducation physique et sportive (activité et entretien, coefficient 1), *avec un changement de coefficient (2) à partir de 2003.*

Jusqu'en 2002, l'épreuve de mathématiques (comme le français) contribue pour plus de 28% à la note finale : on a pu constater que pour un nombre de plus en plus important de candidats, les épreuves d'admission n'ont eu que peu d'incidence sur le classement final : l'admissibilité tenait lieu d'admission²¹.

A partir de 2003, l'épreuve de mathématiques ne contribuera que pour 20% à la note finale, comme le français.

Le candidat peut préparer ce concours soit à l'IUFM (en première année²²), soit via le CNED²³, soit en candidat libre. La forte demande d'inscription en première année a amené les IUFM à sélectionner les étudiants de première année sur des critères divers (tests de français, mathématiques, culture générale, entretien après pré-tri sur dossiers pondérés...). Il est établi que le suivi d'une première année en IUFM joue un rôle non négligeable dans la réussite au concours²⁴.

C'est ainsi que depuis 1991, date de création des IUFM, une ambiguïté subsiste : on peut être formé pendant deux ans en IUFM, mais le suivi de la première année d'IUFM est facultatif alors qu'y sont déjà dispensés des éléments de formation professionnelle (analyse de situations de classes et stages sur le terrain) ; puisque seul le concours fait autorité, des étudiants arrivent directement en deuxième année (ou sont placés directement à la tête d'une classe s'ils sont sur la liste complémentaire, comme nous l'expliquons plus loin) sans avoir quelquefois la moindre idée de ce que représente aujourd'hui le métier de professeur des écoles et en ayant droit à un horaire bien faible de formation à l'enseignement des mathématiques, variable selon les IUFM : l'horaire de mathématiques oscille entre 20 et 60 heures (Rouen environ 45 heures, Lyon 30 heures, Reims 40 heures). On peut parler de mathématiques dans d'autres modules (« analyse de pratiques » par exemple²⁵), mais encore plus rarement sous leur aspect, « formation personnelle des étudiants ».

Si le candidat est sur la liste principale du concours, il devient fonctionnaire stagiaire et entre en deuxième année d'IUFM pour une titularisation en fin d'année et suit une formation alternant cours et stages sur le terrain, en tutelle (le titulaire de la classe est présent) ou en responsabilité (le stagiaire est le seul maître de la classe, le titulaire effectuant pendant ce temps un stage de formation continue). Là se dévoile la complexité de ce dispositif : pour

²¹ Ceci est encore plus vrai avec la pratique des listes complémentaires (voir plus loin).

²² là le temps consacré aux mathématiques oscille entre 60h et 100h avec éventuellement du soutien pour les plus faibles : par exemple 100h à Lyon et à Reims, 68 h à Rouen avec 15h ou 30h optionnelles....

²³ Centre National d'Enseignement à Distance

²⁴ par exemple dans l'académie de Rouen, pour la session du CERPE 2001, si environ 50% des PE1 2000-01 sont sur la liste principale, la promotion des PE2 2001-02 est constituée pour 74% d'ex-étudiants d'IUFM (parmi lesquels les aides éducateurs etc.).

²⁵ Certains IUFM n'affichent plus du tout l'entrée Mathématiques en seconde année.

qu'un stagiaire professeur des écoles ait accès à une classe en responsabilité, il est nécessaire qu'un maître ait choisi de venir en formation continue. Mais il se développe depuis tout récemment, dans certaines académies, des formules dans lesquelles le maître sorti de sa classe n'est pas (ou pas uniquement) en formation continue : maîtres ressources mis à disposition des Inspecteurs (IEN), etc.

Chaque liste principale du concours externe est suivie d'une liste complémentaire : il est fait appel à un plus ou moins grand nombre de candidats sur cette liste selon le nombre de postes restés vacants après la rentrée. Ces candidats « rattrapés » exercent immédiatement la fonction de professeur d'école sur le terrain. Cette utilisation de la liste complémentaire s'est intensifiée depuis 1999, jusqu'à atteindre dans certaines académies 100% de la liste principale. Après une année (totale ou partielle) sur le terrain en plein exercice, ces candidats « rattrapés » ont le bénéfice du concours : ils entrent en deuxième année d'IUFM et sont souvent mêlés aux étudiants sans expérience de terrain.

1. L'épreuve de mathématiques du concours jusqu'en 2002 et 2003

Le texte sur l'épreuve de mathématiques (arrêté du 18 octobre 1991 modifié par arrêté du 28 octobre 1994) précise :

« Les épreuves des concours ont pour objectif d'apprécier l'aptitude des candidats à mobiliser et à exploiter les connaissances nécessaires à l'enseignement à l'école primaire sans exiger d'eux une connaissance fine et approfondie de tel ou tel sujet dans la discipline considérée. Ce qui sera évalué au concours, c'est la capacité du candidat à transférer, sur tout sujet, la méthodologie qui aura été l'objet de son apprentissage lors de la préparation au concours. C'est pourquoi le choix a été fait de ne pas arrêter de liste limitative de sujets pour les épreuves disciplinaires de ce concours : le « seul » programme à prendre en compte est celui défini pour l'école primaire, en vigueur au moment du concours²⁶. Si une connaissance fine et approfondie de notions est requise pour traiter un sujet, ces notions seront fournies au candidat dans le texte de l'épreuve (ce qui correspond à la situation réelle de l'enseignant qui, lors de la préparation d'une activité de classe, complète ses connaissances par la lecture d'ouvrages et de manuels)»

Ce texte a été précisé par des notes ou des recommandations

L'épreuve de mathématiques compte pour moitié à l'admissibilité et comporte deux volets.

Le premier volet permet de juger des compétences du candidat dans la discipline et se compose de deux épreuves. La première, sur huit points, « doit permettre d'apprécier l'aptitude des candidats à maîtriser et à exploiter une ou plusieurs notions relevant de l'enseignement des mathématiques à l'école primaire ». La seconde, sur quatre points, consiste « à repérer les erreurs et les qualités dans une production d'élève, à les analyser et à les commenter en référence aux objectifs et aux contenus de la discipline »

Le second volet, sur huit points, a pour objet « l'analyse des approches didactiques et des démarches pédagogiques correspondantes ».

Les derniers textes officiels (arrêté du 29 avril 2002) définissant le concours de recrutement externe gardent les mêmes modalités pour l'épreuve de mathématiques, mais réduisent son importance par rapport à la note globale (22% au lieu de 28%). La définition d'un programme national plus précis semble être à l'ordre du jour : il n'existe pas encore pour le français et les mathématiques, mais pour les autres disciplines (la situation a été annoncée comme transitoire, dans l'attente d'éventuelles nouvelles modalités).

De plus, un nouveau type de recrutement (appelé troisième concours) s'est mis en place à la session 2002, acceptant des étudiants sans licence qui justifient d'un temps d'emploi de

²⁶ Souligné par nous

quatre ans dans un établissement d'enseignement primaire ou secondaire (par exemple des aides éducateurs). Ce troisième concours est un concours externe allégé : l'épreuve de mathématiques est une version allégée de celle du concours externe. Le rapport du nombre de postes offerts au nombre de présents est en général beaucoup plus avantageux pour les candidats.

2. L'évolution des équipes de composition de sujets entre 1991 et 2002

Les équipes de composition de sujets (académiques) ont été, au départ, formées d'universitaires n'enseignant pas en IUFM et de formateurs locaux de diverses origines : formateurs de mathématiques du premier degré en IUFM, formateurs de terrain du premier degré (Instituteurs maîtres formateurs, conseillers pédagogiques), professeurs de mathématiques de collège ou de lycée, inspecteurs du premier degré (plus rarement du second). Ces équipes avaient la charge, selon les décisions des Recteurs, soit de proposer des « morceaux de sujets », soit de composer un sujet complet parmi une liste de propositions...

Suite à l'interprétation de la décision du B.O. n°13 16 déc.1999 (N.S. n° 99-196 du 8-12-1999) qui excluait, à juste titre, de la composition des sujets académiques les formateurs d'IUFM locaux préparant au concours, les Recteurs ont diversement et progressivement diminué (voire supprimé) la présence de formateurs d'IUFM du premier degré des commissions de préparation²⁷ des sujets (en particulier en 2000, 2001 et 2002) et quelquefois de la correction²⁸ si bien qu'il arrive parfois qu'aucun spécialiste à la fois de mathématiques et de l'enseignement des mathématiques du premier degré, qu'aucune personne susceptible de définir les objectifs, programmes et méthodes de la formation des professeurs des écoles en mathématiques ne fassent partie des équipes de composition des sujets.

De l'avis de la COPIRELEM²⁹, qui étudie et fournit chaque année depuis 1991 des corrigés détaillés des sujets de (presque) toutes les académies, cette décision n'est pas sans conséquence sur le respect des recommandations ministérielles et sur l'adéquation des sujets aux compétences et aux capacités qu'ils sont censés tester, selon les textes ministériels désignés ci dessus. Ainsi le nombre de sujets jugés problématiques et inadaptés est en augmentation (cf. annexe).

S'il existe des rapports annuels académiques sur le concours, la multiplicité des épreuves qui le composent fait qu'ils restent souvent succincts, se contentant souvent de donner le texte des épreuves suivi d'un bref rapport sur réussites ou échecs massifs des étudiants.

3. L'évolution des jurys de correction du concours

L'interprétation de la circulaire n° 99-196 du 8-12-1999 faite par les recteurs a abouti, dans un grand nombre d'académies, à l'exclusion de tous les formateurs IUFM, y compris de ceux qui n'assurent pas la préparation au concours, et à la constitution de jurys de correction composés de professeurs de mathématiques de collèges et de personnels du premier degré, qui, pour beaucoup d'entre eux, connaissent mal ou pas du tout les objectifs et le contenu de la formation à l'enseignement des mathématiques à l'école primaire. Dans ces conditions, on voit mal comment l'équité, au nom de laquelle ces décisions sont prises, peut être assurée. D'autre part, ces décisions, compréhensibles pour les formateurs qui assurent la préparation

²⁷ Il eut été possible de faire faire le sujet d'une académie par une commission de l'académie voisine, dont des formateurs IUFM...

²⁸ or les copies ont toujours été anonymées par les rectorats

²⁹ Commission Permanente des IREM sur l'Enseignement des Mathématiques à l'Ecole Primaire

au concours, sont ressenties par les autres formateurs comme une mise en doute de leur honnêteté.

IV. Des propositions pour la formation initiale des professeurs des écoles

Rappelons d'abord que la formation initiale encadrée institutionnelle des professeurs des écoles ne dure qu'une année, celle qui suit le concours. La première année des IUFM (promotion PE1), qui met les étudiants en contact avec les problématiques d'enseignement et le terrain des écoles, n'est pas suivie par tous³⁰. Deux questions sont donc à poser :

- quelles mathématiques évaluer dans le concours pour repérer les étudiants les plus aptes à enseigner après une formation d'un an ?
- comment, au niveau de la licence, les préparer suffisamment à cette perspective ?

1. Quel niveau de mathématiques pour le recrutement ?

La possession d'un diplôme universitaire qu'il soit DEUG ou licence (ou au-delà) n'est pas la garantie d'une culture mathématique, puisque les mathématiques sont quasiment absentes de beaucoup de filières dès la classe de première des lycées. Mais on constate, depuis la mise en place d'un niveau universitaire de recrutement, que la maturité des étudiants et leurs habitudes de travail autonome ont augmenté leurs aptitudes à se former au métier d'enseignant.

Mais quel niveau de mathématiques posséder pour suivre avec profit une formation de professeur des écoles ? Cette culture mathématique « de base » peut difficilement être évaluée en terme de niveau d'école (collège ou lycée) tant le changement de regard sur cette culture joue un rôle : par exemple un étudiant catalogué « bon en mathématique », mais enfermé dans ses certitudes serait plutôt moins apte à l'enseignement des mathématiques à l'école qu'un étudiant « moyen » prêt à repenser l'enseignement, à compenser ses lacunes, à s'interroger sur l'inégalité dans l'apprentissage. Or pour qu'un tel étudiant « moyen » ait aussi ses chances de revisiter les mathématiques d'une autre façon que celle qui l'a peut-être d'abord repoussé, il est nécessaire qu'il bénéficie d'une formation spécifique en mathématiques, dont une entrée possible est une réflexion sur des questions d'enseignement, notamment une prise de recul par rapport à la scolarité antérieure, un début de détachement de la position d'élève.

De toute façon, la question des mathématiques nécessaires pour enseigner des mathématiques dans les petits niveaux n'est pas une question naïve. Parce qu'être enseignant, c'est justement ne pas reproduire automatiquement ce qu'on a vécu comme élève : compte tenu des avancées des recherches cognitives et didactiques et des attitudes et capacités des élèves actuels, l'enseignement doit être repensé, recentré, revisité. **Pour l'enseignement des mathématiques, c'est presque un paradoxe** : en effet les mathématiques, au moins celles reconnues de base, le « compter », sont incontournables au commencement des apprentissages. Mais les élèves ont changé ; les connaissances qu'on a des mécanismes cognitifs ont changé et le rôle qu'on veut faire jouer à ces mathématiques dans la culture du citoyen a aussi changé : il ne suffit plus d'exécuter à la main ce que la machine peut faire à notre place.

³⁰ Les candidats peuvent avoir suivi une préparation au CNED, des préparations privées ou « tenter leurs chances », ce qui est le cas de candidats préparant le CAPES.

2. Les mathématiques dans le concours

Le fait qu'il y ait des mathématiques dans les sujets des concours de recrutement des futurs professeurs des écoles semble fondamental. Pourtant il n'est pas partagé par tous les pays d'Europe qui, comme en Allemagne, se contentent d'un niveau de formation et d'un entretien général de recrutement. Le texte de mathématiques peut aussi être transformé en une épreuve dite scientifique (étude d'un texte scientifique avec des questions portant sur les mathématiques, comme le prévoyait un des récents (2002) projets ajournés du concours de recrutement des professeurs des écoles). D'expérience, et tant que la polyvalence sera d'actualité, une épreuve typiquement mathématique nous semble nécessaire, notamment pour éviter que des étudiants vraiment très fâchés avec les mathématiques ne réussissent à être chargés de leur enseignement avant d'avoir surmonté leurs blocages.

L'épreuve de sélection mathématique des candidats à la formation de professeurs des écoles ne doit pas tester que des compétences techniques : les sujets où il s'agit de faire au fur et à mesure des questions intermédiaires parfaitement guidées sans aucune possibilité ni d'autonomie, ni d'imagination, ni de réelle anticipation doivent avoir une place réduite. Il est important que l'étudiant soit aussi jugé sur sa capacité à prendre l'initiative, à contrôler et à analyser ses essais pour mieux rebondir, à mettre en place un raisonnement.

Il semble acquis, et cela nous semble un point très positif, que le concours de recrutement d'enseignants du premier degré³¹ comporte une dimension professionnelle importante, qui oriente la préparation et donc la formation. Dans la mesure où il existe des savoirs d'enseignement (notamment de didactique des mathématiques) qui peuvent engager l'enseignant dans une pratique réflexive, l'aider à analyser et à comprendre des phénomènes d'enseignement (productions d'élèves, propositions d'enseignement...), il est nécessaire que cette réflexion didactique fasse aussi partie des programmes du concours, même sous une forme « vulgarisée » (comme toute transposition d'un savoir savant) à condition qu'un contrôle suffisant soit exercé sur la qualité des sujets, ce qui n'est pas (ou plus) le cas aujourd'hui (cf. annexe). Cette reconnaissance institutionnelle permet aussi de faire entrer les étudiants dans la nécessité et l'habitude d'une culture complémentaire à celle de la discipline.

3. Les mathématiques avant le concours

Quelle que soit la durée de la formation initiale, lorsque la phase principale du recrutement est effectuée, il s'avère difficile, pour des professeurs des écoles stagiaires, de s'investir pleinement dans des compléments de formation à dominante disciplinaire. Leurs intérêts deviennent « professionnels » et leur compréhension du « professionnel » à ce moment de leur formation exclut souvent un engagement disciplinaire (notamment une motivation à réapprendre des mathématiques). C'est pourquoi il nous semble nécessaire de placer, **avant** le concours, des compléments à dominante disciplinaire, mais dispensés de façon à revisiter les savoirs mathématiques de base, à les réorganiser de façon à les rendre efficaces au service du « professionnel ».

Plusieurs modalités semblent possibles pour cette formation préparatoire :

L'une d'elles est le développement des licences pluridisciplinaires avec une orientation premier degré. Ces licences, régies par un arrêté du 7 juin 1994, peuvent être à dominante scientifique ou littéraire et offrir à côté de cette dominante, des modules de complément qui renforcent la polyvalence des futurs professeurs des écoles. Ainsi une licence pluridisciplinaire scientifique peut comprendre, à côté de modules de sciences dont certains

³¹ contrairement aux concours du second degré

peuvent être optionnels (mathématiques, physique, chimie, biologie, géologie, informatique, etc.) des modules de français, langues vivantes, histoire, etc. et un module de pré-professionnalisation qui comporte des stages en école maternelle ou élémentaire. Les programmes des modules doivent être conçus en relation étroite avec les contenus des programmes de l'école primaire, afin de fournir le recul nécessaire aux futurs professeurs sur ces sujets. Ainsi, un programme de mathématiques adapté peut-il être centré sur les nombres, la géométrie et les mesures (aires, volumes). Ce type de formation semble constituer une excellente préparation pour le concours de professeur des écoles³². Bien entendu, ces licences seraient aussi adaptées à une formation de professeurs des écoles « à dominante » et nous semblent très intéressantes car elles peuvent avoir d'autres débouchés : dans l'environnement de l'école (aides éducateurs et aides aux devoirs dans les municipalités, etc.), mais aussi en dehors (concours administratifs, métiers de la communication et des services...).

Une autre possibilité serait l'offre d'une réflexion optionnelle sur l'enseignement dans les licences existantes, sous forme notamment de modules de pré-professionnalisation, ou de modules visant à accroître la polyvalence. Cela permettrait d'avoir des formations qui conviendraient aux futurs professeurs des écoles et qui laisseraient l'éventail des possibilités largement ouvert.

4. Les années de formation

Après la licence ou une formation équivalente, les étudiants entrent à l'IUFM. La question des modalités d'accès à l'IUFM et celle de la place du concours (correspondant à l'actuel CERPE³³) sont complexes et elles ont fait l'objet de nombreux débats dans les années récentes.

La proposition de la commission à cet égard prend en compte plusieurs facteurs : l'importance d'une formation en deux années pour les futurs professeurs des écoles, la nécessité d'un aspect professionnel significatif dans le concours, le souci de ne pas faire perdre deux ans d'études aux étudiants en cas d'échec. Elle peut se formuler ainsi :

- 1) Les étudiants passent à la fin de leur année de licence (année n) un « petit concours », sur le mode des tests utilisés dans de nombreux IUFM, destiné à vérifier un minimum de connaissances (français, mathématiques, culture générale). Cela présente l'avantage de rendre plus lisibles et uniformes les procédures d'entrée à l'IUFM actuellement très disparates et de faire que tous les futurs professeurs des écoles aient deux années effectives de formation.
- 2) Le succès à ce « petit concours » joue le rôle d'admissibilité au CERPE. Seuls les étudiants admissibles suivent à l'IUFM, l'année n+1, la préparation au concours. Le concours n'est pas explicitement professionnel, mais allie, et c'est un point fondamental comme on l'a vu, le disciplinaire et le didactique. Il comprend des épreuves obligatoires (au moins français et mathématiques et entretien professionnel) et des épreuves à choix.
- 3) Après le succès au concours, les étudiants deviennent professeurs stagiaires et entrent en deuxième année d'IUFM (année n+2). Cette année mène à la titularisation, laquelle n'est pas une formalité (mais intervient actuellement pour plus de 95% des formés), la

³² Par exemple, en région parisienne, le pourcentage de réussite des étudiants de licence pluridisciplinaire scientifique est de l'ordre de 90%.

³³ Concours Externe de Recrutement de Professeurs des Ecoles

validation prenant surtout en compte l'aspect professionnel, au vu notamment des stages en responsabilité.

Une autre question fondamentale dans la formation est celle de la polyvalence. Si anciennement la monovalence était caractéristique de l'enseignement classique du second degré (professeurs de collège et de lycée) alors que la polyvalence symbolisait le premier degré (instituteurs), cette tension entre deux pôles s'adoucit : TPE, itinéraires de découverte et autres projets croisés tempèrent la première ; intervenants dits « extérieurs » en EPS, arts plastiques, musique, voire fonctionnement en mi-temps, limitent la seconde.

La polyvalence peut-elle rester totale dans le premier degré ?

Dans les faits, elle l'est rarement de nos jours (sauf à l'école maternelle) : même celle des « superviseurs » (les inspecteurs de circonscription) qui contrôlent la qualité locale et organisent la dynamique de formation, ne l'est pas. Ces inspecteurs sont secondés par des conseillers pédagogiques qui, eux, peuvent être spécialisés en langue ou art (musical ou plastique) ou éducation physique.

La polyvalence peut-elle devenir explicitement partielle, avec par exemple le français et les mathématiques obligatoires et une dominante dans les sciences ou l'éducation artistique ou l'éducation physique ou une langue étrangère ? Mais alors comment faire fonctionner les classes uniques (une seule classe dans une école), les écoles où les disciplines n'ont pas toutes un représentant ?

Se pose aussi la question de la légitimité des disciplines décidées comme obligatoires : si celle du français n'est pas contestée, il nous semble que, pour que les mathématiques gardent la leur, il est nécessaire qu'elles se positionnent d'abord comme un type particulier de questionnement et de regard critique sur le monde³⁴ (et après seulement comme un ensemble de techniques) et qu'elles apparaissent, elles aussi, comme un langage nécessaire. En tout état de cause, il nous semble souhaitable de conserver une polyvalence pour les professeurs des écoles avec **français et mathématiques dans le tronc commun**.

La première année de formation initiale devrait permettre d'appréhender la réalité d'une école et d'une classe, mais toujours en responsabilité « surveillée »³⁵ ; cette année devrait aussi permettre de faire un point sur les savoirs, d'approcher des thèmes mathématiques avec, de façon croisée, d'une part des apports disciplinaires et didactiques, d'autre part des mises en œuvre dans une classe au moins. Les analyses de séquences sur ces thèmes par une équipe d'étudiants, le tout étant supervisé par une équipe constituée au minimum d'un formateur de mathématiques et d'un expert du terrain de l'école primaire, permettraient de « convoquer » plusieurs regards : didactique, pédagogique, psychologique, sociologique, éthique. Les moyens audiovisuels permettent d'économiser la présence des formateurs pendant la séance et de conserver une mémoire des pratiques. Pourraient alors se greffer des analyses régulières des savoirs en jeu et des compléments de formation motivés.

La seconde année pourrait comporter des périodes de stage en responsabilité et des approfondissements au choix : soit dans une discipline mal maîtrisée, soit dans une discipline bien acquise. Les stages en responsabilité pourraient se faire d'abord à deux dans une même

³⁴ les Anglo-Saxons parlent de « mathematical literacy »

³⁵ Sous le contrôle d'une équipe de formateurs

classe³⁶, puis progressivement seul. Ils donneraient lieu à des projets déclarés dans tel ou tel domaine : nécessairement le français, les mathématiques et un autre domaine.

Avec l'augmentation des besoins en enseignants des prochaines années, on pourrait aussi imaginer des formes sophistiquées de compagnonnage : une formation plus ancrée sur la pratique avec, par exemple, un groupe de quatre ou cinq stagiaires intégrés chacun dans une classe de même niveau et qui se rendent mutuellement « visite », préparent et exploitent ces visites avec des formateurs, conçoivent ensemble la suite de la séquence vue et qui bénéficient aussi de regroupements pour travailler « hors classe » sur des problèmes identifiés, de façon plus distanciée.

En tout cas, il reste fondamental que soit offerte la possibilité de confronter plusieurs pratiques, d'analyser leurs points positifs et négatifs et de garder des temps de réflexion hors classe sur l'articulation entre contenus, méthodes et contraintes de classe.

5. Les conditions de la formation initiale

Les ressources documentaires de la formation des professeurs du premier degré se sont considérablement enrichies depuis 1980 d'ouvrages de vulgarisation des travaux sur l'enseignement des mathématiques (travaux de l'équipe ERMEL de l'INRP, vulgarisation de recherches en didactique, travaux de la COPIRELEM). L'existence de cette littérature nous semble une condition nécessaire (mais non suffisante) à la formation initiale (et continuée) des enseignants.

Un effort d'écriture nous semble en revanche indispensable pour faciliter, pour des adultes non-spécialistes, une « fréquentation » des mathématiques, une compréhension de leur utilité et de leur puissance.

Une formation de qualité pour les enseignants nécessite des formateurs rompus aux mathématiques **ET** à la didactique des mathématiques, et ce, plus encore pour les professeurs des écoles, polyvalents : on s'accorde sur le fait qu'enseigner des mathématiques ne peut se régler uniquement par la mise en œuvre de connaissances de pédagogie générale ; de même enseigner des mathématiques ne peut pas non plus se régler par des connaissances uniquement mathématiques.

La tendance actuelle semble être de vouloir constituer un pool de formateurs regroupant des universitaires, des professeurs du second degré à mi-temps et des professeurs des écoles qui se formeraient « sur le tas » à la fonction de formateurs d'enseignants. Si l'idée d'équipes de formateurs dont les objets d'étude sont différents est positive, (elle existait d'ailleurs dans les écoles normales avant 1991 sous la forme de recherches innovations conjointes entre formateurs et maîtres du terrain), la position à mi-temps nous semble complexe, en particulier pour les professeurs du second degré devant former des enseignants du premier degré : en effet les préoccupations de collège et de lycée sont très différentes de celles de l'école ; formateurs d'enseignants et professeurs d'élèves sont deux métiers différents quant aux savoirs en jeu, aux visées poursuivies, aux stratégies mises en œuvre, aux degrés d'autonomie des formés, à l'utilisation des outils ; la culture primaire est polyvalente, celle du collège beaucoup moins.

Il nous apparaît capital, pour gagner en professionnalisme, de **reconnaître la spécificité du métier de formateur en mathématiques de professeur des écoles, d'accepter pour ces formateurs un droit et un devoir de formation**, par exemple la participation à des séminaires de formation, à des travaux de recherche liés à l'enseignement ou d'innovation.

³⁶ Cette pratique a fonctionné en 2002 pour le premier stage en responsabilité à l'IUFM de Haute-Normandie ; il présente un premier intérêt : celui de faire prendre conscience aux stagiaires, in vivo, de la variété des réactions possibles face à toute situation professionnelle.

D'autre part, on ne peut ignorer l'existence de résultats de recherche et d'une culture certaine de formation, au moins en mathématiques. Laisser le nouveau formateur errer d'expérience en expérience nous semble contradictoire avec la volonté affirmée de tous les textes ministériels de « professionnaliser » la formation.

Nous reprenons l'idée, pour un futur formateur qu'il soit du premier (ou du second degré), de la nécessité de posséder un DESS (ou un module de formation pour un universitaire) lié à la réflexion sur l'enseignement.

V. La formation continue des professeurs des écoles

1. Une formation nécessaire

Les professeurs des écoles ne sont pas des spécialistes des mathématiques : ils éprouvent des difficultés particulières, par exemple à prendre du recul par rapport aux propositions des manuels, qui pour eux représentent souvent la référence absolue, à analyser des réactions d'élèves sur tel ou tel exercice ou activité, à évaluer la difficulté a priori de telle ou telle notion, à relativiser l'efficacité de telle ou telle présentation de la notion. Quelquefois même, ils manifestent des déficits criants en connaissances mathématiques élémentaires.

Leur polyvalence les amène aussi à privilégier une entrée de pédagogie générale sans nécessairement l'adapter aux spécificités disciplinaires. Or les recherches en didactique ont montré toute la pertinence d'une étude spécifique de l'enseignement des mathématiques dans le champ plus large de l'enseignement en général. Ces recherches se sont particulièrement enrichies ces dernières années. S'il existe actuellement des outils (par exemple des manuels scolaires éclairés par des livres du maître détaillés) allant dans cette direction, encore faut-il que la conception du professeur sur les mathématiques (et pas seulement un ensemble de techniques) et leur enseignement (il ne suffit pas de montrer pour que les élèves comprennent et retiennent) lui permette d'entrer dans les propositions.

Les professeurs des écoles doivent aussi s'adapter et adapter leur enseignement à la grande diversité des élèves qu'ils rencontrent : il existe maintenant des pistes (par exemple des recherches sur les mathématiques en REP-ZEP) sur les façons de transposer à certains élèves des situations d'apprentissage effectif.

2. Actuellement

Le professeur des écoles a un droit statutaire à 36 semaines de formation sur sa carrière, à choisir dans un catalogue académique d'offres de formation. Actuellement, si l'IUFM est responsable de la mise en œuvre pédagogique et scientifique de ces stages, c'est le Recteur qui détient les financements. Le catalogue est en général élaboré par des commissions mixtes (IEN, CPAIEN, IPR, formateurs IUFM...) qui trient et hiérarchisent, parmi les diverses propositions, celles qui correspondent aux priorités ministérielles et au cahier des charges rectoral. Ce catalogue propose des stages de circonscription, dont le remplacement est assuré par des brigades et des stages en liaison avec la formation en IUFM. En début d'année, le professeur est amené à faire plusieurs vœux qui seront plus ou moins exaucés en fonction de divers critères et en particulier, pour les stages associés à l'IUFM, du croisement nécessaire avec le fait de libérer des classes pour les stages en responsabilité des professeurs des écoles stagiaires.

Ce système de gestion pesante offre cependant des avantages, notamment celui de libérer pour les professeurs des écoles stagiaires nouveaux des classes constituées pour des remplacements à durée limitée. Pendant ces stages en responsabilité, les jeunes stagiaires (en deuxième année d'IUFM) reçoivent la visite de conseillers du terrain et de formateurs en

IUFM qui régulent les premiers pas dans le métier, essaient de détecter les incompatibilités, rédigent des rapports dont la somme permettra ou non la reconnaissance de la capacité à enseigner (la validation des stages est l'un des trois volets de la validation totale qui débouche sur la titularisation comme professeur d'école).

Les professeurs des écoles bénéficient aussi de demi-journées de formation obligatoire, dites animations pédagogiques, à la discrétion de l'Inspection de Circonscription, sur la 27^{ème} heure libérée³⁷.

On constate cependant que le public de la formation continue « sur catalogue » est souvent le même. Certains maîtres ne viennent jamais en formation. De plus l'impact des stages, y compris ceux qui visent à modifier les pratiques, reste relativement modeste, comme l'a montré D.Vergnes³⁸, dans la mesure où les modifications proposées mettent souvent en cause la conception même des mathématiques et de l'enseignement qu'a l'enseignant et qu'il ne peut facilement les transformer de façon isolée : là se pose encore une autre question, mais fortement liée à celle de la formation, celle de l'accompagnement et du suivi (compte tenu, de plus, de la polyvalence des enseignants du premier degré).

3. Des propositions

Il nous semble nécessaire de distinguer deux temps possibles.

a. Des stages de début de titularisation

Les professeurs des écoles sortants de l'IUFM sont porteurs d'une nouvelle culture d'enseignement. La complexité de gestion globale des apprentissages et de la classe, accrue par les exigences du travail en équipes (cycle, école), par les relations à gérer et entretenir avec le milieu (parents, élus, travailleurs sociaux, intervenants, etc.) rend leurs pas de débutants difficiles. L'inertie qui les entoure souvent dans telle ou telle école amène même les convaincus « d'innovations » à se replier progressivement sur des pratiques plus sécurisantes, mais quelquefois moins adaptées aux potentialités et à la diversité des élèves. Des stages très précoces peuvent ainsi permettre de traiter des difficultés au moment où elles apparaissent et de revenir sur des contresens, de s'emparer, pour des besoins immédiats, de nouveaux outils dont ils n'avaient pas vu l'utilité loin de la classe.

Ces stages se sont mis en place en 2001 à titre expérimental dans certaines académies, par exemple à Rouen, mais à moyens de remplacement constants et donc au détriment des possibilités de stages offerts aux maîtres plus anciens. En 2002, cet « accompagnement de l'entrée dans le métier » est devenu une priorité nationale.

b. Des stages en cours de carrière :

Il serait souhaitable que le temps de formation volontaire soit reconnu en termes d'évolution de carrière, moyennant des modalités à définir. C'est pourquoi nous proposons deux modalités de formation continue :

- (a) une formation continue **obligatoire** : pour accompagner des évolutions majeures du système éducatif, comme pour tout organisme qui veut accroître ses compétences, par exemple lors de changements de programmes ;
- (b) une formation continue **au choix** : avec éventuellement, **valorisation de carrière** ou **visée certificative**.

³⁷ Actuellement les enseignants du premier degré ont un service de 27 heures dont 26 en présence d'élèves. Les 27èmes heures sont souvent regroupées en « samedis » libérés, occupés par des animations pédagogiques ou des conseils d'école.

³⁸ Vergnes 2001

Des exemples pour (a) : lors de changements de programmes ou de structures

La prise en compte d'un texte officiel nécessite un temps d'explicitation et d'appropriation, ne serait ce que pour analyser sur quoi il est fondé, en quoi sa propre pratique antérieure relève ou non de ce nouveau projet. Un dispositif de démultiplication devrait permettre, par vagues, de toucher le maximum d'enseignants. Ce dispositif devrait aussi permettre de relever les diverses interprétations de ces textes et les régulations nécessaires. Il devrait aider les professeurs à utiliser de façon appropriée, en accord avec les consignes officielles les outils disponibles, anciens ou nouveaux. Ceci devrait permettre aussi de nourrir une dynamique permanente de production de textes d'accompagnement.

Des exemples pour (b)

Actuellement deux examens au moins permettent une spécialisation du professeur des écoles : le CAFIPEMF (Certificat d'Aptitude aux Fonctions de Professeur des Ecoles, Maître Formateur) et le CAPSAIS (Certificat d'Aptitude aux Actions Pédagogiques Spécialisées de l'Adaptation et de l'Intégration Scolaire).

Le premier nécessite une expérience minimale de 5 années et débouche sur la possibilité de postuler sur des postes de formateur soit sur le terrain (dépendant des circonscriptions), soit en IUFM. Une formation peut être ou non organisée au sein des IUFM, sous forme de stages de formation continue³⁹.

Le second débouche sur la possibilité de postuler sur des postes de maîtres spécialisés enseignant en école, au collège, en établissement médical ou autre (prison...). Il donne lieu en IUFM à une formation spécifique de préparation à l'examen, soit sur deux ans en alternance (un trimestre à l'IUFM, un autre sur le terrain, deux stagiaires sur un poste pendant le temps de formation), soit sur un an en exercice pour les spécialités qui rendent cette disposition possible (un trimestre sur le terrain, un trimestre à l'IUFM sans remplacement), soit un an plein avec une décharge complète de service.

Pour l'avenir : tout passage reconnu par l'institution dans la fonction de formateur devrait être l'occasion d'une remise à niveau disciplinaire et didactique : actualisation des connaissances dans les deux domaines ; il devrait déboucher sur une certification.

Des mastères (ex-DESS) de formateurs, spécialité premier degré, se mettent en place dans des universités (par exemple Clermont-Ferrand 2001).

c. Modalités possibles de la formation

Compte tenu de ce qui existe, plusieurs modalités nous semblent possibles pour la formation continue.

La première possibilité est, bien sûr, sur un temps de travail libéré, avec un remplacement soit par un professeur des écoles stagiaire, soit par un titulaire remplaçant. Ce temps libéré pourrait être occupé, soit intégralement, soit partiellement par de la formation organisée, le reste du temps étant dévolu à une formation personnelle autonome ou à des tâches d'accompagnement pédagogique ou de production de documents. Il pourrait aussi être partagé en une partie occupée par la formation organisée et l'autre libérée, mais à remplir par un temps équivalent en modules de formation au choix dans un catalogue de propositions faites sur temps libre : par exemple stages IREM du mercredi après midi, etc. Ceci permettrait d'étaler le temps réel de formation, en concentrant le temps de remplacement et d'ouvrir la responsabilité de la formation à d'autres organismes que l'IUFM ou l'inspection ou de

³⁹ Dans le département de Seine-Maritime, de tels stages devaient se faire de 1995 à 2001 sur temps libre et sans remboursement de frais de stage.

permettre des formations par mutualisation de ressources, séminaire d'innovation, lecture de résultats de recherche, accès à des formations en ligne, etc.

La seconde possibilité est une formation sur temps libre, moyennant une reconnaissance de l'institution (à déterminer) suite à une évaluation de la participation aux actions de formation (et au minimum la prise en charge des déplacements des participants).

Annexe : les inquiétudes sur le fonctionnement actuel du dispositif du concours

La commission a sollicité l'avis de la COPIRELEM⁴⁰ sur les inquiétudes liées au fonctionnement actuel du dispositif du concours.

La COPIRELEM qui étudie et conçoit les corrigés des diverses épreuves de mathématiques du concours externe⁴¹ a relevé depuis quelques années une augmentation de sujets mal adaptés au recrutement de futurs professeurs des écoles. Un exemple (celui du sujet de l'académie de Rouen session 2002) est présenté sur le site de l'IREM de Paris 7. <http://web.ccr.jussieu.fr/iremParis7/welcome.html>

Elle s'inquiète également du fonctionnement des jurys de correction dans plusieurs académies. En effet la correction des copies du CERPE relève de la double correction. Les jurys sont donc constitués de deux personnes qui, théoriquement, devraient, chacune à leur tour, évaluer la copie. Chacune devrait donc posséder une connaissance non naïve des mathématiques du primaire et de leur enseignement. Les jurys de correction rassemblaient au début des IUFM des personnes issues de diverses origines, les mêmes que pour la conception des sujets. Cette condition de la double compétence n'a pas toujours été respectée à la lettre, mais en général, un équilibre était établi (et reconnu) dans le jury, permettant de structurer (et d'évaluer) des compétences mathématiques et des compétences sur l'enseignement des mathématiques du premier degré.

Il semblerait que cet équilibre soit depuis deux ans souvent rompu, notamment suite au refus de certains Recteurs de faire figurer des formateurs d'IUFM parmi les correcteurs.

De plus, la faiblesse nouvelle de certains sujets et des défauts de conception engendrent des difficultés pour élaborer le barème et attribuer des notes aux candidats⁴². Les temps d'harmonisation s'allongent : pour la session 2001, plusieurs jurys académiques ont dû consacrer une journée entière pour décider des diverses réponses recevables aux questions et acceptées et du barème associé. Pour la session 2002, devant le tollé de l'année précédente face à la complexité de la tâche, le temps d'harmonisation a été réduit et l'harmonisation est devenue beaucoup plus prescriptive : c'est certes un moyen possible de mettre tout le monde d'accord, mais aux dépens des candidats atypiques ou astucieux.

Cet état des lieux nous amène aux **propositions suivantes, concernant les textes sur le concours (programme, commissions de sujets et jurys).**

1. Un programme national

La rédaction d'un texte de programme mathématique national nécessite de repérer quelles connaissances de mathématiques et d'épistémologie, quelles connaissances sur l'enseignement des mathématiques (notamment didactiques) sont nécessaires pour enseigner des mathématiques à l'école primaire. Il doit donc être rédigé entre autres par une commission de **spécialistes des mathématiques et de l'enseignement des mathématiques à l'école primaire** impliqués dans la formation des professeurs des écoles. Ce texte fournirait un cadre aux concepteurs de sujets. Il devrait être assorti d'une fourchette horaire de formation consacrée aux mathématiques, en rapport avec le poids de l'épreuve dans le concours.

⁴⁰ Commission permanente des IREM pour l'enseignement élémentaire.

⁴¹ Annales (annuelles) de mathématiques du CERPE, disponibles à l'IREM de Paris 7

⁴² Ainsi pour la session 2001 dans les académies de Rouen, Paris-Créteil-Versailles

2. La conception des épreuves

La conception d'un sujet de concours nécessite d'une part qu'il teste des connaissances en rapport avec le projet de formation auquel il donne accès, d'autre part qu'il soit suffisamment discriminant pour permettre de sélectionner les candidats potentiellement plus aptes à entrer dans ce projet. La composition du sujet ne peut se limiter à juxtaposer des propositions disparates ou trop usuelles. Les concepteurs devraient donc être des spécialistes de l'enseignement des mathématiques à l'école primaire, connaissant le texte de programme mathématique national, les recommandations du Ministère sur le concours et ayant accès aux épreuves du même type déjà données⁴³. Ils devront être particulièrement vigilants à l'évaluation des différents types de réponses possibles et à leur hiérarchisation.

3. La correction des épreuves

La composition des jurys devrait, conformément aux directives de l'harmonisation préalable, permettre une évaluation raisonnée des compétences du candidat, à la fois sur les mathématiques et sur leur enseignement. Pour garantir une correction équitable des copies des candidats, les jurys devront respecter l'équilibre entre la discipline et une réflexion sur son enseignement. De plus, un temps de réflexion commune et d'échange sur l'ensemble du sujet doit être prévu. Ces échanges ne devraient pas se réduire à une simple communication de critères de correction et du barème, mais conduire à une harmonisation fine de la manière d'examiner les copies et de les évaluer.

Un texte de cadrage précisant le rôle, les droits et les devoirs de chaque correcteur devrait permettre d'éviter des approximations aux conséquences souvent lourdes.

Un rapport précis sur le sujet du concours et sur son adaptation au public qu'on cherche à recruter pourrait permettre d'institutionnaliser une culture de concours. Les rapports académiques ou inter académiques, commandés à des experts de la formation sur l'enseignement de la discipline, pourraient être regroupés pour les disciplines « de poids fort » dans le concours en une brochure nationale, communiquée aux concepteurs de l'année suivante.

⁴³ La COPIRELEM a édité des annales corrigées de tous les sujets CERPE mathématiques depuis 1992, outils de travail des étudiants.

Deuxième partie :

La formation des professeurs enseignant les mathématiques en lycée professionnel

Par leur statut⁴⁴, les professeurs de lycée professionnel⁴⁵ (PLP) sont **bivalents**, ce qui constitue une "exception" parmi les enseignants du second degré recrutés aujourd'hui⁴⁶ : c'est le même professeur qui enseigne d'une part les mathématiques et, d'autre part, la physique et la chimie⁴⁷.

Cette polyvalence est notamment destinée à coordonner plus étroitement la formation des élèves dans ces disciplines et à développer leur autonomie dans la pratique de différents aspects de la démarche scientifique (expérimentation, modélisation,...) lors de l'étude de situations issues du contexte professionnel propre à chaque spécialité et accessibles au niveau de formation considéré (CAP, BEP, baccalauréat professionnel).

Cette polyvalence crée un contexte particulier pour l'organisation de la formation initiale, du concours de recrutement et de la formation continue. Ceci justifie que la formation des PLP fasse l'objet de certains développements spécifiques dans ce rapport. Dans nombre de questions, il y a cependant une grande analogie avec les problèmes de la formation des professeurs de lycée et collège et nous renvoyons dans ce cas aux parties du rapport les concernant.

Ce qui suit concerne essentiellement les mathématiques et leurs interactions avec les sciences physiques, sans prendre réellement en compte la formation des PLP en physique et en chimie. Il serait intéressant qu'une étude analogue soit menée sur les problèmes de formation des mêmes professeurs en physique et en chimie, afin de croiser les points de vue : ceci permettrait d'effectuer des propositions dans certains domaines partagés où nous ne pouvons ici que faire part de nos interrogations.

I - La formation universitaire des PLP

Rappelons en préalable qu'un professeur de lycée professionnel ayant, par son statut, vocation à enseigner plusieurs disciplines, la formation universitaire des PLP doit prendre pleinement en compte cette dimension. Or l'existence même d'une licence pluridisciplinaire portant sur les mathématiques, la physique et la chimie adaptée à la formation des PLP est loin d'être une réalité dans toutes les académies.

⁴⁴ Décret du 6 novembre 1992 paru au BO n° 44 du 19 novembre 1992.

⁴⁵ Rappelons que les lycées professionnels accueillent environ 700000 lycéens dans plus de 1700 établissements. Ces élèves préparent en deux ans, après la classe de troisième, un CAP ou un BEP, puis, éventuellement un baccalauréat professionnel, certains poursuivant ensuite leurs études en BTS.

⁴⁶ Les "professeurs d'enseignement général de collège" sont eux aussi bivalents, mais le corps des PEGC ne fait plus l'objet de recrutement depuis de nombreuses années, tandis que (je propose simplement « et ») plusieurs dispositions ont permis à de nombreux PEGC d'accéder au corps des professeurs certifiés.

⁴⁷ Il est à noter que si le secteur des services ne comporte ni enseignement ni épreuve d'examen de physique et de chimie, ce ne sera plus le cas pour les CAP à partir de la session 2005, en liaison notamment avec les problèmes d'hygiène et de sécurité propres à chaque domaine professionnel.

A. Les objectifs de la formation

Les objectifs de *la formation universitaire des maîtres du second degré en mathématiques*, développés dans ce rapport⁴⁸ et rappelés brièvement ici sont tout à fait pertinents pour les PLP, de même que la plupart des exemples les illustrant :

*La formation d'un professeur de mathématiques de l'enseignement du second degré doit lui permettre de **s'adapter** aux évolutions de sa discipline et aux changements de l'état d'esprit ou du contenu des programmes qui en résultent. Une nécessité absolue pour cela est de dominer les mathématiques présentes dans ces programmes, donc d'avoir une solide base dans la discipline, appuyée sur une réelle pratique. Cette nécessité de dominer les contenus est aussi indispensable pour acquérir la culture didactique qui lui permettra de **transposer** ses connaissances en fonction du niveau de la classe où il enseigne. Enfin, un autre impératif est de **comprendre les liens** qui unissent les mathématiques aux autres disciplines.*

Ce dernier point mérite une attention toute particulière en ce qui concerne la physique et la chimie, et s'applique aussi aux disciplines propres aux divers secteurs professionnels.

B. L'état des lieux : le concours du CAPLP

1. Quelques chiffres

Le nombre de postes au CAPLP (concours externe) lors de la dernière session, en 2002, est le même (460) que celui de la session de 1996 ; ce nombre a d'abord baissé pour atteindre un minimum en 2000 avec 325 postes, puis est remonté, et 496 postes sont proposés en 2003.

En revanche le nombre de candidats ayant achevé les épreuves écrites est non seulement en constante diminution depuis 1997, mais il a été divisé par deux entre 1997 et 2002, passant de 4 156 à 2 092, ce qui constitue une évolution très inquiétante.

Lors de toutes ces dernières sessions, le jury a pourvu tous les postes de la liste principale et a pu constituer une liste supplémentaire, afin de tenter de compenser les démissions occasionnées par des réussites à un autre concours, notamment au CAPES de physique-chimie et dans une moindre mesure au CAPES de mathématiques. La réalisation de cet objectif, qui pose déjà le problème de la réelle bivalence de tous les candidats admis, risque d'être rapidement compromise si l'évolution du nombre de candidats observée ces dernières années ne s'inverse pas.

Comme pour l'ensemble des concours de recrutement des professeurs de ces disciplines, on ne peut que regretter l'absence, en temps utile, d'une politique incitative d'orientation, dans l'enseignement secondaire et supérieur, vers des voies qui offrent de réels débouchés professionnels correspondant à un besoin national lié d'une part à des départs massifs et prévisibles à la retraite et, d'autre part, au fait que le vivier potentiel "naturel" des enseignants scientifiques est diminué par le développement et l'attractivité des métiers de l'informatique.

2. Les épreuves actuelles du CAPLP

Le concours est constitué des épreuves suivantes⁴⁹ :

⁴⁸ Voir ci-dessous pages 37 à 62.

⁴⁹ Note du 21 avril 1998 parue au BO n° 18 du 30 avril 1998 sur la nature des épreuves du concours externe.

Note du 3 octobre 2001 parue au BO n° 37 du 11 octobre 2001 sur les programmes permanents du concours externe, section "Mathématiques-sciences physiques".

- Epreuves d'admissibilité : deux compositions écrites, chacune d'une durée de quatre heures et de coefficient 2, l'une en mathématiques, l'autre en physique-chimie.
- Epreuves d'admission : deux épreuves orales, chacune d'une durée globale de trois heures et de coefficient 3, l'une en mathématiques, l'autre en physique-chimie.

Chaque épreuve orale comporte deux heures de préparation suivies d'une demi-heure au maximum d'exposé présenté par le candidat et d'une demi-heure au maximum d'entretien avec le jury.

L'une des épreuves est "l'épreuve d'exposé", l'autre "l'épreuve sur dossier". Un tirage au sort détermine pour chaque candidat l'un des deux schémas suivants :

- épreuve d'exposé en mathématiques et épreuve sur dossier en physique-chimie,
- épreuve d'exposé en physique-chimie et épreuve sur dossier en mathématiques.

Les épreuves écrites sont essentiellement du niveau du DEUG, faisant appel à de l'analyse, de l'algèbre linéaire, des probabilités ; à l'oral, les thèmes proposés ressemblent un peu à ceux du CAPES.

3. Commentaire sur les épreuves actuelles

Le commentaire relatif aux *épreuves du CAPES*⁵⁰ figurant dans ce rapport reste valable pour les épreuves de mathématiques du CAPLP en tenant compte de la bivalence de ce dernier concours qui se manifeste non seulement dans la nature des épreuves, mais aussi dans les exigences aux épreuves orales : au moins une expérience réalisée devant le jury en physique-chimie et une démonstration clairement organisée et explicitée en mathématiques.

C) Des propositions pour la formation des PLP

1. Une licence adaptée aux besoins d'un professeur bivalent (mathématiques, physique-chimie) en lycée professionnel dans chaque académie

Une telle licence n'existe pas aujourd'hui dans toutes les académies, pour diverses raisons qui peuvent être liées aux effectifs d'étudiants et aux moyens.

Or, comme nous l'avons souligné en précisant les objectifs de la formation des PLP, il est indispensable qu'un professeur domine les contenus scientifiques qu'il est appelé à enseigner. Une formation universitaire solide dans **chaque** discipline est donc nécessaire, ce que ne peut assurer ni une licence de mathématiques, ni une licence de physique-chimie. En effet, un cursus débouchant sur un de ces deux diplômes ne couvre pas l'ensemble des programmes de mathématiques, physique et chimie à enseigner en lycée professionnel ; un tel cursus ne peut pas non plus apporter au professeur les bases suffisantes pour imprégner son enseignement des interactions entre ces disciplines ou pour s'adapter aux évolutions des contenus et aux changements d'état d'esprit des programmes de chaque discipline.

Note du 3 mai 2002 parue au BO spécial n° 13 du 30 mai 2002 sur les programmes annuels du concours externe, session 2003, section "Mathématiques-sciences physiques".

⁵⁰ Voir ci-dessous pages 46 à 48.

La présence d'une licence pluridisciplinaire avec une option adaptée à la formation des PLP⁵¹ constitue donc une nécessité pour assurer une formation universitaire adaptée aux besoins d'un PLP de mathématiques, physique et chimie.

Cette licence devrait comporter une part d'informatique, éventuellement facultative suivant le DEUG obtenu, centrée sur l'algorithmique et la programmation.

2. Des stages de sensibilisation au cours des études

Lorsqu'une licence pluridisciplinaire comportant mathématiques, physique et chimie existe et propose des options destinées à des étudiants souhaitant préparer plusieurs types de concours : CAPLP, concours (externe) de recrutement des professeurs des écoles (CERPE), concours administratifs, une minorité des étudiants intéressés par l'enseignement choisit le CAPLP. Cela peut s'expliquer en partie en observant que le nombre de postes proposés au CERPE dans les académies correspondant aux effectifs d'étudiants les plus importants peut être sensiblement plus élevé que le nombre de postes proposés au niveau national au CAPLP, que l'affectation des PE est locale alors que celle des PLP est nationale, et que les grilles indiciaires des deux corps sont semblables⁵². A ces raisons s'ajoute le fait que, à de rares exceptions près, les étudiants scientifiques ne connaissent pas les lycées professionnels : ils n'ont pas eu l'occasion de les fréquenter (à la différence des écoles, des collèges et de la voie générale des lycées) et ignorent très souvent la nature, l'organisation et les débouchés des formations qui y sont dispensées. Cette méconnaissance peut engendrer une certaine appréhension pour s'engager dans une voie où, auprès du grand public, les difficultés sont plus souvent mises en évidence que les réussites.

Dans un tel contexte, il est indispensable de faire découvrir aux étudiants scientifiques, dès le DEUG, les conditions spécifiques d'enseignement dans les lycées professionnels afin de leur permettre de choisir leur futur métier avec un maximum d'informations : sans masquer la réalité contrastée des situations, il est important de faire apparaître plusieurs éléments :

- En enseignant plusieurs disciplines, le professeur de lycée professionnel développe chez ses élèves de nombreux aspects de la démarche scientifique comprenant notamment l'expérimentation et la modélisation au niveau de formation considéré ; ceci peut permettre, dans un contexte professionnel, une approche nouvelle de concepts mathématiques susceptible d'aider les élèves dans leurs apprentissages.
- Le travail en équipe, notamment avec les professeurs des disciplines professionnelles, favorise l'unité de la formation ; c'est le cas par exemple à l'occasion des projets pluridisciplinaires à caractère professionnel (PPCP) qui sont évalués aux examens.
- Les périodes de formation en entreprises, obligatoires pour tous les élèves de lycée professionnel avec visites de professeurs sur leur lieu de stage, peuvent aider les élèves à percevoir des liens entre d'une part les programmes scolaires (contenus scientifiques et méthodes à mettre en œuvre) et, d'autre part, les besoins et la réalité de la vie professionnelle ; la préparation et le suivi de ces périodes de formation offrent aux professeurs l'occasion de "sortir" de leur établissement et d'observer dans les entreprises des évolutions dans divers secteurs.

⁵¹ En effet, dans certaines licences pluridisciplinaires, plutôt conçues pour la formation des professeurs des écoles, le programme de mathématiques est centré sur l'arithmétique et la géométrie, alors que les PLP ont plutôt besoin d'analyse, d'algèbre linéaire et de probabilités.

⁵² C'est aussi la grille indiciaire des professeurs certifiés.

Plus généralement, les équipes de PLP, dans le contexte propre à chaque établissement, contribuent à aider certains élèves motivés à réaliser leur projet professionnel et à permettre à d'autres élèves, en situation d'échec au collège ou en seconde générale, de renouer avec la réussite en obtenant d'abord un BEP, puis un baccalauréat professionnel ; ceci ne signifie évidemment pas l'absence de difficultés, parfois graves, ni de récurrences dans l'échec, même lorsque l'effectif des classes est particulièrement faible comme c'est le cas actuellement dans certaines spécialités industrielles.

Naturellement un tel stage de sensibilisation au métier de PLP, d'environ deux semaines, a besoin d'être accompagné d'une réflexion didactique pour le préparer et l'accompagner. Il est souhaitable que ce premier stage, en DEUG, soit suivi en licence et durant la préparation au CAPLP par de nouvelles périodes en lycée professionnel afin d'approfondir la réflexion sur l'enseignement scientifique dans les cycles préparatoires au CAP, au BEP et au baccalauréat professionnel.

3. Le niveau du recrutement

Il ne nous paraît pas possible aujourd'hui de dire si le niveau d'une licence pluridisciplinaire de mathématiques, physique et chimie est suffisant pour le recrutement des PLP : ce problème nécessite une concertation approfondie impliquant les sciences physiques pour pouvoir apprécier si une telle licence constitue une base appropriée pour suivre ultérieurement avec profit des stages de formation continue destinés à adapter l'enseignement en lycée professionnel aux évolutions scientifiques et technologiques. Aussi n'évoquerons-nous pas ici une maîtrise dont le contour serait à définir.

4. Préparation du CAPLP

Les étudiants préparant le CAPLP, section mathématiques-sciences physiques ont suivi des cursus variés pouvant comporter un échec au CAPES de mathématiques ou de physique-chimie.

Outre la nécessaire et fondamentale mise à niveau sur les contenus mathématiques exigibles au concours, notamment aux épreuves écrites, et le développement de la motivation à l'occasion de stages en lycée professionnel déjà évoqués, un objectif est essentiel :

Aider les étudiants à faire évoluer leur propre représentation des mathématiques et de l'activité mathématique : il s'agit, dans certains cas, de montrer que les mathématiques ne constituent pas seulement un outil pour d'autres sciences, qu'elles ont leurs propres finalités, que la recherche de problèmes permet de développer de nombreuses compétences et que l'activité mathématique peut être passionnante.

En résumé, l'année de préparation au concours de recrutement de PLP vise à compléter la formation scientifique et didactique des étudiants afin de les aider à exercer efficacement un métier choisi de façon positive.

5. Les contenus des concours

Compte tenu du rôle symétrique des mathématiques et des sciences physiques dans les épreuves écrites et orales (avec tirage au sort du schéma d'oral), une concertation approfondie impliquant les sciences physiques est indispensable avant de pouvoir émettre des propositions, y compris sur la place de l'informatique au sein des épreuves.

II - La formation professionnelle des stagiaires PLP2 en mathématiques

Le développement, contenu dans ce rapport, sur *la formation professionnelle des stagiaires PLC2 de mathématiques*⁵³ reste pertinent pour les stagiaires PLP2 et n'est pas repris ici où seuls des éléments liés aux spécificités de l'enseignement en lycée professionnel sont mentionnés.

Les stagiaires PLP2 ayant presque toujours leur(s) classe(s) en responsabilité dans le cycle préparant à un BEP ou à un CAP, leur problème essentiel, quel que soit leur cursus antérieur, est d'adapter leur enseignement aux besoins des élèves dans le cadre des programmes. En effet, si certains rappels et compléments disciplinaires peuvent être nécessaires, la difficulté majeure des stagiaires consiste à trouver des formes d'enseignement favorisant l'intérêt d'élèves qui peuvent se sentir en échec persistant en mathématiques, avec notamment de sérieuses lacunes en calcul numérique et algébrique. Il s'agit d'apporter une réponse alternative à la tentation de "simplifier" la demande du professeur auprès des élèves en la réduisant à une succession d'exercices ponctuels répétitifs, chacun associé à la seule utilisation d'une technique en dehors de tout contexte (calculs sur des fractions, factorisation ou développement de polynômes, ...) et considéré comme un préalable à toute résolution de problème.

C'est par une réflexion didactique sur les pratiques enseignantes des professeurs stagiaires que l'accent peut être mis sur la nécessité de donner du sens à l'activité des élèves, à l'organisation de celle-ci comme à chacune de ses étapes. Le cadre des lycées professionnels se prête tout particulièrement à ce type de travail dans les classes :

- Le domaine professionnel propre à chaque spécialité fournit des thèmes motivants susceptibles d'être adaptés à chaque diplôme ; ils peuvent être trouvés dans les programmes des disciplines professionnelles ou à l'occasion des périodes de formation en entreprise.⁵⁴
- La bidisciplinarité des PLP permet, dans le secteur industriel, de montrer aux élèves la nature, l'intérêt et la complémentarité de diverses composantes de la démarche scientifique.
- Les lycées professionnels ont su acquérir un équipement informatique permettant l'utilisation de logiciels variés susceptibles de faciliter à la fois la perception de la nature de certains problèmes et l'obtention de divers résultats qu'il reste à interpréter, ce qui peut déboucher sur de nouveaux problèmes.

Chacun de ces points doit être pleinement pris en compte dans la formation initiale des PLP et donner lieu à une formation destinée à aider les stagiaires à transformer ces potentialités en atouts favorisant effectivement la réussite des élèves.

Cette réflexion sur l'enseignement des mathématiques en lycée professionnel peut tout naturellement trouver une traduction écrite dans le mémoire où chaque stagiaire est amené à confronter le vécu dans ses classes avec ses propres objectifs de formation et d'évaluation, les programmes scolaires (contenus, méthodes, directives plus générales) et certains apports plus théoriques, c'est-à-dire à faire évoluer sa représentation de son propre métier.

III - La formation continue des PLP en mathématiques

⁵³ Voir ci-dessous pages 63 à 78.

⁵⁴ Signalons à ce sujet que les PLP ont un stage en entreprise obligatoire dans leur formation.

Faute d'étude analogue en physique et en chimie, nous nous limitons ici à la formation continue des PLP en mathématiques, ce qui n'exclut ni les interactions entre les disciplines scientifiques, ni les liaisons avec les disciplines professionnelles.

La formation continue des enseignants est sans aucun doute, aujourd'hui plus encore que dans le passé, un levier essentiel pour l'évolution et l'amélioration de l'enseignement des mathématiques.

Ainsi commence le développement, figurant dans ce rapport, sur *la formation continue des enseignants de mathématiques du second degré*⁵⁵. Cette introduction, comme l'ensemble de ce texte centré sur les PLC, concerne aussi directement les PLP, avec une résonance toute particulière sur certains sujets : par exemple, le *renforcement de la formation mathématique des personnels recrutés en dehors des concours externes et internes*.

S'il est inutile de reprendre ici chaque paragraphe de ce texte, deux aspects méritent d'être soulignés à propos de la formation continue de professeurs bivalents exerçant en lycée professionnel.

1. La nécessité d'un travail s'inscrivant dans la durée

Ces dernières années, une succession de nouveautés institutionnelles ont amené les PLP de mathématiques-sciences physiques à faire évoluer de façon parfois sensible leur enseignement : c'est notamment le cas avec la mise en place d'une sous-épreuve de travaux pratiques de sciences physiques au baccalauréat professionnel, d'un horaire de projets pluridisciplinaires à caractère professionnel dans les cycles préparatoires au BEP et au baccalauréat professionnel avec participation de professeurs des disciplines générales et, à la rentrée prochaine, d'un enseignement de sciences physiques avec des travaux pratiques pour les CAP du secteur des services.

Pour permettre et faciliter la mise en œuvre de ces changements dont l'intérêt n'est pas contesté, les formateurs académiques sont fortement mis à contribution, ce qui limite leur intervention dans d'autres domaines essentiels. Ainsi, pendant plusieurs années, la formation continue a contribué à faire face à certaines urgences, au détriment d'actions contribuant soit à combler certaines insuffisances de la formation initiale de nombreux PLP, par exemple en statistique et probabilités, soit à approfondir la réflexion didactique des professeurs, par exemple à propos de la progressivité des apprentissages en mathématiques au cours des quatre années conduisant à un BEP, puis à un baccalauréat professionnel, en tenant compte des périodes de formation en entreprise ou à propos de l'utilisation des TICE en mathématiques.

2. L'importance de sortir les PLP d'un certain isolement

A la différence des professeurs certifiés et agrégés de mathématiques qui peuvent enseigner en collège ou en lycée général et technologique, les PLP n'exercent qu'en lycée professionnel où, sauf exception, ils sont les seuls à intervenir.

Cette situation peut créer un certain isolement des PLP alors que leurs élèves ont tous été scolarisés antérieurement en collège, et que certains poursuivent leurs études en première d'adaptation ou en section de technicien supérieur, dans un lycée technologique.

Pour assurer une bonne cohérence de la formation de ces élèves au cours de leur formation initiale, il est important que soient organisés des moments de rencontre entre professeurs

⁵⁵ Voir ci-dessous pages 79 à 101.

enseignant les mathématiques en collège, en lycée général et technologique et en lycée professionnel. Si des stages sur la liaison entre les deux premiers types d'établissement existent généralement dans les plans académiques de formation, notamment à l'occasion d'un changement de programme en troisième et, l'année suivante, en seconde, il n'en est pas de même pour la liaison collège-lycée professionnel : de tels stages sont exceptionnels et l'absence de toute relecture des programmes de seconde professionnelle au cours des deux dernières années scolaires, alors que ceux de troisième venaient d'être modifiés, ne constitue pas un signal incitatif dans ce domaine.

La formation continue doit jouer un rôle moteur pour favoriser la meilleure continuité des apprentissages en mathématiques, quel que soit le cursus des élèves à l'issue de la classe de troisième.

Deux axes peuvent être considérés comme prioritaires aujourd'hui :

- Les actions permettant aux professeurs exerçant en collège et aux PLP de mieux connaître les évolutions des enseignements dans leurs établissements respectifs.
- Les actions permettant aux PLP et aux professeurs exerçant en lycée général et technologique de bénéficier d'une bonne connaissance mutuelle des enseignements propres à chaque type d'enseignement. Par exemple, les PLP, notamment ceux qui interviennent dans les formations tertiaires, peuvent être intéressés par les stages sur les statistiques et les probabilités qui sont proposés aux professeurs de collège et de lycée. Il serait intéressant aussi que les PLP puissent participer aux stages organisés pour les professeurs intervenant en section de technicien supérieur (courbes de Bézier et B-splines, transformation de Laplace, statistique inférentielle,...).

Au delà de ces actions concernant la formation donnée aux élèves en mathématiques, c'est la qualité du processus d'orientation qui est en jeu, un professeur de mathématiques étant aussi, dans bien des cas, le professeur principal d'une de ses classes. Comment se satisfaire d'une situation où, dans la tête de beaucoup d'élèves, être "orienté" en fin de troisième signifie aller en lycée professionnel ?

Troisième partie :

La formation disciplinaire des maîtres du second degré en mathématiques

I. Introduction

Dans cette partie, nous prenons principalement en compte les aspects disciplinaires de la formation des professeurs du second degré (c'est-à-dire leur formation en mathématiques, essentiellement sur le plan des connaissances, mais avec une première réflexion didactique). Il s'agit à nos yeux des objectifs que devront assumer les formations universitaires proprement dites (DEUG ou classes préparatoires, licence, éventuellement maîtrise), ainsi que la préparation au concours (qui incombe actuellement à la première année d'IUFM).

II. Les objectifs de la formation

Nous reprenons ici, en les déclinant dans le cas des professeurs des lycées et collèges, quelques-uns des principes énoncés plus haut.

La formation d'un professeur de mathématiques de l'enseignement du second degré doit lui permettre de **s'adapter** aux évolutions de sa discipline et aux changements de l'état d'esprit ou du contenu des programmes qui en résultent. Une nécessité absolue pour cela est de dominer les mathématiques présentes dans ces programmes, donc d'avoir une solide base dans la discipline, appuyée sur une réelle pratique. Cette nécessité de dominer les contenus est aussi indispensable pour acquérir la culture didactique qui lui permettra de **transposer** ses connaissances en fonction du niveau des classes où il enseigne. Enfin, un autre impératif est de **comprendre les liens** qui unissent les mathématiques aux autres disciplines.

1. S'adapter aux évolutions.

L'enseignement des mathématiques, comme celui des autres sciences, est soumis à de profonds changements, pouvant se traduire par l'irruption de nouveaux champs d'enseignement, pas ou peu représentés jusque-là dans l'enseignement secondaire ou par de nouvelles lectures de domaines classiques.

Un exemple de tel changement de point de vue est l'espèce de révolution apportée dans les mathématiques par le développement de l'informatique et des moyens de calcul. Contrairement à ce qui était encore le cas il y a quelques décennies, on n'imagine plus guère aujourd'hui d'enseigner un théorème d'existence sans l'accompagner d'un algorithme permettant de le mettre en pratique. C'est par exemple le cas du théorème de Bézout en arithmétique que l'on préfère maintenant prouver grâce à l'algorithme d'Euclide plutôt que par des arguments d'idéaux principaux comme cela était en vogue au début des années 1970. Prenant acte de cette révolution, la CREM a proposé, dans son rapport d'étape sur l'informatique, l'introduction, au lycée, d'éléments d'algorithmique et de programmation. Si

une telle décision est prise officiellement, elle imposera un aménagement important de la formation des maîtres. Nous revenons sur ce point ci-dessous.

Un autre exemple est la percée de la culture de l'aléatoire dans l'enseignement, qui nécessite un état d'esprit et une pensée spécifique. Il s'agit là d'une évolution déjà largement amorcée aujourd'hui, mais la difficulté que nombre de professeurs ont rencontrée pour traiter les programmes actuels, outre des raisons épistémologiques propres, révèle aussi une carence de la formation initiale. Il est donc nécessaire de la renforcer en ce domaine, à la fois dans les formations universitaires et dans les préparations aux concours, en la pensant sur un temps suffisamment long pour permettre la maturation des concepts. En clair, cela signifie que tous les futurs enseignants doivent suivre, dans leurs cursus universitaires, et assez tôt, des enseignements de probabilités et statistiques.

Un dernier exemple d'irruption de domaine nouveau dans l'enseignement est celui des mathématiques discrètes. Ainsi, les nouveaux programmes de terminale ES font appel à quelques éléments (limités) de théorie des graphes. Bien entendu, la formation des maîtres devra donner le recul nécessaire aux futurs enseignants sur ce sujet.

Parmi les domaines classiques à revisiter, citons la géométrie. En effet, la CREM a envisagé, dans son rapport d'étape, quelques innovations à ce sujet : utilisation accrue des invariants, réintroduction des cas d'isométrie et de similitude. Cela implique de proposer aux professeurs en exercice qui pour la plupart n'ont pas eu accès à ces notions dans leur formation, des compléments sur ces points. Cela suggère aussi des infléchissements de la formation initiale, dans le sens d'un usage moins exclusif des espaces vectoriels et affines et, pour permettre aux professeurs d'avoir une vue plus globale de leur discipline, d'une ouverture sur des thèmes actuellement absents : axiomatique, programme d'Erlangen, etc. Nous revenons plus bas sur ces points.

Dans son rapport sur le calcul, la CREM a souligné l'évolution de ce domaine, essentiel à l'activité mathématique, aux rapports entre mathématiques et autres champs scientifiques, entre mathématiques et société. Le calcul étant fortement dépendant des instruments qui l'outillent, cette évolution est étroitement liée à l'évolution technologique. Elle conduit en particulier à penser en d'autres termes les rapports entre les deux facettes du calcul que sont le calcul exact et le calcul approché. Comme cela a été souligné dans ce rapport, dans l'enseignement (y compris l'enseignement universitaire jusqu'en licence) il y a un réel déficit en ce qui concerne le calcul approché et, pour la plupart des étudiants, la familiarisation avec le calcul formel reste très limitée. Dans ces conditions, il est urgent de rompre avec la conception qui fait du calcul approché simplement un pis-aller, mais intégrer les instruments actuels de calcul à l'enseignement de façon efficace est difficile et, dans ce domaine aussi, une formation est nécessaire⁵⁶.

⁵⁶Une formation algorithmique n'est pas ici suffisante. Il s'agit aussi par exemple de comprendre comment sont représentées en machine les expressions numériques et littérales, comprendre ce qui se passe quand on teste une égalité, suivant que l'on travaille en calcul exact ou approché, savoir pour une calculatrice symbolique quelles commandes permettent un calcul exact et lesquelles ne fonctionnent qu'en calcul approché, s'être interrogé sur les types d'objets et de notions que le logiciel manipule : quel rapport existe-t-il par exemple entre la notion d'intégrale dans MAPLE et l'intégrale de Riemann, l'intégrale de Lebesgue ? Existe-t-il pour le logiciel une forme canonique pour tel ou tel type d'expression, par exemple une expression de $Q(\sqrt{a}, \sqrt{b})$, a et b étant premiers entre eux ? Des réponses complètes à beaucoup de ces questions resteront sans doute inaccessibles, vu l'opacité des logiciels, mais l'on aimerait cependant que l'enseignant les ait rencontrées et ne soit pas un utilisateur aveugle de la technologie.

Un dernier exemple de changement de point de vue est fourni par les récents programmes de terminale S en ce qui concerne l'introduction de l'exponentielle. Les nouveaux programmes proposent en effet de voir l'exponentielle comme solution de l'équation différentielle $y' = y$ plutôt que comme fonction réciproque du logarithme comme c'était le cas auparavant. La motivation est cette fois extérieure aux mathématiques, puisque ce qui est visé est une meilleure liaison avec la physique et notamment la compréhension des phénomènes de radioactivité. Il n'empêche que cela nécessite, pour les professeurs, actuels et à venir, une réflexion approfondie et que cela pose donc encore le problème de la formation.

Tous les changements énumérés ci-dessus montrent bien que les professeurs qui entrent en fonction à un moment donné n'enseigneront évidemment pas les mêmes notions, ou pas de la même façon, tout au long de leur carrière. Il suffit d'ailleurs pour s'en convaincre de penser aux collègues qui approchent de l'âge de la retraite et qui ont vécu de multiples changements : la réforme des mathématiques modernes, puis son abandon, avec tout son cortège d'allers et retours (on pense ici aux définitions concernant les limites ou à la présentation de la géométrie), l'usage des calculatrices et des logiciels de géométrie, l'introduction des statistiques, des graphes etc. Il est donc important que la formation initiale soit suffisamment solide pour permettre aux futurs professeurs de s'adapter aux évolutions. Bien entendu, l'ajustement à chaque changement de programme est du ressort de la formation continue, mais celle-ci n'atteindra pas son objectif si le pas à franchir est trop grand.

2. Dominer la discipline.

La nécessité pour un professeur de dominer sa discipline est l'une des idées les plus banales qui soient. Bien sûr, cette capacité a déjà pour but de lui permettre d'avoir un recul suffisant par rapport aux contenus des programmes et de s'adapter aux évolutions, comme nous l'avons dit ci-dessus, mais deux autres points sont essentiels : la cohérence de l'enseignement et l'adaptation des contenus au niveau des élèves. Ces deux points nécessitent une maîtrise des contenus d'un double point de vue mathématique et didactique, les deux aspects étant étroitement imbriqués. Nous allons expliciter brièvement ci-dessous notre position sur ce point capital. Afin de ne pas alourdir exagérément ce texte, un certain nombre d'exemples, qui illustrent les principes développés, sont rassemblés en annexe.

Si l'on interroge des universitaires⁵⁷ (et pas seulement les mathématiciens) au sujet des élèves issus de l'enseignement secondaire dans les années récentes, leur opinion est souvent sévère : "ils ne savent plus raisonner" et le diagnostic vient immédiatement après : "c'est parce qu'on ne leur démontre plus rien dans le secondaire". Il est clair que cette critique est souvent exagérée, mais elle n'est certainement pas dénuée de fondement. En effet, les programmes⁵⁸ sont émaillés de locutions du genre : " on admettra", " on ne soulèvera pas de difficulté ", " la démonstration de cette propriété n'est pas au programme ". Ce défaut fait qu'il devient presque impossible pour les élèves de **comprendre** les phénomènes dans leur unité et leur **cohérence**, ce qui est paradoxal s'agissant des mathématiques.

Pour autant, il n'est pas évident de répondre à ces critiques. Ce serait sans doute une illusion dangereuse de penser qu'il suffirait, pour que l'enseignement du second degré apporte le surcroît de rigueur et de cohérence souhaité, d'y introduire ou d'y réintroduire quelques-unes

⁵⁷ On pourra consulter, par exemple, le rapport de J.-P. Demailly [D].

⁵⁸ Voir par exemple les programmes de terminale de 1997.

des notions formelles si chères aux mathématiciens. L'expérience a été tentée dans les années 1970 avec l'introduction des espaces vectoriels en seconde ou celle des définitions des limites en epsilon, ϵ et elle s'est soldée par un échec.

Il convient donc d'être plus prudent. En dépit de cette nécessaire prudence, la position de la commission vise pourtant à inverser la tendance qui consiste à admettre une multitude de résultats en fixant au contraire, comme objectif idéal, l'idée que tout résultat énoncé doit recevoir une **justification** (éventuellement intuitive ou heuristique, éventuellement incomplète)⁵⁹. Bien entendu, il est important que cette position ait une traduction dans la rédaction des programmes⁶⁰, mais là n'est peut-être pas l'essentiel. Ce qui importe c'est que le souci des enseignants soit, en permanence, de tendre vers cet objectif de justification et cela nous ramène à la question de la formation des maîtres.

En effet, il est clair que la voie proposée ci-dessus entre le « tout admettre » et le « tout prouver » est plus difficile à suivre que les autres et qu'elle nécessite une meilleure formation des maîtres. Pour l'emprunter, les professeurs doivent remplir deux conditions :

1) Ils doivent posséder une **culture** assez étendue afin de dominer non seulement les contenus des programmes actuels, mais aussi les points qui y sont admis ou sous-entendus et dont ils sont garants de la cohérence scientifique.

2) Mais cette condition nécessaire n'est pas suffisante, car les futurs professeurs doivent avoir aussi la capacité de **transposer** leurs connaissances et de les adapter à leurs élèves pour produire les justifications auxquelles nous faisons allusion ci-dessus.

Concernant le premier point, il y a nécessairement dans les programmes des notions ou des résultats dont la définition ou la preuve ne peuvent raisonnablement pas être des objectifs de l'enseignement secondaire. Il en est ainsi, par exemple, de la définition des limites, de l'intégrale, des fonctions trigonométriques, ou encore des fondements de la géométrie. On trouvera dans l'annexe d'autres exemples en ce sens. Dans ce cas, les maîtres sont les garants de la cohérence des notions et de la validité des résultats qu'ils doivent maîtriser et dont ils pourront donner aux élèves, selon les cas, des justifications intuitives ou des preuves correctes mais peut-être incomplètes. Cela exige que les futurs professeurs maîtrisent les contenus correspondants. C'est sans doute assez généralement le cas en analyse, mais en géométrie, les formations universitaires et même les préparations au CAPES ne fournissent pas, en général, l'arrière-plan mathématique nécessaire à l'enseignement au collège.

Concernant le second point, nous montrons dans l'annexe l'intérêt pour les maîtres de posséder une culture mathématique étendue, qui leur donne un « temps d'avance » sur leurs élèves, mais aussi la nécessité, ensuite, d'adapter cette culture aux outils dont disposent les élèves et à leurs connaissances. Il s'agit pour les enseignants, face à une situation non triviale, d'être capable, dans un premier temps, de mobiliser toutes les connaissances acquises à l'Université, y compris celles qui ne sont pas à la portée de leurs élèves, afin de comprendre la situation, de conjecturer un résultat et de produire une preuve à leur usage propre. Mais il s'agit aussi, dans un second temps, de concevoir une preuve ou de produire une justification

⁵⁹ Une bonne habitude à donner en formation est, lorsqu'on propose un exercice (notamment pour l'épreuve sur dossier), de vérifier qu'on est capable d'en démystifier tous les ressorts. L'expérience montre que les étudiants n'ont absolument pas ce souci, en particulier dans les exercices qui font appel à une modélisation, (dé)formés qu'ils ont été tout au long de leurs études à résoudre des problèmes qu'ils ne s'étaient pas posés.

⁶⁰ Sur ce point, notre position est assez proche de celle du Groupe d'Experts pour les Programmes du Secondaire : le GEPS, voir le document d'accompagnement des programmes de terminale 2002, p. 27-28.

adaptée au niveau de leur enseignement. Ce double mécanisme intellectuel permettra aux professeurs de faire face à toutes les situations d'enseignement sans tomber dans trois écueils : celui de ne pas proposer de solution aux élèves, faute d'être capable d'en imaginer une, celui de leur fournir une solution tellement découpée et décomposée que l'élève n'a plus à produire que des tâches d'exécution sans le moindre intérêt ou celui de leur imposer une solution dont la compréhension est hors de leur portée, au seul usage de la satisfaction scientifique du professeur.

Il est clair que ce travail de recherche de preuves multiples, à différents niveaux, adaptés à divers publics doit être un des objectifs majeurs de la formation des maîtres.

Un autre point important est l'aspect proprement culturel de certains thèmes. Ce type de situations permet de raccrocher les mathématiques à leurs racines et à d'autres domaines de l'activité humaine (artistique notamment). Cet aspect historique et culturel vaut notamment pour l'étude des polyèdres réguliers⁶¹ ou pour les constructions à la règle et au compas (duplication du cube, quadrature du cercle, etc.) qui constituent le plus bel exemple d'obstination des mathématiciens puisque ces problèmes, posés depuis l'Antiquité, sont restés ouverts jusqu'au dix-neuvième siècle. Là encore il s'agit de points dont l'absence en formation des maîtres nous semble préjudiciable. De même, l'absence totale des géométries non euclidiennes dans les cursus universitaires actuels prive les futurs professeurs de l'ancrage de leur discipline dans son histoire. Bref, il y a, dans la formation des maîtres, en géométrie notamment, de graves insuffisances.

3. Comprendre l'interaction des mathématiques et des autres disciplines.

Ce thème nous semble à la fois fondamental et difficile. Il est fondamental car les relations entre les mathématiques et les autres disciplines (et notamment la physique) sont aussi vieilles que l'humanité et qu'elles sont toujours aussi fécondes au vingt-et-unième siècle. Il est aussi fondamental pour l'image de notre discipline qui, après une période où elle était considérée comme reine⁶², est passée en quelques années du Capitole à la roche Tarpéienne : elle doit maintenant faire la preuve chaque jour de sa pertinence, sous peine d'être reléguée aux oubliettes. Il est fondamental enfin car une grande partie des innovations pédagogiques de l'heure (et ce n'est pas seulement un effet de mode) tournent autour de la pluridisciplinarité (TPE, itinéraires de découverte, etc.) et il serait contraire à l'essence même des mathématiques qu'elles n'essaient pas d'y prendre leur juste part.

Il nous semble que les jeunes professeurs ne sont pas, à l'heure actuelle, suffisamment préparés à relever tous ces défis.

a) Le côté du savoir.

La question des rapports entre les mathématiques et les autres disciplines est très vaste et ce n'est pas le lieu de la traiter ici. Nous nous contenterons d'une brève introduction, renvoyant le lecteur au rapport de la commission sur le sujet.

⁶¹ Comme le dit Michèle Audin (cf. [Au]) : “ *Cet énoncé (il s'agit du fait qu'il y a cinq types de polyèdres convexes réguliers dans l'espace de dimension 3) fait, à mon avis, partie du patrimoine de l'humanité, au même titre que l'Odyssée, les sonates de Beethoven ou les statues de l'île de Pâques (pour ne pas parler des pyramides) et il m'est difficile d'imaginer qu'un citoyen, a fortiori, un professeur de mathématiques, l'ignore*”.

⁶² Elle s'est peut-être trop complu dans ce statut privilégié

Le lien entre mathématiques et applications est fait d'allers et retours nombreux, les mathématiques se nourrissant des problèmes venant des autres sciences et leur fournissant en retour les cadres théoriques appropriés. Il y a des exemples de trajet dans les deux sens :

-- de nombreux domaines des mathématiques sont issus de la physique : les équations aux dérivées partielles, l'analyse de Fourier, les distributions, etc.

-- il y a aussi des exemples, moins nombreux, mais fondamentaux d'un point de vue épistémologique, de théories mathématiques "pures" qui se sont développées indépendamment des applications et qui ont eu de telles applications longtemps après. C'est le cas des coniques, mathématiques essentiellement pures au temps des Grecs, qui sont devenues appliquées avec Kepler et le mouvement des planètes ou, plus près de nous, de la théorie des nombres premiers, prototype des mathématiques pures jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle, qui est maintenant très utilisée en cryptographie, avec de multiples applications dans la vie courante.

Le domaine dans lequel les mathématiques ont le plus d'influence est sans doute la physique, mais elles interviennent aussi en chimie, en biologie, en informatique, en économie, etc. Dans tous ces domaines, les mathématiques ont deux fonctions. Elles permettent d'abord de **formuler** les problèmes en termes mathématiques : il s'agit d'établir un modèle à partir d'hypothèses (par exemple de lois physiques clairement énoncées). Puis, une fois ce modèle adopté, il faut le **traiter**, au moyen d'outils mathématiques (suites, fonctions, équations différentielles, équations aux dérivées partielles, probabilités, statistiques, etc.). Ce travail permet de tirer des conséquences du modèle (qualitatives ou quantitatives) et de les confronter à la réalité (ce qui peut amener à le remettre en question).

Ce que peuvent apporter les mathématiques dans ce travail de modélisation c'est notamment le fait de dégager, de données initiales diverses, abondantes et complexes provenant a priori de domaines différents, des raisonnements similaires menant au même modèle. L'exemple le plus convaincant peut-être de cette unification, au niveau du lycée, est la modélisation des phénomènes dits du "tout ou rien" : un être vivant ou un atome, etc. n'a que deux états possibles (vie et mort, ou Carbone 14 et Azote 14, etc.) et il ne peut passer que de l'un à l'autre, de manière aléatoire, mais indépendante des individus et de l'instant. On montre aisément, par un raisonnement probabiliste élémentaire, qu'un tel phénomène est modélisé par une équation différentielle $y' = -ay$ qui conduit à une exponentielle décroissante (ou à sa variante discrète), quel que soit le cadre d'origine du phénomène. Un autre exemple très convaincant est celui des équations différentielles linéaires qui fournissent le cadre théorique efficace aussi bien en électricité qu'en mécanique ou en hydrodynamique, etc. En fait, cette unification va plus loin que le fait d'utiliser les mêmes outils de calcul, elle est aussi porteuse de pensées nouvelles, par les analogies qu'elle suggère (on pensera à l'utilisation des mots et des concepts de flux et de potentiel en électricité).

Un autre point est la gestion de l'aléatoire que permettent les mathématiques et notamment les probabilités et les statistiques qui ont pris une importance fondamentale, singulièrement en biologie.

Il est clair qu'une réflexion et un début de pratique sur ce thème des liens entre les mathématiques et les autres sciences doit faire partie de la formation des futurs professeurs en étant assortie d'une réflexion historique (ou pseudo-historique au sens de Dhombres) et épistémologique. Cela permettrait aux futurs enseignants de mieux comprendre que la genèse des mathématiques n'est pas exclusivement interne, mais qu'elles se sont nourries des problèmes venant d'autres disciplines et qu'en retour, elles sont des éléments majeurs de l'évolution de ces disciplines. Cette pratique et cette réflexion à propos de la

pluridisciplinarité les aideraient à mettre en œuvre avec pertinence les nouveaux dispositifs d'enseignement (TPE, etc.).

b) Le lien mathématiques-sciences : l'enseignement.

Dans l'enseignement du second degré, il est essentiel que les mathématiques s'ouvrent aux autres disciplines, à la fois parce qu'elles en sont un outil naturel et indispensable, mais aussi parce qu'elles y puisent en permanence de nouvelles questions. Encore une fois, nous considérons qu'une attitude de repli des mathématiques sur elles-mêmes participerait d'une vision étriquée et appauvrissante de la discipline. Cette ouverture leur permettra de jouer leur rôle d'outil universel au service des autres sciences, de les relier à leur genèse, mais aussi de restaurer l'image qu'elles ont dans le grand public.

Bien entendu, il n'y a que l'embarras du choix de telles interventions des mathématiques dans les autres sciences. Citons en vrac : en physique, forces et vecteurs, vitesses et dérivées, circuits RLC et équations différentielles, en chimie, radioactivité et exponentielle, cristallographie et polyèdres, en biologie, dynamique des populations, en économie, loi de l'offre et de la demande, optimisation, en informatique, algorithmes et complexité, logique, structure de données, etc.

Nous souhaitons dire ici avec une certaine solennité que nous considérons que cette ouverture aux autres disciplines, notamment via la modélisation, fait partie de la mission du professeur de mathématiques et nous voudrions saluer le remarquable travail des GEPS de Mathématiques, Physique-Chimie et Sciences de la Vie et de la Terre autour de la radioactivité et de son lien avec l'exponentielle, qui montre quel parti il est possible de tirer des relations entre les disciplines.

Malheureusement, à l'heure actuelle, avec la formation qu'ils ont reçue, nos futurs professeurs ne sont guère préparés à prendre à leur compte ce travail de modélisation. Cela étant, en manière d'excuse, les choses ne sont pas si simples non plus, comme nous allons le voir.

c) Les obstacles

Le souci du lien avec les autres disciplines évoqué ci-dessus est souvent présent dans les programmes du second degré et plus encore dans les plus récents, mais il n'est pas toujours réellement mis en œuvre. On peut dégager plusieurs raisons de cet état de fait.

■ Les manuels n'ont pas encore pris la mesure de ces problèmes.

Les exercices qu'on y trouve pèchent souvent de deux côtés :

- On ne discute pas l'origine des formules fournies (c'est souvent le cas pour les exercices issus de l'économie).
- Le modèle mène à une absurdité sans que le texte ne s'en inquiète. Ainsi, une population qui suit une loi exponentielle croissante sans qu'on discute ce qui se passe en temps grand.

Ce type d'exercice n'est, en réalité, qu'un prétexte pour faire des mathématiques avec un habillage dont on ne se soucie pas de la pertinence. Nous considérons que de tels exercices sont catastrophiques pour l'image de notre discipline. En effet, ils la font apparaître comme un domaine où l'on a des données dont on ne maîtrise pas la provenance, où l'on fait des calculs sans comprendre ce qu'ils signifient et où l'on ne se préoccupe pas de savoir si les résultats ont un sens.

Former mieux les maîtres en ce domaine, c'est faire en sorte que la question de la modélisation fasse partie de leurs préoccupations.

■ La réalité est plus complexe qu'il n'y paraît.

Le problème que rencontrent les enseignants, très souvent, c'est que les modèles abordables du point de vue mathématique, sont trop simples et qu'ils ne rendent pas compte de la réalité. Reprenons l'exemple de la dynamique des populations (disons des lapins sur une île). Le modèle exponentiel, s'il peut être une bonne approximation pour le début de l'évolution, ne convient pas à terme car la population est évidemment bornée. Dans ce cas, on peut tenir compte assez facilement de cette contrainte en utilisant au lieu de l'équation $y' = ay$ qui mène à l'exponentielle l'équation dite logistique : $y' = ay(M-y)$ où M désigne une borne de la population donnée a priori. Ce modèle, dans le cas d'une population sans prédateurs, donne une bonne approximation de la réalité. De plus, dans le cas continu⁶³, même s'il est plus compliqué que le modèle exponentiel, on peut l'étudier avec les outils du programme de terminale. Cet exemple est intéressant car il permet à la fois de critiquer l'inadéquation du modèle exponentiel, mais aussi de surmonter cette critique en proposant un autre modèle. Malheureusement les cas où l'on peut mener une telle étude jusqu'au bout sont rares au niveau du lycée, mais il serait très utile d'en faire un catalogue pour fournir des outils pertinents aux professeurs sur le sujet.

Il nous semble, en tous cas, que le fait d'étudier ce genre de phénomènes est un point fondamental pour les futurs professeurs. Comme il est peu abordé ailleurs qu'en préparation au CAPES, il doit donc y être reconnu comme essentiel.

■ Les programmes sont mal adaptés.

Un seul exemple : l'oscillateur harmonique, base de la physique de terminale, correspond aux équations différentielles linéaires du second ordre à coefficients constants qui ne sont plus au programme de mathématiques de terminale⁶⁴. C'est ce genre de décalage, très fréquent, entre les programmes de mathématiques et de physique qui est souvent, pour les élèves, une cause d'incompréhension.

Bien entendu, la formation des maîtres doit donner aux étudiants les moyens de voir au-delà de la lettre des programmes et de faire qu'ils se sentent autorisés à montrer, dans leurs classes, les véritables enjeux des modélisations.

■ Les méthodes sont différentes.

Nous pensons ici encore à la physique. Bien sûr, les physiciens utilisent les mathématiques pour décrire les phénomènes. Ainsi, le préambule du programme de physique de seconde affirme-t-il avec force que "les lois physiques s'expriment à l'aide de formules mathématiques". Cependant, cette description peut nécessiter une adaptation et un effort pour être dite dans le langage des mathématiques d'une classe donnée. Selon les classes, l'époque, les programmes, cette tâche d'adaptation peut-être plus ou moins difficile. Un exemple significatif est celui du calcul du moment d'inertie d'une plaque circulaire homogène (cf. l'annexe au rapport sur le calcul). Pour faire ce calcul, le physicien utilise un découpage de la plaque en petites couronnes d'épaisseur dr et intègre ces moments infinitésimaux. On peut tout à fait justifier ce calcul avec des intégrales multiples, mais, bien entendu, pas au niveau de terminale. En effet, en terminale (avant les programmes 2002 !), la définition de l'intégrale est donnée uniquement comme différence de deux primitives. En fait, on peut justifier tout de

⁶³ Car le modèle discret est, lui, vraiment trop difficile

⁶⁴ Elles figuraient dans les anciens programmes, mais amputées de deux éléments fondamentaux pour les physiciens : le terme en y' (le frottement ou la résistance, sans lequel les équations mènent à des mouvements perpétuels dépourvus de sens physique), le second membre (les systèmes entretenus, les plus usités).

même le raisonnement du physicien avec cette méthode en dégagant quelques propriétés (on pourrait presque dire les axiomes des moments d'inertie) : le cas du point, une propriété d'additivité. Avec cela il est facile de donner aux élèves une preuve rigoureuse de la méthode, montrant ainsi que physiciens et mathématiciens font, finalement, la même chose. Mais, pour concevoir une telle preuve et se poser ce type de question il faut à la fois une attitude volontariste d'ouverture vers les autres disciplines et une formation initiale (ou continue) qui ait donné les outils de réflexion sur le sujet. On notera qu'avec les nouveaux programmes de 2002, l'intégrale est introduite d'une manière plus conforme à celle qu'utilisent les physiciens ce qui devrait largement favoriser ce dialogue.

III. L'état des lieux : le concours du CAPES

1. Quelques chiffres.

Il n'est peut-être pas inutile de donner un aperçu historique sommaire du concours du CAPES, notamment en ce qui concerne les chiffres. En effet, la difficulté d'un concours et donc aussi, sans doute, la qualité des candidats qu'il recrute est directement liée au rapport entre le nombre de postes (effectivement pourvus) et le nombre de candidats (effectivement présents). Or, et c'est un point que connaissent bien tous ceux qui ont participé à la formation des maîtres depuis suffisamment longtemps, ces chiffres subissent des variations considérables avec le temps, soumis aux aléas de la conjoncture économique et de décisions ministérielles aussi soudaines que contradictoires.

Voici quelques chiffres concernant les années récentes : en 1987 il y avait 1520 candidats inscrits, mais seulement 1188 ayant achevé les épreuves écrites et 839 reçus (cela représente plus de 70% de reçus : pourcentage considérable). La situation est voisine dans les années 85-92. À côté de cela, depuis 1992, le nombre de candidats n'a cessé d'augmenter et le nombre de postes de décroître, exemple : 7300 candidats en 1999 pour 945 reçus (et le nombre de candidats a parfois dépassé 8000). Si on remonte plus loin dans le temps, il y a des exemples plus frappants encore : en 1980 il y avait 170 postes au CAPES pour 3921 inscrits. Nous disons bien 170 ! Pour donner un ordre de grandeur, il y avait cette année-là, dans les cinq Ecoles Normales Supérieures, environ 170 candidats à l'agrégation de mathématiques (pour 82 postes), souvent candidats aussi au CAPES. A l'opposé, à la fin des années 1960 il y avait presque autant de reçus que de candidats : un exemple, en 1967, chez les garçons non élèves des IPES : 147 candidats ayant composé, 130 admissibles, 125 présents aux épreuves orales, 120 reçus ! Tous ces chiffres (assez scandaleux quand on se place du point de vue de l'équité du concours) montrent d'abord l'incapacité des politiques (de tout bord) à **anticiper** des recrutements sur le long terme. Il est clair que ce n'est pas chose facile, mais on devrait tout de même pouvoir faire mieux (s'il s'agit d'éviter les difficultés liées au caractère annuel du budget, l'idée d'une loi de programmation est sans doute à retenir). Au-delà de cette remarque un peu polémique, ces chiffres doivent aussi nous faire prendre conscience de la nécessité de maintenir, indépendamment de la demande conjoncturelle, une exigence de qualité dans la formation des maîtres. Plutôt que de faire confiance sur ce point au concours, trop tributaire de l'offre et de la demande, il nous semble que la garantie doit plutôt être cherchée dans les diplômes requis pour être candidat. De ce point de vue, l'incontestable amélioration que représente le recrutement des professeurs des écoles au niveau de la licence est un premier argument pour envisager, pour les professeurs des lycées et collèges (et, en tous cas, en mathématiques), un recrutement au niveau de la maîtrise. Nous revenons sur ce point plus loin.

Il faut noter, de ce point de vue des variations, que la tendance est en train de s'inverser à nouveau.⁶⁵ En effet, la diminution du nombre de candidats (indice de la reprise économique) et les départs massifs à la retraite prévisibles et déjà amorcés vont obliger à une augmentation du nombre de postes (on en a vu les prémices en novembre 2001 avec le recrutement en catastrophe d'une liste complémentaire de 200 noms). On ne peut qu'être inquiet face à cette situation et on peut regretter qu'alors qu'elle était prévue depuis longtemps, le ministère n'ait pas pris les mesures nécessaires en temps utile : il aurait fallu recruter, notamment au milieu des années 1990 quand des candidats de valeur se bousculaient devant le CAPES, un peu plus qu'il n'était strictement nécessaire à l'époque pour anticiper les difficultés d'aujourd'hui et surtout de demain.

2. Les épreuves actuelles du CAPES.

Le concours du CAPES comporte deux épreuves écrites et deux épreuves orales, toutes avec le même coefficient. Les épreuves écrites sont des problèmes de 5 heures, longs mais de difficulté moyenne. Le plus souvent l'une des épreuves concerne l'analyse et l'autre la géométrie, mais il y a des exceptions (de l'algèbre parfois, des probabilités, etc.) En particulier la géométrie était totalement absente en 2001 et 2002.

Les épreuves orales sont de nature assez différentes. La première (choix entre deux sujets, préparation de deux heures, sans documents), consiste en un exposé devant le jury (25 min) suivi d'un entretien (20 min). C'est une épreuve assez traditionnelle dans sa conception, qui permet surtout de vérifier les connaissances du candidat, sa capacité à les exposer clairement et ses qualités de réaction face aux questions du jury.

La seconde, dite épreuve sur dossier (choix entre deux sujets, préparation de deux heures, avec documents), consiste à produire sur un sujet donné une liste d'exercices et à commenter le choix de ces exercices (d'un double point de vue mathématique et pédagogique, sans les résoudre) devant le jury (25 min), celui-ci posant ensuite des questions (et demandant éventuellement la résolution des exercices) (20 min).

3. Commentaire sur les épreuves actuelles.

La commission considère que la forme actuelle des épreuves du CAPES présente un équilibre somme toute assez satisfaisant⁶⁶ dans son principe : deux épreuves écrites théoriques permettant de vérifier les connaissances des candidats sur un large éventail de thèmes, deux épreuves orales permettant de juger de leurs capacités de communication, la seconde épreuve présentant, de plus, une dimension professionnelle limitée, certes, mais indéniable.

Les épreuves écrites et la première épreuve orale sont des épreuves assez classiques dans ce type de concours.

En revanche, l'épreuve sur dossier, qui est la plus originale du concours actuel, mérite qu'on s'y attarde un peu. Voici le texte officiel qui en décrit les finalités :

Cette épreuve comporte un exposé suivi d'un entretien avec les membres du jury. Elle prend appui sur des documents proposés par le jury. Elle permet au candidat de démontrer :

⁶⁵ Il y a eu, en 2001, 5773 candidats ayant achevé les épreuves écrites, 2109 admissibles et 990 admis (sans compter les listes complémentaires, environ 250 en tout).

⁶⁶ Sauf l'absence d'une épreuve d'informatique sur laquelle nous revenons plus loin.

- qu'il connaît les contenus d'enseignement et les programmes de la discipline au collège et au lycée ;*
- qu'il a réfléchi aux finalités et à l'évolution de la discipline ainsi que sur les relations de celle-ci aux autres disciplines ;*
- qu'il a des aptitudes à l'expression orale, à l'analyse, à la synthèse et à la communication ;*
- qu'il peut faire état de connaissances élémentaires sur l'organisation d'un établissement scolaire du second degré.*

La pratique du jury est assez proche de la théorie sauf sur le dernier point, souvent lettre morte et sur le dossier, réduit à sa plus simple expression. Sinon, cette épreuve permet effectivement de vérifier, outre les qualités d'expression des candidats, le fait qu'ils ont réfléchi aux programmes (du lycée essentiellement). En particulier l'un des intérêts de cette épreuve est qu'elle oblige les candidats, lors de l'année de préparation, à se plonger dans les manuels des classes pour résoudre, décortiquer, critiquer, modifier les exercices, ce qui est déjà un acte de professeur.

Signalons que le jury du CAPES a mis, dans les années récentes, l'accent sur l'utilisation des calculatrices, notamment à l'oral où de nombreux titres y font référence. Le matériel, qui (à l'oral) est fourni aux candidats, est maintenant assez correct (dans les gammes moyennes et supérieures des trois marques les plus courantes). En particulier, ils peuvent projeter pendant leur épreuve l'écran de la calculatrice grâce à des tablettes de rétroprojection présentes dans chaque salle d'interrogation.

Nous indiquons dans le paragraphe suivant les modifications que nous proposons pour ce concours.

IV. Des propositions pour la formation des maîtres du second degré

Dans ce paragraphe, nous avançons quelques propositions pour améliorer la formation des professeurs de mathématiques. Répétons ici encore que ces propositions se veulent indépendantes de la conjoncture, dont on a dit plus haut qu'elle pouvait devenir défavorable dans les années prochaines.

1. Des stages de sensibilisation au cours des études.

Il nous semble essentiel que les futurs professeurs aient pu, au cours de leurs études universitaires, avoir un premier contact avec les classes. C'est d'ailleurs une recommandation du ministère et nous y souscrivons tout à fait. Ces stages peuvent être organisés à différents moments : stages de sensibilisation en DEUG, de pré-professionnalisation en licence, stages durant l'année de préparation enfin, comme c'est le cas actuellement pour les élèves des IUFM. Il semble qu'un stage d'une quinzaine de jours soit souhaitable, accompagné d'une réflexion didactique pour le préparer et l'exploiter. L'intérêt des stages en DEUG ou en licence peut être de montrer aux futurs professeurs des établissements pas nécessairement faciles, leur évitant partiellement le choc de la découverte de ce genre de situations lorsqu'ils y seront confrontés. Ces modules de sensibilisation existent déjà dans la plupart des universités, mais il faut les généraliser (notamment en collège) et inciter les étudiants à les suivre afin de confirmer (ou éventuellement d'infirmier) leur goût pour l'enseignement, à un moment où il est encore temps pour eux d'infléchir leur parcours.

2. Un recrutement au niveau maîtrise.

Le recrutement des professeurs de mathématiques au niveau des actuelles maîtrises (Bac + 4, sans compter l'année de préparation au concours) est l'un des points auxquels la commission est très attachée. En effet, comme nous l'avons expliqué ci-dessus, les fluctuations dans le rapport nombre de postes sur nombre de reçus sont telles dans les concours de recrutement⁶⁷ que le seul moyen d'être sûr du niveau des professeurs c'est d'assurer, autant que faire se peut, ce niveau par le moyen des diplômés requis pour se présenter au concours.⁶⁸ En ce sens il nous semble essentiel de porter le niveau de recrutement du CAPES de mathématiques au niveau de la maîtrise. Comme nous l'avons dit, nous escomptons de cette mesure un effet positif, du même ordre de celui qui a suivi la décision de recruter les professeurs des écoles au niveau de la licence. Comme il s'agit là d'une mesure dont les conséquences sont importantes nous avons développé ci-dessous les arguments en faveur de cette position qui va sans doute apparaître à certains comme allant à contre-courant en ces temps où la quantité de professeurs recrutés va sans doute primer la qualité⁶⁹. Mais le principe de notre commission est de ne pas garder les yeux fixés sur le court terme et de penser la formation au-delà des contraintes de la conjoncture : il se peut que les nécessités à court terme imposent des expédients momentanés, mais ils doivent rester exceptionnels et provisoires et notre objectif n'est pas de discuter de ces palliatifs. Nous n'ignorons pas que les conséquences de ce type de recrutements seront importantes, mais leur gestion relèvera plutôt de la formation continue.

Signalons que le terme maîtrise sera utilisé ici par commodité mais que les maîtrises en question ne devraient pas être exactement celles qui existent actuellement, ni sur le plan pédagogique, ni sur le plan administratif, puisqu'elles devront s'inscrire dans le système 3-5-8 ou L-M-D (Licence-Master-Doctorat). Nous revenons plus bas sur ces questions.

a) L'augmentation de la quantité de connaissances nécessaires.

Il est indéniable, et tout ce qui précède le montre bien, qu'on demande de plus en plus aux professeurs de mathématiques des lycées et collèges. En effet, les professeurs doivent continuer à connaître l'analyse, qui demeure un pan essentiel des programmes de lycée, ils doivent dominer la géométrie, qui continue à être l'un des fondements de l'enseignement, notamment au collège, ils doivent aussi avoir des connaissances solides en algèbre pour avoir le recul nécessaire sur tout ce qui concerne le calcul algébrique, ils doivent être compétents en arithmétique, qui fait un retour en force à plusieurs niveaux, et connaître des éléments de mathématiques discrètes qui viennent de faire leur apparition dans les programmes de lycée, ils doivent maintenant être à l'aise avec les phénomènes aléatoires (statistiques et probabilités) dont on a rappelé l'importance dans les programmes de lycée, ils doivent maîtriser les techniques nouvelles de l'information et de la communication, de la calculatrice programmable à l'ordinateur en passant par l'utilisation des tableurs, des logiciels de calcul formel ou de géométrie dynamique, ils devront demain être en mesure d'enseigner l'algorithmique et la programmation et donc être formés en ce sens, ils doivent enfin, dès aujourd'hui, être capables de dialoguer avec leurs collègues d'autres disciplines dans le cadre de travaux interdisciplinaires et pour cela avoir des notions solides de ces disciplines.⁷⁰

⁶⁷ Nous parlons ici des concours externes, bien entendu.

⁶⁸ Actuellement une majorité des reçus au CAPES de mathématiques sont titulaires d'une maîtrise, mais c'est un état de fait fortement dépendant de la conjoncture.

⁶⁹ Comme on le voit par exemple sur le cas des aides-éducateurs où l'on instaure un recrutement de professeurs au niveau Bac+2

⁷⁰ Actuellement, le problème de la physique est plus important pour les étudiants issus des DEUG MIAS, celui de l'informatique ou des probabilités pour les élèves venant des classes préparatoires.

L'énumération qui précède est à elle seule assez éloquente. Nous pensons, fondamentalement, que vouloir former, en trois ans seulement d'études supérieures, plus la préparation au concours, des professeurs qui remplissent toutes ces conditions, c'est vouloir résoudre la quadrature du cercle.

b) La diminution des connaissances initiales.

Pour faire face à ces défis, dans le temps qui nous est actuellement alloué, il faudrait imaginer que les élèves qui sortent actuellement de l'enseignement secondaire soient mieux formés que leurs devanciers ou qu'ils aient une puissance de travail qui leur permette de faire plus et mieux dans le même temps. On peut toujours l'espérer et notre commission œuvre en ce sens, mais force est de constater que ce n'est pas vraiment le cas. Non pas que les élèves actuels soient moins intelligents que ceux qui les ont précédés, mais de nombreux phénomènes interviennent qui ont tendance à minorer la quantité de travail qu'ils sont capables de fournir : la position dominante d'une société du loisir roi (pourquoi les élèves seraient-ils les seuls à travailler plus de trente-cinq heures ?), l'omniprésence des sollicitations extérieures, dont certaines sont parfaitement légitimes, le fait même de promouvoir des capacités plus transversales ou pluridisciplinaires, tout cela, qu'on le veuille ou non, mène à une érosion des connaissances en mathématiques des étudiants qui entrent dans l'enseignement supérieur, comme le reconnaissent tous ceux qui ont à les former, et ce dans tous les systèmes (université, classes préparatoires, etc.)

c) Augmenter la durée de formation.

Notre opinion est qu'il ne sert à rien de se lamenter face à ces phénomènes et peut-être même qu'il est vain d'espérer vraiment changer les choses à court terme sur ce point. Nous pensons que la généralisation de la scolarisation longue a, pour un temps, des conséquences que l'on peut déplorer, mais dont il faut tenir compte avec réalisme, sans en mésestimer les avantages pour la société tout entière. Le paradoxe de cette situation c'est que les compétences dont doivent faire preuve nos concitoyens, quel que soit leur métier, ont, elles, tendance, au contraire, à croître. Nous l'avons dit en ce qui concerne les professeurs, mais c'est vrai aussi pour les ingénieurs, les médecins, etc. L'unique solution à ce dilemme est simple : il faut penser que l'augmentation de la durée de formation est un fait doublement inéluctable. C'est sans doute aussi une telle idée qui est sous-jacente dans les actuels projets de refonte des études supérieures (le 3-5-8 ou L-M-D). Allonger d'une année la période de formation est d'ailleurs très cohérent avec l'allongement de l'espérance de vie dans nos sociétés : il paraît logique qu'elle s'accompagne de quelques ajustements dans le calendrier traditionnel d'une vie. Cette nécessité n'est d'ailleurs pas une nouveauté et les dernières décennies ont vu déjà s'allonger considérablement la durée de formation dans beaucoup de secteurs professionnels. S'agissant de l'intégration d'un tel dispositif dans les projets du type L-M-D, il ne nous appartient pas d'en décrire les modalités précises. Signalons simplement que la question d'une reconnaissance du niveau maîtrise (4 années d'études après le Bac), qui n'est pas l'un des niveaux de base (3-5-8) se pose de toute manière, soit pour le CAPES dans notre schéma, soit pour l'Agrégation dans l'ancien système. Bien entendu, si notre proposition était retenue, elle impliquerait aussi un décalage d'un an pour les diplômes requis pour le concours d'Agrégation qui passerait ainsi de Bac+4 à Bac+5 (au niveau master, donc).

Un dernier point. Il est clair qu'une telle proposition d'allongement de la durée des études doit être accompagnée de dispositifs permettant de la rendre supportable d'un point de vue social.

En particulier, il serait désastreux que cette mesure ait pour effet de faire diminuer encore le nombre d'enseignants d'origine sociale modeste, comme certaines études du recrutement des professeurs des écoles pourraient le faire craindre. Une solution pour éviter cette difficulté est de remettre en service des dispositifs de pré-recrutements rémunérés du type IPES qui existaient dans les années 1960-70 (ou du type des allocations d'études qui existaient au début des années 1990 en licence et en première année d'IUFM). Une telle décision, comme il a été dit plus haut, s'impose d'autant plus dans une période comme celle qui nous attend où il va falloir attirer vers l'enseignement, et notamment l'enseignement scientifique, un grand nombre de jeunes.

d) Des objectifs pour une maîtrise "d'enseignement".

Notre proposition d'accroître le niveau du recrutement des futurs enseignants de mathématiques⁷¹ des lycées et collèges en le portant à la maîtrise a des conséquences importantes sur l'organisation de ces formations. En effet, s'il s'agissait simplement de demander aux étudiants de suivre cette année supplémentaire, telle qu'elle existe actuellement, ce serait sans doute largement inopérant. Il ne s'agit pas d'empiler, à la suite de connaissances déjà pas toujours bien assimilées, une nouvelle couche de notions qui le seront moins encore. Si tel était le cas, notre but ne serait pas atteint. Notre objectif impose, nous semble-t-il, de repenser les maîtrises ou, au moins, certaines de leurs options. En effet, s'il y a lieu d'apporter de nouvelles connaissances lorsqu'elles font défaut, il est tout autant nécessaire que se développent une réflexion et une réorganisation des connaissances anciennes. Bien entendu, il est important que ces nouvelles maîtrises ne soient pas totalement disjointes des autres pour éviter d'enfermer les étudiants dans des systèmes trop rigides. Cela devrait pouvoir se faire par un système d'options, les unes plus théoriques, d'autres plus adaptées à l'enseignement.

Nous avons indiqué ci-dessus quelques pistes pour cette réflexion des futurs enseignants sur les thèmes qu'ils enseigneront avec les deux mots clés : dominer et transposer.

Pour donner un exemple nous indiquons ci-dessous la trame d'un éventuel programme de géométrie dans une maîtrise tournée vers l'enseignement. Bien entendu, si la nature des notions étudiées est importante, ce qui prime, dans un tel module, c'est le fait de **faire** de la géométrie. Un autre point est à noter : la plupart des thèmes cités ci-dessous se prêtent à une réflexion historique et épistémologique sur la nature de la géométrie, indispensable aux futurs enseignants et ils permettent aussi d'en mesurer l'importance culturelle.

Bref aperçu sur les axiomatiques de la géométrie (celle d'Euclide-Hilbert et celle du vectoriel-affine, pour les comparer et en proposer éventuellement des variantes).

Notions sur les géométries non euclidiennes (par exemple hyperbolique et/ou sphérique).

Lecture commentée du programme d'Erlangen, lien avec la théorie des invariants, conséquences géométriques.

Convexité (avec une réflexion didactique sur les cas de figure).

⁷¹ Cette proposition semble aussi pertinente dans un certain nombre d'autres disciplines scientifiques, notamment en Sciences de la vie et de la terre où la maîtrise est une condition presque nécessaire, de fait, pour obtenir le CAPES.

Mesure des aires et des volumes, longueur des courbes.

Constructions à la règle et au compas.

Polyèdres, formule d'Euler, polyèdres réguliers et semi-réguliers.

Parmi les autres options que pourrait comporter une telle maîtrise « d'enseignement », il pourrait y avoir, à côté de modules d'analyse et d'algèbre classiques, des modules de géométrie, de probabilités, de statistiques, d'informatique et aussi des modules plus dirigés vers l'enseignement (modules faisant appel à d'autres disciplines, module d'histoire des sciences, module d'utilisation de logiciels de calcul formel et de géométrie, module de didactique).

e) Maîtrise et première année d'IUFM.

Un dernier avantage de renforcer la formation universitaire des étudiants serait de libérer un peu de temps dans l'année de préparation au concours. À l'heure actuelle, une partie importante du temps de cette année est employée à reprendre un certain nombre de connaissances du DEUG ou de la licence et à compléter la formation sur d'autres (et notamment la géométrie). Si les formations antérieures étaient plus complètes, cela rendrait à l'année de préparation du temps qui pourrait notamment être employé pour organiser un stage régulier et son exploitation au niveau de l'épreuve sur dossier. Nous revenons sur ce point dans le paragraphe suivant.

f) Un mot sur l'agrégation.

Nous n'avons pratiquement pas parlé de l'Agrégation tout au long de ce rapport. Il nous semble en effet que le point crucial dans la formation des maîtres se situe au niveau du CAPES puisque les professeurs certifiés constituent l'essentiel des enseignants des collèges et des lycées : le nombre de places au concours est beaucoup plus élevé et beaucoup d'agrégés enseignent dans l'enseignement supérieur ou dans les classes post-baccalauréat des lycées. En tous les cas, le passage de trois à quatre ans d'études comme niveau requis pour se présenter au CAPES doit s'accompagner d'un passage de quatre à cinq ans pour l'agrégation, ce qui pourrait permettre, pour les agrégés, l'amorce d'un premier contact avec la recherche.

3. Les contenus du concours : continuité et évolutions.

a) Les flux de recrutement

Une première remarque vaut pour l'ensemble des concours de recrutement. Il est clair que toute proposition d'amélioration, si pertinente soit-elle, risque de rester lettre morte sans une maîtrise raisonnée des flux de recrutement. Comme on l'a vu, l'expérience des années passées n'incite pas à beaucoup d'optimisme à ce sujet. Il n'empêche que nous souhaitons redire ici avec fermeté que la prise en compte, au moins à moyen terme, de la démographie du corps enseignant est une condition impérative pour assurer un recrutement raisonnable.

b) Le CAPES : concours mathématique ou professionnel ?

Sur le fond, le recrutement des professeurs conduit à un dilemme qu'il n'est pas facile de surmonter et sur lequel nous ne souhaitons pas trancher de manière définitive : faut-il se

contenter de vérifier au concours des connaissances mathématiques ou au contraire les épreuves doivent-elles revêtir un aspect plus professionnel. Dans les années 1980, le CAPES était sur la ligne de la première option (le tout mathématique), tandis que la deuxième option a été essayée au début des IUFM avec l'une des deux formes de l'épreuve dite professionnelle qui s'appuyait sur un dossier préparé par le candidat et sur des stages qu'il était censé avoir effectué durant la préparation. Actuellement, on est revenu essentiellement à la première option, le concours du CAPES joue le rôle d'une condition nécessaire du recrutement : il vérifie essentiellement les connaissances théoriques (mathématiques et, dans une moindre mesure, didactiques) des étudiants et leurs capacités de communication. Un stage en lycée est, en général, inclus dans la formation, mais il n'est guère plus qu'un stage de sensibilisation.

La formation professionnelle proprement dite (appuyée sur un stage en responsabilité) est assurée par la deuxième année d'IUFM, éventuellement prolongée par des dispositifs d'accompagnement du premier poste. La validation de cette seconde année n'est pas automatique, mais elle est la règle générale (plus de 90% des stagiaires sont titularisés). Tous les acteurs de cette seconde année d'IUFM (stagiaires et formateurs) s'accordent à dire que la prise d'une classe en responsabilité est un choc majeur pour les jeunes professeurs et qu'ils ont le sentiment que rien ne les y a préparés. D'ailleurs, dans un certain nombre de cas (relativement limités, mais douloureux) on décèle à ce moment une véritable inadaptation au métier d'enseignant qu'il serait souhaitable d'identifier plus tôt, si possible. Même si l'essentiel de la formation professionnelle doit rester le fait de la seconde année, la question se pose donc de proposer des modalités plus équilibrées entre première et deuxième année d'IUFM et en particulier de renforcer le rôle des stages en première année et leur lien avec une épreuve du type épreuve sur dossier. Cela présenterait deux avantages. D'abord, et c'est le point essentiel, cela permettrait une prise en charge plus facile d'une classe en responsabilité en deuxième année d'IUFM, ensuite, s'agissant du concours lui-même, cela permettrait de donner aux commentaires « pédagogiques » de l'épreuve sur dossier (notamment tout ce qui concerne la discussion sur l'objectif des exercices : apprentissage, évaluation...) l'appui d'une expérience de terrain réelle.

Attention, une telle organisation n'est pas simple à mettre en place et se heurte à un certain nombre de difficultés :

- Si l'on envisage de renforcer l'aspect professionnel du concours, cela ne doit pas se faire au détriment de la formation disciplinaire. En particulier, dans l'état actuel des choses, cette professionnalisation ne doit pas être envisagée sans le renforcement de la formation de base que constituerait un recrutement au niveau de la maîtrise.
- Si l'on veut qu'un tel stage joue vraiment un rôle d'initiation au métier, il doit être plus qu'un stage d'observation ou de sensibilisation qui devrait avoir eu lieu auparavant. Cela pose des problèmes d'organisation : le stage doit-il être bloqué sur une période assez courte ou au contraire « filé », i.e. réparti sur l'année ⁷²? quel suivi de ce stage peut être organisé ? et par qui (personnels du second degré, d'inspection, universitaires) ?
- Si l'on veut qu'un tel stage soit pris au sérieux par les candidats, il doit nécessairement être évalué. Or, cette évaluation, même au travers d'un oral comme l'actuelle épreuve sur dossier n'est pas évidente comme le montre l'épisode de l'épreuve professionnelle du début des IUFM. De plus, la présence dans la formation d'un stage évalué, donc

⁷² Ce type de stage se pratique déjà dans certains IUFM.

obligatoire, pose, de façon cruciale, le problème des candidats libres, très nombreux au CAPES (penser déjà aux candidats à l'agrégation). Au début des années 1990 on avait prévu deux options pour l'épreuve professionnelle. Cela ne semble pas très satisfaisant. Enfin, il faut être conscient que le poids du stage serait sans doute très variable selon les périodes, la tendance naturelle des jurys étant de revenir au disciplinaire (plus facile à évaluer de manière équitable) dès que la pression du concours se fait plus forte.

- Comme le concours actuel porte plutôt sur les grandes classes de lycée, il semble souhaitable de proposer un stage à ce niveau. Cela présente le défaut de ne pas mettre les étudiants en contact avec le lieu principal de difficulté de la deuxième année d'IUFM et des suivantes : le collège. Cela pose la question d'infléchir le CAPES dans le sens d'une plus grande prise en compte de l'enseignement au collège.

c) Les épreuves du CAPES et le rôle des jurys :

Les jurys des concours ont à leur disposition un certain nombre de leviers pour améliorer la formation grâce au choix des épreuves écrites et orales.

--- Les épreuves écrites.

L'objectif des épreuves écrites est de vérifier les connaissances des candidats dans les domaines fondamentaux des mathématiques. À cet égard, il est sans doute nécessaire que l'analyse et la géométrie soient toujours présentes dans les épreuves, d'une manière ou d'une autre, et éventuellement mêlées. Dans ces deux domaines, il est important de varier les points du programme auxquels les problèmes font appel (par exemple, en analyse, il convient de ne pas oublier systématiquement les équations différentielles, la topologie et le calcul différentiel). S'agissant de la géométrie, il serait souhaitable que les épreuves permettent aux candidats de montrer à la fois leurs compétences purement géométriques (étude de figures, constructions, etc.) et celles de nature plus algébrique (théorie des groupes, algèbre linéaire, formes quadratiques, etc.)

À côté de ce socle doivent s'ajouter les thèmes qu'on souhaite promouvoir et qui peuvent être ou non présents selon les années : les probabilités et les statistiques, l'arithmétique, les aspects numériques (avec utilisation de calculatrices programmables), l'algèbre, éventuellement des aspects de modélisation, etc.

Sur la rédaction des épreuves, le principe actuel : des épreuves longues mais assez faciles, s'il permet à chaque candidat d'aller à son rythme, présente l'inconvénient de permettre à certains des candidats de grappiller des points. Une proposition, pour éviter ce travers, serait que l'une des parties nécessite de faire preuve de plus d'autonomie et de créativité (et donc comporte moins d'indications). Bien entendu, si une telle partie existait, il faudrait qu'elle soit annoncée comme telle dans le texte et que les candidats soient avertis dès le début de l'année de préparation de l'existence d'une telle épreuve.

Nous discuterons dans un paragraphe spécifique de l'introduction dans les épreuves écrites d'une épreuve d'informatique (algorithmique et programmation).

--- Les épreuves orales.

Nous considérons que la forme actuelle des épreuves orales est assez satisfaisante. En particulier, l'épreuve sur dossier réalise un bon compromis entre l'aspect disciplinaire et une

première approche professionnelle. En effet, tant que l'année de préparation ne comporte pas un volume de stage important, il est difficile de demander aux candidats des compétences professionnelles plus approfondies.

D'autres modalités pour cette épreuve ont été récemment envisagées par le jury. Dans le projet prévu, les exercices ne seraient plus fournis par les candidats mais par le jury. Si cette formule a d'indéniables avantages du point de vue de l'évaluation, il faut faire attention qu'elle ne fasse pas perdre tout l'aspect formateur du travail sur les manuels pendant l'année de préparation : en effet, une compétence essentielle d'un professeur est de guider le travail personnel des élèves et pour cela de savoir choisir des exercices formateurs et motivants.

La marge de manœuvre du jury pour influencer sur la nature du concours est très importante au niveau des épreuves orales. En effet, le jury publie chaque année les textes des exposés et des épreuves sur dossier et cela permet d'infléchir le travail des préparations⁷³ au concours dans le sens souhaité. Notons que le jury pratique ces changements avec modération, ce qui nous semble sain. C'est ainsi que, dans les années récentes et pour faire face aux nouveaux programmes, sont apparus beaucoup de thèmes concernant les probabilités, les statistiques, l'arithmétique, l'utilisation de la calculatrice (algorithmes, etc.). De manière plus générale, les titres des sujets induisent souvent le traitement qu'on en attend. Il convient donc d'être très attentif au libellé des sujets qui peut parfois avoir des effets pervers.

Un autre point très négatif qu'il faudrait rectifier est le petit nombre d'exposés et d'épreuves sur dossier qui se rapportent au collège. C'est d'autant plus dommageable qu'une grande majorité des lauréats du CAPES sont affectés en collège.

Côté positif, l'affichage des thèmes peut permettre de promouvoir des idées nouvelles. Ainsi, en géométrie, les sujets actuels ont déjà fait une petite place à des thèmes reprenant les propositions de la CREM : cas d'égalité et de similitude, utilisation de l'invariant aire, etc. Notons cependant qu'en ce domaine il manque encore plusieurs points déjà évoqués ci-dessus : une discussion sur l'axiomatique de la géométrie en comparant les points de vue d'Euclide-Hilbert et des espaces affines et vectoriels (ce point étant d'ailleurs plus fondamental pour le collège que pour le lycée), une réflexion sur la convexité et les cas de figure, un travail sur longueurs et aires, permettant un traitement rigoureux des angles et des fonctions trigonométriques, une discussion plus systématique sur les polyèdres et notamment les polyèdres réguliers.

Pour être cohérent avec les arguments donnés ci-dessus en faveur de la pluridisciplinarité, il conviendrait aussi de renforcer la présence de thèmes faisant le lien avec les autres disciplines (ces thèmes existent actuellement, mais ils n'ont ni la faveur des candidats, ni celle du jury)⁷⁴. Sur ce point, comme sur celui qui concerne le collège, une difficulté est qu'il y a, en général, assez peu de membres du jury qui ont vraiment réfléchi à ces questions. Une solution serait de favoriser une plus grande mobilité des membres du jury dans les diverses commissions, en fonction des sujets choisis par les candidats, mais sa mise en œuvre pratique n'est pas évidente. On ne peut qu'encourager aussi une meilleure concertation entre les différentes

⁷³ La pratique de rencontres régulières entre le jury et les responsables des préparations nous semble une bonne chose, permettant de faire passer plus sûrement encore un certain nombre de messages précis.

⁷⁴ À ce sujet, on ne peut qu'insister sur l'importance de la composition des jurys pour la mise en œuvre des orientations souhaitées. Il est clair que des évolutions comme celles que nous envisageons, notamment en ce qui concerne l'informatique, mais pas uniquement, imposent la présence de membres du jury suffisamment compétents dans de multiples domaines (probabilités et statistiques, liens avec d'autres disciplines, utilisation de l'outil informatique, etc).

commissions qui interrogent les candidats, permettant de parvenir à une position plus homogène vis-à-vis de ce qui est attendu sur certains sujets.

Un dernier point nous semble très important : le lien entre les titres des sujets et l'évolution des programmes. Certes, il est légitime que les jurys prennent en compte les changements qui interviennent, mais les concours de recrutement ne doivent pas être trop soumis aux programmes du moment, ne serait-ce que parce que ce ne seront pas ceux du lendemain. Ce qui est important c'est de faire réfléchir les futurs professeurs sur ce qu'ils auront l'occasion d'enseigner, non seulement en début de carrière, mais au-delà.

4 Informatique et mathématiques.

a) Introduction

Dans la présentation de ses premiers travaux, la commission écrivait :

" Il est nécessaire d'intégrer une part d'informatique dans la formation des professeurs de mathématiques. Elle ne doit pas se limiter à l'apprentissage des techniques actuellement en usage, mais doit motiver l'acquisition de concepts fondamentaux, de valeur permanente. "

En effet, parmi les recommandations du rapport sur l'informatique figure celle d'introduire, à moyen terme, dans les grandes classes du lycée (première et terminale, et notamment dans les sections scientifiques), un enseignement d'informatique, qui devrait faire partie de l'enseignement de sciences mathématiques. Nous devons insister sur le fait qu'il n'est pas question ici de l'utilisation de l'outil informatique, vu comme une « boîte noire », mais d'une formation plus fondamentale dans la discipline, centrée sur l'algorithmique et la programmation. L'objectif est de fournir aux élèves la possibilité d'une utilisation critique, raisonnée et maîtrisée de l'informatique. Le lecteur se reportera à l'annexe du rapport sur l'informatique pour un aperçu des contenus possibles, qui tournent autour de la notion d'algorithme. Bien entendu, une telle innovation suppose que les professeurs en question soient formés. Cela suppose un double effort, tant sur la formation initiale que sur la formation continue.

b) L'état des lieux côté formation initiale.

Il est clair que la formation de base en informatique des professeurs de mathématiques ne saurait être du seul ressort de l'année de préparation au concours et encore moins de la seconde année d'IUFM qui devrait se préoccuper plutôt de l'utilisation de l'informatique et des logiciels (de géométrie et de calcul formel, notamment) à des fins pédagogiques et de l'enseignement de cette discipline, lorsqu'elle figurera dans les programmes. Il est donc important de connaître le passé des candidats professeurs de ce point de vue.

À l'heure actuelle, beaucoup des candidats au CAPES et à l'agrégation ont des connaissances en informatique. En effet, les candidats qui sont issus des DEUG MIAS (Mathématiques, Informatique et Applications aux Sciences) ont reçu en DEUG une formation solide en informatique (algorithmique, programmation, etc.)⁷⁵. La meilleure preuve en est que le DEUG MIAS mène aussi à la licence d'informatique. Les candidats issus des classes préparatoires ont quelques connaissances en programmation (Pascal autrefois, puis CAML) et connaissent des logiciels de calcul formel du type Maple, mais n'ont pas de connaissances spécifiques en

⁷⁵ Cet enseignement, qui vise aussi à préparer les étudiants à entrer en licence d'informatique, n'est sans doute pas assez lié aux mathématiques.

algorithmique. La situation va sans doute changer avec l'introduction d'une épreuve d'algorithmique au concours de l'École Polytechnique.

La situation dans les licences de mathématiques est très diverse selon les universités : certaines comportent un module "Algorithmique et programmation", d'autres seulement des modules où l'on utilise des logiciels de calcul formel (Maple, Matlab).

Si l'informatique devait être présente en tant que telle au concours, il s'imposerait sans doute qu'elle soit aussi enseignée en second cycle (en licence ou peut-être en maîtrise, si l'hypothèse d'un allongement de la formation était retenue). En effet, il est essentiel que soient éclaircies à ce niveau des notions telles que programme et algorithme, faute de quoi le risque est grand de voir se développer deux types de populations : certains des étudiants n'auraient qu'une vue incomplète et vague de ce que l'on peut faire sur ordinateur tandis que d'autres, plus avancés en technologie, risqueraient de prendre la manipulation de l'outil comme substitut à la maîtrise des concepts généraux.

c) Vérifier les connaissances en algorithmique et programmation au concours ?

La question est de savoir si la vérification des compétences en informatique des futurs enseignants de mathématiques doit se faire par le concours ou indépendamment. Il existe en effet des procédures dites de certifications complémentaires qui permettent d'attester certaines compétences requises pour enseigner certaines matières. Dans le cas présent, on pourrait imaginer de demander que tous les candidats au CAPES puissent faire état d'un module d'informatique, obtenu en licence ou en DEUG, et d'un contenu à préciser. Si ce type de dispositions est envisageable dans une phase transitoire et peut permettre de trouver des enseignants pour des sections spécialisées ou expérimentales, il ne semble pas satisfaisant pour un régime permanent et la commission a préféré retenir l'idée d'une vérification des connaissances informatiques par le concours. Cela est d'ailleurs plus conforme aux principes d'équité des recrutements de la fonction publique.

d) Quel niveau de connaissances ?

La définition d'un éventuel programme de concours n'est évidemment pas du ressort de la commission, cependant il est clair que le programme en question doit comporter un socle d'algorithmique et programmation complété par des éléments plus particuliers qui peuvent éventuellement varier au cours des ans (graphes, réseaux, combinatoire, logique, etc.) Parmi les points qui pourraient figurer dans un tel programme, on peut citer les suivants :

1. La notion d'algorithme, vue comme formalisation d'un processus de calcul indépendant de la technologie du moment ; les types de base calculables en mathématiques (entiers, réels approchés, vecteurs) ; les constructions conditionnelles, les itérations, la structuration d'un algorithme.
2. Un rappel des points de mathématiques qui mènent à des algorithmes ou permettent une expérimentation sur machine : arithmétique (factorisation, pgcd), analyse (limites, séries, résolution d'équations par itération, méthode de Newton), statistiques (simulation), etc.
3. Les bases de mathématiques discrètes pour l'algorithmique : algèbre de Boole et logique propositionnelle ; des notions de logique du premier ordre (calcul des prédicats) ; le fait qu'on peut raisonner mathématiquement sur le fonctionnement d'un programme (récurrence) et en prouver les propriétés ; des éléments d'analyse combinatoire : arbres et graphes, permutations, recherche dichotomique de tri ; quelques repères de complexité sur

des problèmes classiques ; enfin, la connaissance du fait qu'un problème mathématiquement bien posé n'est pas nécessairement calculable.

4. Une sensibilisation à l'existence de systèmes de calcul formel (par exemple de dérivation symbolique) et de logiciels traitant entiers et réels en précision variable, en insistant sur les principes et l'utilisation raisonnée de ces outils.

e) Quelle épreuve au CAPES ?

La question est difficile et comporte plusieurs aspects. Le premier point est de décider si la vérification des connaissances en informatique doit faire l'objet d'une épreuve spécifique ou être englobée dans les autres épreuves. Dans la mesure où il y a un véritable contenu théorique qui ne se limite pas à l'utilisation de l'outil, la commission serait plutôt en faveur d'une épreuve spécifique, mais elle n'en fait pas un préalable. Le second point est de savoir si cette épreuve doit se situer à l'écrit ou à l'oral. Les deux options sont défendables, le passage à l'oral présentant l'intérêt majeur de permettre un passage sur machine. Cependant, il est clair que cette option est très difficile à mettre en œuvre, eu égard au grand nombre de candidats admissibles au CAPES (actuellement plus de 2000 admissibles, 24 commissions, un mois d'oral). Il est clair que mettre en place une telle épreuve demanderait de gros moyens : matériel, maintenance, locaux, examinateurs, ... La commission ne considère pas que cette option est impossible, mais elle est néanmoins très difficile et notre réflexion s'oriente donc plutôt vers une épreuve écrite.

Il y a encore une question à ce sujet : cette épreuve doit-elle s'ajouter aux deux épreuves actuelles ou se substituer à l'une d'elles ? Sur ce point, il nous paraît difficile de renoncer aux deux épreuves actuelles du CAPES. Comme on l'a vu, la tradition de ces épreuves est que l'une soit orientée vers l'analyse et les probabilités et l'autre vers la géométrie et l'algèbre et on ne peut faire l'économie de vérifier les compétences des candidats sur ces points fondamentaux. La position de la commission est donc en faveur d'une épreuve supplémentaire. Bien entendu, cela est en contradiction avec l'actuelle politique du ministère qui cherche plutôt à limiter le nombre d'épreuves au concours, mais il nous semble que l'introduction de l'informatique vaut bien cela. Si toutefois cela s'avérait impossible, il conviendrait d'infléchir les actuelles épreuves écrites en y introduisant une part non négligeable d'algorithmique.

Un point essentiel, dans tous les cas, est que le programme du CAPES comporte une partie clairement identifiée dans le domaine de l'algorithmique.

f) L'agrégation.

À l'heure actuelle, le concours d'agrégation comporte une épreuve de modélisation avec passage obligé sur machine. Dans un premier temps, on peut considérer que la formation en informatique des candidats est suffisamment testée par cette épreuve. Cependant, il semble bien qu'elle relève plutôt de la vérification des compétences en matière de modélisation et d'utilisation de logiciels qu'en matière d'algorithmique et de programmation.

Annexe : Cohérence et transposition : quelques exemples

Dans cette annexe, nous proposons un certain nombre d'exemples précis pour illustrer les objectifs de cohérence et de transposition énoncés au paragraphe 2.

Exemple 1 :

Le rapport d'étape sur la géométrie a mis l'accent sur l'importance de l'enseignement de cette discipline au collège et au lycée. C'est un point sur lequel la formation des maîtres est notoirement insuffisante. En effet, dans la plupart des cursus universitaires (DEUG, licence), la géométrie est tout simplement absente, les étudiants ne recommençant à s'y intéresser que lors des préparations aux concours. De plus, lorsque la géométrie est enseignée (par exemple en préparation au CAPES avec les actuels programmes) c'est en général dans le cadre des espaces vectoriels et affines. Or, si cette approche est importante car elle donne un arrière-plan pour l'enseignement de la géométrie au lycée, comme nous le verrons plus loin, elle n'est d'aucun secours pour un enseignant de collège⁷⁶. Il serait au moins aussi important, pour les professeurs de collège, 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 : quant à admettre des choses, autant être bien conscient de ce qu'on utilise. Cette réflexion sur l'axiomatique sera d'autant plus nécessaire si la proposition de la commission de réintroduire les cas d'isométrie des triangles au collège est retenue. Il existe aujourd'hui plusieurs livres qui permettent une approche assez commode de ces axiomatiques (cf. [A], [L], [CF]). Si un tel cursus avait lieu à un niveau assez élevé (nous pensons à la maîtrise) il pourrait permettre une ouverture vers certaines géométries non euclidiennes (hyperbolique et sphérique), avec une réflexion historique et épistémologique très riche.

Les deux exemples suivants sont à la frontière de l'analyse et de la géométrie et ils sont, en général, particulièrement peu traités dans les cursus universitaires. Sur ce sujet, on pourra consulter le livre de Marc Rogalski et al. [R].

Exemple 2

Cet exemple concerne le lien entre aires, intégrales et primitives. Dans leurs cursus universitaires, les étudiants rencontrent l'intégrale de Riemann, voire celle de Lebesgue et c'est une bonne chose. 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. Par exemple, un théorème comme celui de Bolyai (qui dit que deux polygones de même aire sont équivalents par puzzle) est rarement enseigné, bien qu'il constitue la justification théorique des pratiques de découpage et recollement que l'on utilise à l'école et au collège. De même, les étudiants sauront sans doute calculer l'aire du disque et la longueur du cercle par les méthodes du calcul intégral, mais ignoreront la méthode d'Archimède via les polygones réguliers, pourtant plus pertinente pour l'enseignement au collège et au lycée. Enfin, la réflexion sur les liens entre intégrales et primitives est souvent un peu courte. Il y a donc un travail considérable à faire en formation des maîtres sur ce thème (et c'est déjà le cas avec les actuels programmes du

⁷⁶ Comme le dit G. Arsac, cf. [A], « avec cette axiomatique, les futurs maîtres sont aussi bien armés qu'une poule avec un couteau pour enseigner la géométrie au collège ».

CAPES). Pour donner un exemple très actuel, le nouveau programme de terminale propose une nouvelle approche de l'intégrale et des primitives, avec comme point de départ la notion d'aire et nous souscrivons à cette initiative. Il n'empêche que, pour les professeurs, ce changement de point de vue est une petite révolution et que, pour la vivre sans trop de difficultés, il faudra qu'ils soient bien armés. Il n'est pas sûr que tous aient eu dans leur formation initiale les outils nécessaires.

Exemple 3

Concernant les fonctions trigonométriques, et par exemple la limite de $\sin x / x$, point de départ de la dérivation de ces fonctions, il est très rare que soient abordées les notions d'aires et de longueurs de courbes qui permettraient de traiter rigoureusement cette question (et notamment les liens entre angle et longueur d'arc, entre longueur d'arc et aire de secteur, etc.), et surtout avec des outils de même nature que ceux du collège et du lycée. La seule justification qui apparaît parfois dans les cours de DEUG et de licence sur les fonctions trigonométriques est le traitement via l'exponentielle complexe, totalement inutile pour le futur professeur dans sa pratique de classe. Conséquence de cette carence : les jeunes professeurs ne sont pas convaincus qu'il existe une façon rigoureuse de traiter ces questions par une approche voisine de celle qu'ils utiliseront dans le second degré. Le résultat est qu'ils s'empressent d'admettre tout sur le sujet, faute de pouvoir en apporter une justification dont eux-mêmes soient convaincus, et que ces notions demeurent obscures pour nombre d'élèves. Ils sont d'ailleurs confortés dans cette attitude par les manuels qui sont, pour la plupart, très discrets sur le sujet. On comparera avec l'effort de rigueur des manuels des années 1960⁷⁷.

Les exemples suivants concernent le lien entre la culture mathématique des professeurs et la transposition de celle-ci au niveau des élèves. On y illustre en particulier les deux idées complémentaires du nécessaire temps d'avance du professeur par rapport à ses élèves, mais aussi de la nécessité de l'adaptation à ceux-ci de ses connaissances.

Exemple 4

Cet exemple est en géométrie et rejoint ce que nous disions ci-dessus. Dans l'ancien programme de terminale S (spécialité) on étudiait les composées des transformations du plan. Un outil très précieux pour cela que l'on voit en préparation au CAPES est la connaissance des applications affines et de leurs applications linéaires associées. Par exemple, s'il s'agit de composer deux rotations de centres distincts, le passage en vectoriel permet aussitôt d'affirmer que la composée est (en vectoriel) une rotation d'angle la somme des angles, et, comme elle n'a pas la valeur propre 1 (sauf si la somme des angles est nulle), on en déduit que la composée affine est aussi une rotation. Cet outil, qui n'est pas du tout à la disposition des élèves, est cependant utile au professeur car il lui donne un **temps d'avance** sur les élèves et la connaissance immédiate du résultat. Bien entendu, il reste à faire le travail de transposition et d'imaginer une autre preuve, accessible celle-là aux élèves. En l'occurrence la décomposition des rotations en produit de symétries axiales est l'outil efficace à ce niveau.

⁷⁷ Voir par exemple le livre de la collection Bordas de 1967

Exemple 5 :

Dans cet exemple, le décalage est encore plus grand puisqu'il s'agit d'un exercice de collège que l'on peut résoudre en utilisant l'esprit du programme d'Erlangen (le lien entre groupes et géométries, thème actuellement absent en général de la formation des maîtres). Ce qui suit est extrait de l'article [DPR]. Nous renvoyons le lecteur à cet article pour des détails et des exemples un peu plus coriaces. Considérons seulement le problème suivant.

Soit $ABCD$ un parallélogramme et M un point intérieur. Comment doit-on choisir M pour que les aires des triangles AMB et BMC soient égales ?

Le professeur qui a une idée claire du programme d'Erlangen de F. Klein notera d'abord que le problème est affine et qu'on peut donc le transformer sans risque en supposant que $ABCD$ est un carré. Il verra alors aussitôt en comparant les hauteurs des triangles que M doit être sur la bissectrice de l'angle ABC . Comme les notions de hauteurs et de bissectrice ne sont pas affines, il devra traduire cette condition dans le cas général en disant que M doit être sur la diagonale BD . Comme dans les exemples précédents, le maître aura donc ici un temps d'avance sur les élèves puisqu'il aura immédiatement trouvé le résultat grâce à sa culture (par parenthèse, en mathématiques, découvrir quel est le résultat à prouver est bien souvent la tâche à la fois la plus intéressante, mais aussi la plus difficile ; dans le cas présent, les élèves devront faire quelques expériences, par exemple avec un logiciel de géométrie, pour formuler une conjecture). Il devra ensuite imaginer une preuve accessible à des élèves de collège. Ce n'est pas difficile pourvu qu'on dispose des bons outils (les "lemmes du collège" au sens de [P], lemme du demi-parallélogramme et de la médiane donnent facilement le résultat). Ce type de techniques est une illustration des propositions du rapport d'étape sur la géométrie. À l'heure actuelle il y a bien peu de candidats au CAPES qui seraient capables de mener ce raisonnement à son terme dans ses deux aspects théorique et pratique.

Exemple 6 :

Ce dernier exemple concerne l'intégrale de Wallis (intégrale de 0 à $\pi/2$ de $\sin^n x$). Il s'agit d'un exercice classique en terminale S et une question naturelle est de savoir quelle est la limite de cette intégrale. Avec les connaissances de licence, il est immédiat que la suite de fonctions à intégrer converge simplement vers 0 presque partout et qu'elle est bornée par 1 et le théorème de convergence dominée donne alors la réponse : la limite est nulle. Cet exemple est assez typique : le professeur, avec ses connaissances du niveau supérieur a immédiatement la réponse à la question (et il a donc encore une fois un temps d'avance sur ses élèves), mais, la preuve qu'il obtient ainsi ne peut être donnée aux élèves. Il faut donc encore un travail de transposition, ici relativement facile, pour trouver une preuve (ou au moins une justification) au niveau des élèves. L'idée (simple mais fondamentale) est qu'une intégrale a deux façons d'être petite : soit parce que la fonction est petite sur un intervalle borné, soit parce que la fonction est bornée sur un intervalle d'intégration petit, soit, et c'est le cas ici, un mélange des deux.

Bibliographie :

- [A] Arzac G. L'axiomatique de Hilbert et l'enseignement de la géométrie au collège et au lycée, Aléas, IREM de Lyon, 1998.
- [Au] Audin M. Géométrie, Belin, 1998.
- [CF] Cousin-Fauconnet A. Enseigner la géométrie au collège, Armand Colin, 1995.
- [D] Demailly J.-P. Sur l'enseignement des Mathématiques et des Sciences au Lycée et à l'Université : un cri d'alarme
<http://www-fourier.ujf-grenoble.fr/~demailly/programmes.html>
- [DPR] Duperret J.-C., Perrin D., Richeton J.-P. Une illustration du rapport sur la géométrie de la commission Kahane : analyse de quelques exercices de géométrie, Bull. APMEP 431, 2000.
- [L] Lion G. Géométrie du plan, Vuibert, 2001.
- [P] Perrin D. Une illustration du rapport sur la géométrie de la commission Kahane : l'exemple de la géométrie affine du collège, Bull. APMEP 435, 2001.
- [R] Rogalski M. et al. Carrefours entre Analyse, Algèbre, Géométrie, Ellipses, 2001.

Quatrième partie :

La formation professionnelle des maîtres du second degré en mathématiques⁷⁸

I. Introduction : pour circonscrire notre champ de réflexion.

Une première question mérite d'être posée pour introduire cette réflexion : quels sont les objectifs généraux (même implicites) de cette année de formation professionnelle initiale ? Pour tenter de répondre à cette question, il est nécessaire de rappeler l'organisation de cette formation et son insertion dans l'ensemble du système éducatif.

Les professeurs de lycée et collège stagiaires (PLC2) de mathématiques ont en général une (seule) classe en responsabilité, en collège ou en lycée, dès la rentrée des classes et durant toute l'année scolaire. Ils sont considérés par l'administration comme des « moyens d'enseignement » au même titre que les titulaires.⁷⁹ On notera tout de suite sur ce point la différence avec l'organisation de la formation professionnelle des professeurs des écoles (PE2), voir chapitre 1. Les stagiaires ont un tuteur (ou conseiller pédagogique) sur place. Ils ont, en plus, deux jours de formation par semaine dans les centres IUFM. Cette formation se divise en formation disciplinaire et formation générale. Signalons dès maintenant que les formations diffèrent notablement d'un IUFM à l'autre, à la fois sur le plan de la durée et sur celui des contenus.

Les PLC2 suivent aussi des stages (dits de pratique accompagnée, ce qui signifie qu'ils sont dans la classe d'un professeur plus chevronné) dans des établissements complémentaires du leur et notamment en ZEP. Enfin ils doivent rendre un mémoire professionnel lié à leur expérience. L'évaluation porte sur trois composantes : les stages, les formations dispensées à l'IUFM et le mémoire professionnel. L'évaluation s'effectue en deux temps : dans un premier temps, une commission disciplinaire mise en place par l'IUFM donne une évaluation pour chaque composante, à partir du dossier du professeur stagiaire (pour les stages par exemple, l'évaluation est fondée sur les rapports du conseiller pédagogique du stage en responsabilité et du stage de pratique accompagnée, de formateurs IUFM ayant effectué une ou plusieurs visites dans la classe du stagiaire et du chef de l'établissement où exerce le stagiaire). A partir de ces trois évaluations, une proposition globale est faite par la commission concernant la validation avec trois modalités : oui, non, redoublement. Les dossiers sont ensuite transmis à une commission académique pluridisciplinaire, présidée par un inspecteur général, qui peut suivre ou non la proposition de l'IUFM et qui décide de la titularisation. Pour les agrégés, le système est un peu différent car ils sont titularisés à l'issue d'une inspection.

La validation de l'IUFM porte sur la satisfaction des obligations du PLC2 en tant que « formé » ou « étudiant », alors que la titularisation du jury académique correspond aux critères de l'employeur qui décide de le recruter ou non.

⁷⁸ La première rédaction de ce chapitre est due à Aline Robert que nous remercions vivement pour cette contribution.

⁷⁹ À ce sujet, l'utilisation des PLC2 comme « bouche-trous » à qui l'on confierait les classes dont les autres enseignants n'auraient pas voulu est évidemment la pire des solutions. L'inspection, qui répartit les stagiaires dans l'Académie, est en général sensible à ce problème, mais certains chefs d'établissement ne sont pas toujours très coopératifs.

Les objectifs de cette année de formation ne sont pas toujours clairs (et la position ambiguë des stagiaires n'arrange rien) :

- S'agit-il de réussir à ce que les classes de ces débutants " tournent " le plus rapidement possible ?
- Vise-t-on des effets sur la réussite ou les apprentissages des élèves ?
- Veut-on former des enseignants qui sauront s'adapter à des publics variés ?
- Ou bien encore a-t-on une perspective plus ambitieuse de modification de certaines pratiques des enseignants de mathématiques ?
- Quel rôle joue l'évaluation dans ce dispositif ?

Bien entendu nous n'apporterons pas ici de réponse claire à ces questions, auxquelles les formateurs ne répondent pas toujours de la même manière, mais elles sont posées d'emblée pour relativiser tous les propos tenus, et rappeler cette toile de fond très floue qui ne peut être négligée. Ainsi ce qui est un objectif de formation pour les uns, et qui vise par exemple à reproduire des pratiques bien rodées, peut n'être pas adopté par les autres, qui ont davantage des visées de transformations. Plus subtilement ce qui peut être un objectif pour certaines composantes de la formation (sur le terrain par exemple) peut être ignoré, voire contredit ailleurs (en centre par exemple).

Nous reviendrons plus précisément aux objectifs dans la deuxième partie, sans toutefois entrer dans les détails des parts respectives des différentes composantes.

Un deuxième préalable tient au statut particulier de ces « enseignants étudiants », enseignants quand ils sont dans leur classe en responsabilité, étudiants quand ils sont à l'IUFM. Les deux termes sont antinomiques, et l'on retrouve chez beaucoup de ces débutants, plus ou moins intériorisés, des éléments de cette contradiction, inévitable, incontournable, et qui peut expliquer bien des réactions. C. Blanchard-Laville dans une étude très importante sur cette année de formation⁸⁰ évoque cette étape comme une sorte d'adolescence de la profession : tout se passe comme si, à l'image des adolescents, les jeunes engagés dans cette formation rejettent nécessairement les offres, quitte à modifier sans arrêt leur demande. Autrement dit, il y a vraisemblablement des phénomènes qui ont lieu lors de l'année de l'entrée en fonction qui ne dépendent pas ou qui dépendent peu des dispositifs mis en œuvre. Il faut remarquer aussi que des problèmes analogues émergent en formation des PE, alors même que les dispositifs sont assez différents. Nous ne reviendrons pas sur cette question.

Une troisième dimension doit être évoquée d'emblée : c'est celle de la formation spécifique des pratiques, et de tout ce qui concerne la professionnalité à acquérir. Sans aller jusqu'à faire appel explicitement à l'ergonomie, il nous semble important de souligner que les pratiques en classe ne s'apprennent pas « comme les mathématiques ». Beaucoup de reproches faits à la formation actuelle s'interprètent en termes de difficultés à faire communiquer une formation qui se pense un peu théorique et les pratiques en classe. Le plus souvent, et dans une première approche, on peut penser que les stagiaires et les formateurs de terrain pèsent du côté des pratiques, des stages alors que l'institution et les formateurs en centre résistent du côté d'une prise de recul par rapport aux décisions immédiates.

⁸⁰ Malaise dans la formation des enseignants, C. Blanchard-Laville et S. Nadot, Editeurs, L'Harmattan, (2000)

II. La formation vue par les stagiaires⁸¹

1. Les dispositifs et les acteurs : le point de vue de l'institution

Les dispositifs de formation sont variés (cf. Penninckx, 1994), des évolutions sont introduites dans chaque IUFM, et la dernière circulaire Lang a amené encore des modifications dans beaucoup de sites. Nous nous appuyons ici sur quelques exemples qui n'ont pas de prétention à l'exhaustivité.

Comme nous l'avons évoqué ci-dessus, les PLC2 ont affaire d'une part à des conseillers pédagogiques " sur le terrain " qui les accompagnent au quotidien dans leur classe et les invitent à observer dans leurs propres classes. Ces formateurs sont des enseignants en général bien notés par l'institution, sans formation spécifique. Il en est de même des enseignants qui reçoivent les PLC2 dans leur classe en stage de pratique accompagnée.

D'autre part, les PLC2 ont aussi affaire à d'autres formateurs dont les statuts et les proportions peuvent être variés, à l'intérieur d'une même formation comme d'un IUFM à l'autre : formateurs de statut second degré à temps plein à l'IUFM, enseignants-chercheurs de l'IUFM, enseignants du second degré déchargés d'une partie de leur classes. Parmi ces derniers, plusieurs cas existent selon les instituts : dans certains IUFM, ces formateurs sont recrutés à partir des avis des inspecteurs pédagogiques régionaux (IPR) et n'ont pas en général de formation spécifique, bien qu'il en soit de plus en plus question, dans d'autres IUFM, ces formateurs sont recrutés par le responsable de la formation, avec l'accord de l'inspection pédagogique régionale, souvent parmi les formateurs IREM.

Les programmes de ces séances regroupées sont très variés, mais on retrouve tout de même des thèmes récurrents : progressivité des apprentissages, traitement des erreurs, entrée par certains thèmes mathématiques, élèves en difficulté...

Dans certains IUFM on offre aux PLC2 des modules (quelquefois optionnels) de didactique des mathématiques, d'histoire des mathématiques ou des compléments mathématiques.

Le travail sur les mémoires professionnels est lui aussi organisé de manière très diverse selon les IUFM.

Les processus de validation sont tout aussi variés, cependant on peut dire que la deuxième année d'IUFM est peu sélective (du point de vue de la validation de l'IUFM comme de la titularisation) – il n'y a que quelques étudiants isolés collés définitivement et quelques ajournés auxquels on donne une seconde chance.

2. Du côté des acteurs (stagiaires et tuteurs)

Les opinions des stagiaires vis à vis de la formation sont très variables d'un IUFM à l'autre et d'une discipline à l'autre et la description que nous tentons d'en donner ci-dessous n'est certainement ni fidèle, ni générale. Si ces opinions sont souvent critiques (on retrouve là l'aspect d'adolescence de la profession évoqué plus haut), il convient en tous cas de ne pas se limiter aux réactions épidermiques complaisamment rapportées par certains médias.

L'impression générale, quels que soient les dispositifs, est que les PLC2 sont plus satisfaits des formations sur le terrain et des formations disciplinaires que de la formation générale. Redisons cependant avec force que ces points sont très variables selon les IUFM et qu'on note des évolutions récentes. Dans certains IUFM (Montpellier, Lyon, Lille, etc.), les nouveaux plans de formation mettent l'accent sur l'analyse de pratiques (comme articulation entre

⁸¹ Il n'existe pas à notre connaissance d'étude sérieuse qui permettrait d'alimenter un état des lieux national, des enseignants-chercheurs de plusieurs IUFM ont été associés à la rédaction de manière à ce qu'elle ne soit pas fondée sur l'examen d'un seul exemple, des différences sensibles existant dans la formation d'un IUFM à l'autre.

théorie et pratique) en développant de nouveaux dispositifs d'accompagnement professionnel d'appellations variées et de formes diverses : *groupes d'Accompagnement Professionnel* », « *groupes de suivi et d'intégration professionnel* » ou « *groupes d'analyse de pratiques* », « *groupes de référence* ». Les premiers retours des stagiaires sur ces nouvelles formations semblent positifs.

En ce qui concerne le mémoire, si la plupart des stagiaires sont réticents vis-à-vis de ce travail en début d'année, ils sont souvent satisfaits de l'avoir accompli et considèrent qu'ils en ont retiré beaucoup. Cela est d'autant plus vrai que la formation est plus individualisée et qu'ils peuvent aborder certains problèmes concrets de leur classe avec leur directeur de mémoire.

Pour illustrer ce qui précède, relatons maintenant ce qui ressort de trois sources largement convergentes, un questionnaire du SNES⁸², des témoignages de formateurs à partir des bilans de fin d'année des PLC2 et trois questionnaires distribués en 1994-1995 à des stagiaires de l'IUFM de Versailles (au début et à la fin de l'année) et à leurs tuteurs.⁸³

Plusieurs types de résultats sont apparus dans ces études et d'abord une certaine diversité des réponses : le public des stagiaires n'est pas homogène, les demandes en matière de formation sont contradictoires (par exemple certains, minoritaires, réclament des formations moins superficielles en psychologie de l'enfant, d'autres, très majoritaires, réclament la suppression de toute formation un peu théorique). Inversement, des régularités sont apparues, que nous présentons successivement.

a) Succès de la formation sur le terrain.

Ce résultat n'est pas original, mais il est justement intéressant de vérifier son universalité. Presque tous les questionnaires stagiaires font état du fait que c'est cette formation « à la demande », dispensée par le tuteur, qui les aide vraiment à résoudre leurs difficultés, qu'elle est tout à fait adaptée à leurs préoccupations. Sont citées en priorité la préparation des cours et la tenue de classe.

Citons un questionnaire stagiaire très représentatif : « le tuteur donne des trucs pour faire régner le calme, des indications sur les cours, les contrôles... ».⁸⁴

De leur côté, la grande majorité des tuteurs laissent percer leur satisfaction sur l'efficacité de leur aide : ils estiment que les débutants progressent au cours de l'année (les tuteurs servent donc à quelque chose). Ainsi dans plus des trois quarts des questionnaires, les tuteurs déclarent que les observations qu'ils font dans les classes de leurs stagiaires sont efficaces.

En revanche, en moyenne, la formation en centre est jugée « trop vague, trop générale, trop théorique ». « Qu'est-ce qu'on peut en faire ? » écrit un stagiaire.

⁸² Proposé en 2001

⁸³ Le questionnaire a rassemblé 71 réponses de stagiaires un mois et demi après leur entrée en fonction et 40 réponses de stagiaires après 8 mois de fonctionnement (ce ne sont pas exactement les mêmes personnes qui ont répondu les deux fois) ; il a recueilli aussi 117 réponses de tuteurs ayant à charge des stagiaires (ce ne sont pas exactement les tuteurs des stagiaires interrogés, même si globalement il s'agit des mêmes populations). Quatre entretiens de deux heures ont été menés et ont confirmé tous les résultats.

⁸⁴ Toutefois, dans d'autres IUFM, certains stagiaires se plaignent également du manque de regard critique des tuteurs ou de trop de critiques qui ne les aident pas à progresser. C'est souvent le cas quand les tuteurs souhaitent que les stagiaires "fassent comme eux", c'est-à-dire quand ils sont dans un modèle de formation trop centré sur l'imitation.

b) Des difficultés communes à tous les débutants, confirmées par leurs tuteurs, mais dont certaines se modifient au fil de l'année.

- Les enseignants débutants, questionnés sur les difficultés qu'ils rencontrent en classe, évoquent d'abord le temps (cité dans une réponse sur deux du premier questionnaire et quasiment autant dans le deuxième) : le temps est cause de soucis divers – il passe souvent trop vite pendant les séances, les prévisions sont souvent erronées.

Les tuteurs confirment dans la même proportion cette source de difficultés pour les stagiaires, en précisant que ce qui est difficile est l'évaluation du temps à donner aux élèves pour chercher un exercice, et en ajoutant le manque de conception globale sur l'année qui perturbe aussi le déroulement quotidien (par exemple pour répondre à la question du temps à rester sur un chapitre).

- Les problèmes de discipline, de concentration des élèves, de gestion de l'hétérogénéité occupent la deuxième position ; en particulier, plus de la moitié des tuteurs relèvent des difficultés de discipline chez les stagiaires. Des problèmes plus précis, liés à la voix, à la tenue du tableau, aux déplacements dans la classe, sont cités mais moins fréquemment dans les réponses des tuteurs.
- Les problèmes de choix de “ contenus ” sont cités dans 8% des réponses au premier questionnaire stagiaires et dans 55% des réponses au second. Ils concernent notamment la répartition à respecter entre cours (exposition des connaissances par l'enseignant) et exercices (proposés aux élèves), le choix des activités précises à donner aux élèves (quels énoncés choisir pour les exercices), le choix des textes des contrôles (évaluations des élèves).

De nouvelles difficultés apparaissent ainsi dans le deuxième questionnaire : on précise la difficulté d'“ élaborer des activités à la portée des élèves ” (cela apparaît dans 30% des réponses), on évoque aussi les problèmes liés “ la gestion de la classe ” (dans 75% des réponses !). Tout se passe comme si la prise en compte des élèves devenait une préoccupation plus concrète qu'au début de l'année. On peut encore interpréter ce type de difficultés en évoquant un changement nécessaire de rapport au savoir des stagiaires, qui fait passer de la position d'apprenant à celle d'enseignant. Bien entendu, ce changement n'est pas instantané : comme les apprentissages scolaires, les compétences professionnelles demandent aussi un temps d'acquisition important.

De leur côté, les tuteurs confirment ces difficultés dans la gestion de leurs stagiaires : 36% de leurs réponses font état d'une mauvaise répartition entre cours et activités par exemple ou de difficultés pendant le déroulement de la classe (liées à la prise en compte des élèves).

Cependant, les tuteurs reconnaissent des progrès : dans la gestion du temps, dans la prise en compte des élèves notamment, les problèmes liés à la stricte discipline étant éventuellement les plus difficiles à “ régler ”.

c) Une absente : la référence explicite à l'apprentissage des élèves

L'ensemble des réponses des uns et des autres concerne essentiellement le fait que la classe du débutant “ tourne ” : c'est un premier niveau de préoccupation, commun aux débutants et à leurs tuteurs, qui relève d'exigences élémentaires dans le fonctionnement d'une classe (écoute de l'enseignant par les élèves, respect au moins superficiel des consignes).

La réussite des élèves est déjà moins citée, sauf en ce qui concerne les textes des contrôles à proposer aux élèves (évoqués par exemple dans un petit tiers des réponses des tuteurs).

Quant à l'apprentissage des élèves, son caractère durable, son étendue, la nature des acquisitions des élèves (simplement techniques ou plus approfondies), les obstacles, les remédiations, tout cela n'est pas évoqué dans les réponses, même s'il a pu en être question. Ce n'est pas ce qui vient à l'esprit des acteurs interrogés. De plus, les tuteurs ont des réticences à aborder théoriquement ces questions d'apprentissage, pour ne pas imposer leurs points de vue, souvent considérés comme très personnels, non avérés (à la limite non légitimes).

Voici une citation tirée d'un questionnaire de tuteur, qui explique d'une certaine manière, cette absence : " il est illusoire et néfaste de croire que nous imposons notre modèle au stagiaire. Par contre il s'agit pour nous de permettre au stagiaire de trouver sa place en fonction de ce qu'il est et de ce qu'il souhaite être. Nous ne le faisons pas dans un débat théorique sur ce sujet mais à l'occasion de questions très précises qui traduisent une problématique plus profonde à laquelle il est important d'être sensible à chaque fois qu'elle apparaît. "

De plus, si ces questions d'apprentissage sont plus abordées dans les formations dites générales, ces dernières sont si peu appréciées par les stagiaires, en général, qu'on peut être sceptique sur leurs effets à plus long terme. C'est la question des liens qui est posée : si l'intégration des connaissances provenant des différentes sources de formation reste à la charge des stagiaires, il y a peu de chance qu'elle soit réussie. Il est donc important de ménager du temps et des lieux pour permettre ce travail.

En conclusion, tout se passe comme si la formation " sur le terrain ", dispensée à partir des pratiques des stagiaires dans une " vraie classe ", répondait bien à la demande. Les enseignants débutants en sont satisfaits, ils arrivent à surmonter les plus grosses difficultés de prise en main des élèves (en général).

La question qui se pose à nous est celle de l'apprentissage des élèves, et plus généralement de la reproduction des pratiques qui est sous-jacente à ce modèle. Peu d'éléments explicites sur les apprentissages sont discutés, les critères adoptés sont très liés à un niveau assez superficiel de fonctionnement de la classe, l'imitation des générations précédentes reste ainsi, de fait, majoritaire. Il n'est pas sûr que cela soit suffisant pour relever les nouveaux défis de l'éducation, comme la démocratisation de l'enseignement, ou l'adaptation à des générations d'élèves très différentes et à un renouvellement des contenus.

III Objectifs de la formation professionnelle disciplinaire initiale

Pour définir ces objectifs, nous partirons des pratiques enseignantes. Nous évoquerons d'abord les nouvelles pratiques à mettre en place pour un débutant, qui doivent l'amener à remplacer une certaine fréquentation « estudiantine » des mathématiques par une autre, professionnelle ; nous allons ainsi présenter un certain nombre de différences entre les pratiques mathématiques des étudiants et celles des enseignants qui peuvent engendrer des difficultés à l'installation dans la profession. Cela amène à préciser des objectifs à court terme.

Nous aborderons ensuite les pratiques nouvelles à (éventuellement) mettre en place, qui correspondent à des difficultés qui peuvent subsister plus longtemps, et qui amènent à préciser des objectifs à plus long terme.

Ces objectifs, énoncés en termes de pratiques, devraient se traduire en termes de formation : séances en centre, accompagnement personnalisé, etc., mais comme il est impossible

d'associer « bijectivement » objectifs et séances de formation, nous n'aborderons pas ce problème dans ce paragraphe.

1. Des objectifs à court terme (l'installation): faire passer les étudiants du point de vue de l'apprentissage des mathématiques à celui de leur enseignement.

Les aspects suivants sont problématiques, totalement nouveaux par rapport aux activités (mathématiques) antérieures qu'ont eues ces jeunes enseignants quand ils étaient étudiants et peuvent amener à définir des objectifs de la formation : la conception d'un cours **complet** sur chaque notion, au sein d'une progression cohérente sur l'année, et l'animation mathématique collective des séances, marquée par des problèmes de temps, de discipline, de motivation des élèves.

Le premier aspect correspond à l'introduction d'une double globalité, nouvelle pour les anciens étudiants, puisqu'ils doivent construire un texte du savoir complet à la fois pour chaque notion et sur l'année (à partir des programmes et des manuels) ; cela met en jeu des activités y compris mathématiques dont certaines étaient peu pratiquées jusqu'alors. Citons l'organisation des connaissances, avec le choix d'un ordre pour l'année et d'un découpage pour chaque chapitre ou encore la prise de conscience, voire la mise en évidence de relations entre les chapitres. Autre nouveauté difficile : le choix de tâches et d'activités⁸⁵ pour les élèves parmi toutes celles qui sont proposées dans les sources. Il faut en même temps prévoir la répartition entre les expositions de connaissances par l'enseignant et le travail des élèves. Et ceci alors que ces débutants ne peuvent pas (ou peu) anticiper sur les difficultés des élèves, encore inconnues pour eux : la prévision du déroulement et des réponses éventuelles est certainement plus difficile cette année-là que toutes les années suivantes⁸⁶ ! La construction de contrôles significatifs est aussi souvent une difficulté à surmonter, compte tenu notamment du manque d'expérience.

Il s'agit donc d'apprendre aux stagiaires différentes facettes de ce travail de conversion entre le savoir mathématique visé et ce qui est présenté aux élèves, tout en les aidant à prendre en compte des élèves encore inconnus d'eux.

Certes le manuel peut constituer une aide majeure, mais il reste à l'enseignant à s'approprier ce savoir, d'une manière originale, non seulement pour résoudre des problèmes comme auparavant, mais encore pour en reconstituer le sens, le traduire sans trop le déformer en classe et surtout le retenir.

Ce premier aspect porte en partie sur la phase de préparation des séances, et les acquisitions à faire comportent une partie théorique, qui peut être dégagée dans des séances collectives. De fait, on retrouve dans les plans de formation beaucoup de thèmes liés à ce que nous venons de développer : les contenus actuels des formations répondent aux préoccupations ci-dessus (mais il reste évidemment la question des formes de transmission).

Le deuxième aspect, l'animation, également tout à fait nouveau pour les débutants⁸⁷, a ceci de particulier qu'il est lié au premier aspect, mais ne peut pas cependant être totalement préparé, il est plus difficile à évoquer théoriquement, de manière dépersonnalisée, condensée. On voit par exemple les débutants apprendre petit à petit, chacun à sa façon, à estimer des durées, durée d'un temps de recherche, durée des échanges avec les élèves, durée du temps de l'exposition des connaissances, etc. Cet élément important des pratiques en classe, la gestion du temps, n'est pas seulement lié aux apprentissages des élèves, et ce n'est pas seulement

⁸⁵ On appelle ici tâche tout énoncé d'exercice proposé aux élèves, dans l'acception mathématique du terme ; le mot activité désigne ce que les élèves vont faire pour résoudre l'exercice (avec une partie non visible).

⁸⁶ Ceci justifie des formes spécifiques d'aide aux débutants.

⁸⁷ Car les cours particuliers ou même les colles ou le tutorat n'ont rien à voir avec une vraie classe.

l'hétérogénéité (théorique) des élèves qui joue, mais aussi la conjoncture, qui fait que même un expert ne peut en décider complètement à l'avance. C'est à l'enseignant de décider finalement de l'horloge de la classe, en estimant la résultante de différents facteurs qui dépassent là encore les stricts objectifs d'apprentissage.

De même les questions de discipline (chahut) ne peuvent être entièrement évoquées théoriquement, or l'objectif immédiat d'une classe qui tourne⁸⁸ reste premier cette année-là.

Il y a toujours ainsi dans les pratiques des enseignants (en classe) à tenir compte d'aléas qui érodent un projet arrêté en fonction des apprentissages potentiels des élèves. Et ceci se transmet très difficilement en séances collectives – le moyen utilisé pour cela en formation en centre est souvent la discussion entre stagiaires, qui permet sans doute d'évoquer les problèmes mais pas toujours d'avancer vers des stratégies performantes.

Une chose essentielle est de rendre les stagiaires capables de voir et d'écouter les élèves. L'expérience montre qu'ils sont, au départ, très préoccupés de leur propre discours et qu'ils ont du mal de voir ce que font les élèves, voyant surtout ce qu'ils ne font pas par rapport à leurs attentes.

2. Des objectifs à plus long terme : apprendre à gérer les activités des élèves en classe, à élaborer des bons problèmes, à s'adapter aux élèves, à intégrer du nouveau.

Nous avons choisi des objectifs dont des travaux⁸⁹ ont montré qu'ils correspondent à des difficultés des débutants (voire des enseignants) ; de plus nous estimons que ces objectifs sont associés à des activités fondamentales des enseignants, pouvant avoir des répercussions importantes sur les apprentissages.

a) Apprendre à gérer les activités des élèves

Nous allons donner deux exemples.

i) Gérer la résolution en classe de problèmes qui servent à introduire une notion ou une question.

Depuis quelques années, un certain nombre de situations, considérées comme importantes pour les apprentissages, sont proposées aux élèves en classe de mathématiques⁹⁰ et relèvent du schéma suivant : un énoncé de problème (ou d'exercice) est distribué, il est cherché en classe (individuellement ou en petits groupes), puis au bout d'un moment l'enseignant fait synthétiser ou synthétise les différentes productions, ou résume ce qui a été fait, et suivant les cas corrige et/ou expose de nouvelles connaissances en s'appuyant sur ce qui a été produit par les élèves.

Ces énoncés sont conçus pour que les élèves utilisent leurs connaissances pour résoudre (ou commencer à résoudre) l'exercice ; mais cette mise en fonctionnement doit être différente des mises en œuvre précédentes, ce n'est pas une suite d'applications immédiates, isolées, de propriétés déjà connues, il y a des adaptations nouvelles. L'enseignant est amené ensuite selon les cas à formaliser une question, à généraliser une méthode ou à dégager une propriété utilisée dans ce cas particulier, ou même à présenter une nouvelle notion.

⁸⁸ Cf. le recueil publié en 1995, intitulé “ *Pourvu qu'ils m'écourent, discipline et autorité dans la classe* ”, formé de mémoires professionnels de stagiaires (collège et lycée), présentés et coordonnés par Davisse et Rochex, CRDP Créteil, France. Un deuxième recueil a été publié en 1998, intitulé cette fois-ci “ *Pourvu qu'ils apprennent, face à la diversité des élèves* ”

⁸⁹ On se reportera à la bibliographie.

⁹⁰ C'est en tous cas ce que recommandent programmes et manuels.

Un objectif serait d'aider les (futurs) enseignants à gérer le moment où il faut arrêter le travail des élèves, faire (faire) une synthèse, généraliser, mais cette phase est une des plus difficiles à réaliser pour les débutants, voire pour tous les enseignants. En effet d'une part les élèves ont du mal à passer d'une posture active à la simple écoute de quelqu'un d'autre, même si c'est l'enseignant ; d'autre part ils n'en sont pas tous au même point – certains ont fini, d'autres non ; de plus la synthèse est délicate ; l'exposé ne peut être qu'improvisé, et des choix sont à faire dans l'instant sur ce qu'il faut dire et ne pas dire.

ii) Gérer des activités transversales

Plus généralement on engage les enseignants à proposer aux élèves des problèmes « riches », permettant des réinvestissements, transversaux...

Souvent, en classe, les enseignants sont amenés à isoler très vite des sous-tâches à partir de la tâche initiale. Ils évoquent la pression des élèves et le fait qu'il est nécessaire que les élèves aient au moins mis en fonctionnement quelques propriétés mathématiques visées dans la séance : si l'enseignant n'intervient pas, il peut ne rien se passer dans la séance. Mais ce morcellement du travail proposé aux élèves modifie leurs activités et peut engendrer, si le phénomène se répète, des connaissances (trop) peu organisées.

Ainsi, l'entretien des anciennes connaissances, pourtant prévu dans beaucoup des énoncés, est souvent minoré de fait dans les classes. En effet, le choix entre faire fonctionner de l'ancien et appliquer du nouveau n'est pas vécu comme une alternative qui se rejoue chaque fois, il est toujours tranché dans le même sens : donner les indications jusqu'à ce que les élèves en arrivent à la mise en fonctionnement espérée des nouvelles notions.

Un objectif serait d'apprendre aux (futurs) enseignants à ne pas trop réduire, pendant la phase de recherche, les tâches proposées initialement, sous la pression des questions des élèves et sous la pression du temps⁹¹. Leur apprendre à laisser les élèves chercher seuls un maximum de temps, à résister aux demandes de réponse en développant des relances appropriées, tout en suivant leurs cheminements (pour la synthèse). Leur apprendre à calibrer selon les classes les indications qu'ils donnent lorsqu'ils ne peuvent plus simplement relancer les élèves... Apprendre à jouer sur le couple activités / temps est une compétence à acquérir, qui doit être travaillée en formation, notamment parce que la gestion de situations ouvertes est difficile.

b) Concevoir des progressions ou des situations viables des trois points de vue : épistémologique, didactique et institutionnel

Les programmes, les horaires, les habitudes (nationales, par niveaux, par établissement scolaire) des enseignants forment un système de contraintes à l'intérieur desquels se situe l'espace des possibles pour chacun d'entre eux. Sans ignorer ces contraintes, il est essentiel d'engager les jeunes enseignants à une réflexion épistémologique et didactique qui leur permette des choix raisonnés parmi les possibilités qui leurs sont offertes. La plupart du temps, les enseignants même chevronnés éprouvent de grandes difficultés à justifier et à expliciter leurs choix, ce qui est visible par exemple quand un établissement est amené, en collège, à choisir le manuel scolaire à commander pour l'ensemble des élèves.

Les enseignants en formation initiale ressentent fortement le besoin d'effectuer ces choix de manière raisonnée, et sont de ce fait dans une ouverture d'esprit particulièrement favorable à un travail de fond. Il est nécessaire qu'ils découvrent que la qualité mathématique des progressions et des séances se joue parfois à peu de choses, dans le rejet par exemple d'un choix qui aurait été possible, dans le jeu de contraintes mais dont l'enjeu n'a pas été perçu.

⁹¹ Les formateurs pourraient signaler aux stagiaires qu'une certaine flexibilité dans les unités de temps est possible (par exemple des séances de 90 mn).

Par ailleurs, concevoir et gérer des situations plus ouvertes, comme des situations de recherche, peut être un objectif pour le futur enseignant (comme l'indiquent les programmes eux-mêmes) dans la mesure où il a la chance, en formation, de pouvoir les préparer et en établir le bilan dans le cadre de la collectivité des futurs enseignants de sa promotion.

c) La prise en compte des élèves et l'évaluation des enseignements

Cette évaluation des enseignements est terriblement indirecte, et très difficile, compte tenu de l'investissement des enseignants dans leur travail. Les contrôles, par exemple, sont en partie fabriqués pour garantir une certaine réussite dans une classe donnée, et les résultats en sont très relatifs. Les évaluations nationales ou celles de l'APMEP donnent aux enseignants une certaine évaluation de la « moyenne », il est important que ce matériel soit connu, mais d'autres phénomènes plus individuels sont en cause dans les échecs des élèves. Il a été montré par exemple que certains élèves se cantonnent dans l'action, alors que d'autres adoptent d'emblée une posture d'apprentissage, notamment pendant les phases de recherche. Il serait question ici de faire acquérir aux enseignants l'habitude de repérer, lorsque les élèves travaillent, des indices de malentendus⁹², c'est-à-dire des décalages essentiels entre ce que l'enseignant croit que l'élève a déployé comme activité pour résoudre une tâche et son activité réelle, beaucoup plus restreinte chez bien des élèves.⁹³ Ce problème n'a pris une certaine ampleur qu'avec l'accès au second degré de nouvelles couches sociales d'élèves, et le combattre est un enjeu de la formation, qui nécessite autre chose qu'une reproduction. Ce vaste programme ne peut être terminé en formation initiale, mais nous pensons qu'il peut être initié.

En somme il s'agit de former les enseignants à détecter l'illusion de la transparence (cf. note 9) sous toutes ses formes dans leurs classes, que ce soit pour la réduire ou l'admettre, mais en connaissance de cause. Le vieil adage « ce qui se comprend bien s'énonce clairement » ne nous paraît certainement pas suffisant pour l'évaluation des enseignants.

d) L'intégration du nouveau

Un des objectifs actuels des plans de formation (initiale et continue) des PLC2 est l'intégration des TICE. Il est clair que cet objectif se heurte à de multiples difficultés et que sa mise en place va nécessiter beaucoup de temps.

La question plus générale qui est ainsi soulevée est celle des adaptations aux nouveautés. Comme nous l'avons évoqué en introduction, un objectif (ambitieux) des formations est de donner une culture permettant des adaptations tout au long de la carrière.

IV Perspectives et propositions

La formation professionnelle disciplinaire initiale n'est qu'un des maillons de l'entreprise longue et très diversifiée, qu'est la formation des enseignants. Il est difficile de la séparer du reste. De plus cette formation est elle-même divisée en composantes assez distinctes, estimées diversement, et là encore il est hasardeux de séparer ces composantes, même si un travail précis serait sans doute à faire sur les différentes formes que prennent les formations, dans une visée de complémentarité d'objectifs.

⁹² Au sens de Charlot, Bautier, Rochex.

⁹³ Par exemple, l'enseignant raisonne sur un triangle rectangle générique, appelé ABC, alors que les élèves travaillent, eux, sur un cas particulier dessiné sur leur cahier, et ne saisissent pas que le théorème qui a été démontré (disons le théorème de Pythagore) est valable pour tous les triangles analogues.

Ce sont donc des perspectives nécessairement incomplètes et qui comportent souvent plus de questions que de réponses que nous présentons ici, en trois volets : l'amont et l'aval de la formation PLC2, la nécessité d'un travail de transposition accru entre recherches et formation, enfin une réflexion sur les dispositifs. Il faut insister aussi ici sur le fait que la formation ne s'arrête pas avec l'année de PLC2 et qu'elle doit être articulée avec la formation continue, notamment pour les premières années d'exercice. Ce point sera abordé dans la partie suivante.

1. Amont et aval de la formation professionnelle disciplinaire initiale : pré-professionnalisation et formation des formateurs

Nous avons évoqué plus haut la nécessité de modules de sensibilisation en DEUG ou de pré-professionnalisation en licence. De tels modules sont déjà proposés dans de nombreuses universités, mais il est sans doute possible d'introduire des modules moins superficiels que ceux qui existent. On peut citer, par exemple, un module intitulé « géométrie et enseignement des mathématiques » de la licence de mathématiques⁹⁴ de l'Université de Versailles qui prépare un stage en lycée des étudiants de la façon suivante : 48h d'enseignement à l'université permettent de faire travailler les étudiants à la fois sur l'organisation des connaissances en géométrie dans le secondaire et sur les relations entre énoncés d'exercices et de problèmes et activités des élèves. Pendant leur stage, les étudiants confrontent avec profit ce type d'analyses a priori et la réalité de ce qui se passe en classe.

Un deuxième lieu où s'ouvrent des perspectives d'amélioration des dispositifs est celui de la formation des formateurs. L'objectif est la création de DESS (ou mastère) de formation au métier de formateur d'enseignant (de mathématiques). Il s'agit de former des enseignants de mathématiques déjà expérimentés (au moins 5 ans d'exercice après titularisation). On espère ajouter à leurs compétences un certain nombre de connaissances supplémentaires liées à l'enseignement, aux apprentissages et aux formations, et des outils d'analyses précis des pratiques en classe de mathématiques⁹⁵. Par exemple ces formateurs devraient être familiarisés avec la fabrication et l'analyse de vidéos en classe. On vise aussi une connaissance plus systématique des ressources actuelles et une certaine habitude de leur critique.

Cela contribuerait à établir une culture commune, « des mots pour le dire », un vocabulaire partagé sur ces questions de pratiques d'enseignants de mathématiques.

2. Entre recherches et formation, un travail de transposition pas toujours fait, un partage des rôles encore à trouver.

Depuis plusieurs années, un certain nombre de recherches en didactique des mathématiques ont fait progresser la connaissance d'un certain nombre de phénomènes relatifs à l'enseignement. Cependant, l'utilisation de ces recherches pour la formation n'est pas chose facile. De nombreuses questions restent sans réponse. Nous en donnons quelques exemples ci-dessous.

En particulier, la réflexion en termes de connaissances mathématiques « actuelles » (celles qui sont par exemple certifiées par un concours) au regard des connaissances « potentielles » (celles dont aura besoin l'enseignant) est un point important.

⁹⁴ Cf. Pian, Robert (1999) – même si l'enseignement a été modifié depuis.

⁹⁵ Voir le diplôme d'université mis en place à l'Université de Versailles, cf. Robert (1998)

Des travaux indiquent par exemple l'importance de la disponibilité des connaissances⁹⁶ mathématiques pour l'enseignement, et dans le même temps on a pu montrer la quasi-absence de ce niveau de mise en fonctionnement des connaissances chez les étudiants préparant le CAPES (cf. Pian (2000)). Il semble raisonnable de penser qu'une partie de cette disponibilité s'acquiert pendant les premières années d'exercice du métier. Mais n'est-ce pas réducteur ? Quelles connaissances devraient être disponibles ? À partir de quand ? Qui doit mener cette réflexion ?

De plus, lorsque des résultats de recherche sont acquis grâce à des analyses à une échelle éloignée de celle de la réalité des acteurs (très grosse, du point de vue du temps ou des individus – comme en histoire ou en sociologie, voire très petite – comme en psychanalyse) le prix à payer pour les utiliser au quotidien est grand, il y a une transposition au moins très coûteuse si ce n'est impossible.

Autrement dit la seule connaissance d'un phénomène, sa compréhension n'entraînent pas nécessairement des modifications des comportements ayant un rapport avec ce phénomène, notamment lorsque ces changements mettent en jeu des déterminants personnels, ou tout simplement lorsqu'il est difficile de concevoir des changements intermédiaires, partiels qui contribueraient à ces modifications. Et même s'il y a des changements dans les discours, ils n'induisent pas nécessairement des changements dans les pratiques, comme l'ont montré des études sur la formation des professeurs des écoles.

Il semble que plusieurs conditions (qui ne suffisent nullement) rendent ce passage de la recherche vers les pratiques enseignantes en classe de mathématiques envisageable : un certain calibrage de l'échelle des recherches, des découpages retenus, ni trop loin du quotidien, ni trop loin des acteurs concernés, et un travail supplémentaire d'aide à la transposition, à la fois pour tenir compte de contraintes spécifiques de la profession (travail qui incombe en partie aux chercheurs) et pour tenir compte des démarches individuelles (travail qui incombe en partie aux formateurs).

D'autres travaux commencent à dégager ce qui est possible entre l'idéal didactique, le générique évoqué ci-dessus et décrit dans certains travaux de chercheurs en didactique, et ce qui est possible en classe, compte tenu des contraintes diverses, des habitudes du milieu et des établissements. Quels travaux engager pour préciser ce qui n'est pas possible, et dégager aussi les transformations envisageables ?

Enfin reste le niveau des adaptations individuelles : tout n'est pas possible pour chacun, comme le montrent d'autres travaux, des entretiens⁹⁷ notamment. Les formateurs développent une certaine cohérence, les stagiaires peuvent ne pas en partager les préalables, et la question d'optimiser les apports des uns aux autres se pose avec force. Comment apprendre à adapter des pratiques ?

3. Vers de nouveaux dispositifs plus adaptés à la formation des pratiques ?

Nous évoquons très rapidement ici quelques questions liées aux formes que peut prendre la formation professionnelle initiale mathématique en présentant plusieurs pistes.

⁹⁶ On dit que des connaissances sont disponibles si l'élève est capable d'y faire appel sans qu'on lui ait indiqué que ces connaissances étaient en jeu.

⁹⁷ Entretiens réalisés en remontrant à l'enseignant une vidéo filmée dans sa classe

Dans une thèse passée en 1994, A. Kuzniak présente plusieurs stratégies utilisées en centre en formation mathématique des PE : information, homologie, transposition⁹⁸ en sont les principales. Un coup d'œil rapide aux plans de formation et à leur évolution indiquerait que les formateurs des PLC2 optent plutôt pour la première stratégie, de plus en plus complétée par beaucoup de discussions autour de ce qu'apportent les stagiaires, formes plus ou moins organisées d'analyses de pratiques.

Un travail récent (R. Goigoux et C. Margolinas à paraître) a permis de montrer sur un exemple détaillé comment un maître formateur du premier degré construit, à partir de sa propre pratique, les normes qui lui servent de base pour l'analyse critique de la pratique d'un autre maître formateur. L'analyse montre que les projets didactiques, fondés sur une épistémologie de la discipline (ici du français), sont gommés dans la critique, qui ne porte plus que sur la forme. Ce travail nous interroge sur la possibilité, pour les formateurs à temps partiel qui se fondent essentiellement sur la légitimité de leur pratique, d'une analyse des pratiques qui laisse la place à des projets radicalement différents du leur, mais tout aussi valables a priori. L'intervention (à la fois dans la conception des plans de formation et leur réalisation, comme par exemple à Clermont-Ferrand) d'enseignants chercheurs dont la formation même permet de prendre du recul par rapport aux réalisations singulières, nous semble essentielle pour garantir une ouverture d'esprit dans l'analyse, et notamment la prise en compte des aspects épistémologiques.

D'autres travaux, pas toujours spécifiques aux mathématiques, explorent les rapports très complexes entre savoirs et pratiques : S. Nadot (2000) par exemple insiste dans ses conclusions sur les dialectiques permanentes à organiser entre action, symbolique de l'action et réflexion sur l'action. Cela l'amène à remettre en cause les attentes des stagiaires, compte tenu des modalités actuelles des formations.

Par ailleurs, des recherches sur les pratiques des enseignants en classe de mathématiques (cf. Robert-Rogalski 2002) en montrent la complexité et la cohérence, c'est-à-dire à la fois l'impossibilité de les comprendre à partir des analyses séparées de telle ou telle composante et aussi le caractère non aléatoire des divers choix que fait un même enseignant. Cela pourrait engager à travailler systématiquement en centre sur plusieurs composantes à la fois, pour ne pas laisser aux PLC2 la tâche de recombinaison des informations : travail sur les scénarios (la préparation des séances) engagé simultanément avec un travail sur les déroulements en classe, travail sur les stratégies d'enseignement (par exemple comment faire travailler les élèves seuls) engagé simultanément avec un travail sur les représentations des stagiaires... Cela amène aussi à mettre en évidence et à tenir compte des cohérences de chacun, en majorant peut-être le travail sur le terrain, ou au moins l'initialisation des formations par le travail sur le terrain.

Enfin des textes plus théoriques⁹⁹ cités par des ergonomes rappellent que ce n'est pas l'expérience qui fait apprendre mais l'expérience sur cette expérience¹⁰⁰, à partir de cette expérience. De ce fait, il ne semble pas exclu que donner des « modèles » de séquences aux

⁹⁸ Dans les *stratégies d'homologie*, le formateur transmet sa propre conception de l'enseignement des mathématiques, en la mettant en œuvre dans la formation : il met en scène, avec ses étudiants sur des connaissances mathématiques et/ou professionnelles, la méthodologie d'enseignement qu'il conseille à ses étudiants pour les mathématiques avec leurs élèves.

Dans les *stratégies de transposition*, le formateur explique un savoir de référence sur l'enseignement (par exemple de didactique des mathématiques) et tente de maîtriser le phénomène d'adaptation opéré par les étudiants, en leur proposant des occasions de le faire fonctionner (sur des productions d'élèves, des études de manuels, etc.).

⁹⁹ Vygotski, Clot

¹⁰⁰ « L'expérience de l'expérience vécue » dit Vygotski.

stagiaires, avec un retour de classe organisé systématiquement, puisse contribuer à aider les formations.

On mesure ici l'importance de ce chantier et le travail qui reste à faire.

4. Un point en débat :

Le point suivant n'a pas fait l'objet d'un consensus dans la commission, mais il constitue une piste de réflexion.

Pour la formation professionnelle des professeurs du second degré, plusieurs dispositifs sont envisageables. L'actuel dispositif fait que les stagiaires sont considérés comme des moyens d'enseignement et, à ce titre, ont une classe en responsabilité dès le début d'année (6 heures au plus). Cela induit une grande difficulté, liée à la prise en main de la classe, par des stagiaires qui n'ont reçu aucune formation professionnelle préalable. On a vu que les professeurs des écoles stagiaires ont un statut très différent, puisqu'ils ne prennent pas une classe dès le début d'année, mais qu'ils ont d'abord des stages de pratique accompagnée (ils en ont déjà en première année) et une formation à l'IUFM, et seulement ensuite trois stages en responsabilité. Ces stages, dans lesquels ils remplacent un titulaire qui part en formation, sont d'une durée de trois semaines, mais avec tout l'horaire du professeur remplacé. Ce mode de fonctionnement présente plusieurs avantages :

- Il décompose en deux la difficulté de la prise en mains de la classe : pendant l'année de stage le jeune professeur n'a pas à assumer les difficultés du début d'année, il arrive dans une classe qui « tourne » déjà, la difficulté de la prise en main est repoussée à l'année suivante, avec une expérience accrue.
- Il permet le développement de la formation continue, puisque les stagiaires peuvent être utilisés pour remplacer les professeurs qui partent en stage.

Il présente aussi plusieurs inconvénients et ce qui fonctionne chez les professeurs des écoles ne peut être copié sans changement chez ceux de collège et lycée.

- Une organisation comme dans le premier degré, en liaison avec la formation continue, est beaucoup plus difficile, notamment en raison des emplois du temps, beaucoup plus morcelés que dans le premier degré.
- Il y a une différence essentielle qui est celle du nombre d'heures d'enseignement avec une classe, les PE étant en un mois autant avec les élèves que les PLC2 en un an. Lorsqu'on n'a que 6 heures au plus avec une classe, la nécessité de reprendre cette classe après quelqu'un risque de masquer les problèmes de fond. En effet, si le professeur précédent avait bien sa classe en main, le PLC2 n'apprend pas cette prise en main (qui est fondamentale) et si les élèves le refusent cela peut être simplement parce qu'il succède artificiellement à quelqu'un. Si, au contraire, la situation héritée du professeur précédent est médiocre, le PLC2 se retrouve face à une difficulté dont il ne sait pas comment elle s'est créée : il n'apprend pas non plus.

En résumé, les difficultés des PLC2 tiennent beaucoup à l'adaptation aux élèves – il faut à la fois apprendre à les connaître et à en tenir compte, et cela nécessite du temps, des expériences, des reprises et la responsabilité de la classe.

Signalons que l'expérience des professeurs de lycées professionnels qui sont passés d'un système de type PE à un de type PLC incite à une certaine prudence quant à la modification des statuts.

En dépit de ces difficultés, la commission souhaite qu'une réflexion s'engage pour rendre plus progressive l'entrée des jeunes enseignants dans leur métier. Une suggestion, qui a déjà été évoquée ci-dessus est de renforcer les stages pendant l'année de préparation au concours.

Une autre idée (qui reste à étudier à la lumière de ce qui a été dit ci-dessus) est que les stages en responsabilité de l'année de PLC2 ne viennent qu'après des stages plus divers, d'observation et de pratique accompagnée.

Il resterait la difficulté de la prise en main de la classe dans la première année d'exercice. On peut imaginer, pour y faire face, des dispositions d'allègement de service dans cette première année, articulés avec une formation professionnelle plus théorique et un accompagnement sur le terrain qui permettraient de prolonger et de rendre plus efficace la formation initiale, et de la relier davantage à la formation continue.

Bibliographie succincte (spécifique aux mathématiques)

Audouin M.C. (1995) Formation professionnelle initiale en mathématiques : tuteurs et stagiaires en collège et en lycée, *Document de travail pour la formation des maîtres* n°16, Irem Paris 7.

Blanchard Laville C., Nadot S. (2000) *Malaise dans la formation des enseignants*, L'Harmattan

Borréani J. et al (1994) IUFM Rouen : maths deuxième année, une évaluation en 93/94, *Document de travail pour la formation des maîtres*, n°13, Irem Paris 7

Charlot B. Bautier E. Rochex J.Y. (1998) *Ecole et savoirs dans les banlieues et ailleurs*, Armand Colin.

Dumortier et al. (1995) La formation professionnelle initiale des futurs enseignants de mathématiques : exemples de séances organisées à l'IUFM pour les PLC2, *Document de travail pour la formation des maîtres*, n°15, Irem Paris 7

Goigoux R., Margolinas C. (à paraître), L'activité professionnelles des maîtres-formateurs entre développement et transmission, *Bulletin de psychologie*

Hébert E., Tavignot P. (1994) IUFM an 3, l'observation des classes – réflexion sur la formation des PLC2, *Document de travail pour la formation des maîtres*, n°12, Irem Paris 7

Kuzniak A. (1994) *Etude des stratégies de formation en mathématiques utilisées par les formateurs de maître du premier degré*, Thèse de doctorat Université Paris 7.

Penninckx J. (1994) IUFM an 3 : diversités et points communs des formations des PLC2 en mathématiques en IUFM, comparaison de 18 IUFM, *Document de travail pour la formation des maîtres*, n°11, Irem Paris 7

Pian J. Robert A. (1999) Comment élaborer des énoncés en mathématiques ? L'exemple d'un enseignement de licence de mathématiques sur ce thème, *Brochure IREM* n°88, Irem Paris 7.

Pian J. (2000) Diagnostic des connaissances de mathématiques des étudiants de Capes, vers une interprétation cognitive des apprentissages individuels, *Cahier de Didirem* n°34, Irem Paris 7.

Robert A. (1996) Réflexion sur la formation professionnelle initiale des professeurs de mathématiques des lycées et collèges *Repères -IREM* n°23 pp 83-108

Robert A. (1998) Outils d'analyse des contenus mathématiques à enseigner au lycée et à l'université, *RDM* 18 n°2 pp 139-190, La pensée sauvage.

Robert A. (1999) Pratiques et formation des enseignants, *Didaskalia*, vol 15, 123-157, De Boeck, Bruxelles.

Robert A., Rogalski J. (2002) Le système complexe des pratiques d'enseignants : une double approche, *Revue Canadienne de l'enseignement des sciences et des technologies*

Cinquième partie :

La formation continue des enseignants de mathématiques du second degré

I L'importance de la formation continue

La formation continue des enseignants est sans aucun doute, aujourd'hui encore plus que dans le passé, un levier essentiel pour l'évolution et l'amélioration de l'enseignement des mathématiques. Il y a à ceci plusieurs raisons et certaines ont déjà été évoquées dans les parties précédentes de ce rapport.

Nous avons réclamé plus haut une formation initiale mieux adaptée aux évolutions de la discipline et nous avons analysé les besoins dans ce domaine : comme le montrent bien les évolutions récentes des programmes, les enseignants de mathématiques de l'enseignement secondaire d'aujourd'hui ont à enseigner des mathématiques qui sont restées marginales, voire ont été complètement absentes de leur propre cursus secondaire et universitaire : statistiques, probabilités, théorie des graphes par exemple.

Même lorsqu'il s'agit des mathématiques qui leur sont les plus familières comme la géométrie ou l'analyse, nous avons montré à quel point l'évolution technologique et l'évolution associée des problématiques scientifiques, obligent les enseignants à repenser les objectifs de leur enseignement et les stratégies permettant de les atteindre.

Cette évolution scientifique et technologique conduit aussi à s'interroger non seulement sur la place à accorder dans l'enseignement des mathématiques aux outils pédagogiques qu'elle produit, mais aussi sur la place à accorder dans cet enseignement aux approches et concepts centraux en informatique.

Enfin la volonté qui se manifeste aujourd'hui d'améliorer les liens existant entre les mathématiques et les autres disciplines enseignées, de faire sortir les mathématiques de leur strict rôle de discipline scolaire pour s'interroger sur ce qu'elles peuvent nous apporter pour comprendre le monde et son évolution, pour agir dans nos environnements respectifs, constitue une demande nouvelle et exigeante à laquelle les enseignants actuels, de par leur formation initiale, sont très mal préparés.

La situation est donc, de ce point de vue, particulièrement complexe aujourd'hui et le décalage entre ce qu'offre la formation initiale des enseignants, quelle que soit sa qualité, et ce qui est attendu aujourd'hui des enseignants, est particulièrement important.

Ce décalage est accru par d'autres facteurs, en particulier la volonté de démocratisation de l'enseignement qui s'est traduite par la massification de l'enseignement au lycée, l'uniformisation de l'enseignement dans la scolarité obligatoire à travers le collège unique et les secondes indifférenciées. Cette évolution a fortement accru l'hétérogénéité des classes et conduit en retour l'institution à multiplier les dispositifs didactiques annexes : modules, soutien, aide à l'étude, aide individualisée... susceptibles d'aider l'enseignant à y faire face. Cette diversification des dispositifs de l'étude, effectuée au mieux à moyens globaux constants, pose en retour des problèmes nouveaux aux enseignants. Comment articuler ces différentes organisations, construire à partir d'elles une cohérence globale de l'enseignement et rendre cette cohérence perceptible aux élèves ? Il y a là une rupture profonde avec la situation que les enseignants ont eux-mêmes vécue dans l'enseignement secondaire où la

classe assurait la cohérence, l'unité du dispositif. Les enseignants sont très peu outillés pour y faire face de façon efficace, si tant est que cela soit possible.

Un renforcement de la formation initiale devrait certes permettre de combler au moins une partie de ces besoins, et nous plaidons, pour y parvenir, pour un recrutement sur la base d'une maîtrise adaptée aux métiers de l'enseignement. Mais, quelle que soit sa qualité, la formation initiale ne saurait suffire, dans ce métier comme dans tous les autres. Il y a à cela une première raison évidente, à savoir que la formation initiale ne peut anticiper sur toutes les évolutions futures et les besoins de formation qu'elles susciteront, mais aussi des raisons plus profondes, indépendantes de ces évolutions.

L'enseignement est un métier. La formation initiale qu'ils reçoivent commence à préparer les futurs professeurs à l'exercer. Mais beaucoup des questions que pose l'exercice de ce métier ne peuvent prendre sens et être travaillées que dans le cadre de son exercice même. L'enseignant est en effet un professionnel qui en permanence doit prendre des décisions, dans des situations marquées par l'incertitude, élaborer des solutions aux problèmes qu'il rencontre, en étant capable de les adapter aux contextes particuliers dans lesquels il évolue. Comme le montrent différents travaux de recherche récents concernant la formation des compétences professionnelles des enseignants¹⁰¹, c'est une réflexion sur la pratique et les questions qu'elle suscite qui semble être le moteur essentiel dans l'élaboration de ces compétences, soutenues par différents types de savoirs. Elle peut et doit s'amorcer en formation initiale mais semble difficilement conduire à des connaissances vraiment opérationnelles dans le court terme de cette formation. La formation continue a donc un rôle essentiel à jouer.

II Quelles ambitions pour la formation continue ?

La formation continue des enseignants de mathématiques doit répondre à des besoins multiples dont certains, mais non tous, résultent immédiatement de ce qui précède. Sans vouloir pour autant sous-estimer ce qui relève dans la professionnalité enseignante de compétences que l'on qualifie souvent de transversales, nous nous centrerons ici sur les ambitions de cette formation les plus étroitement liées à la discipline et nous les déclinerons suivant sept pôles.

Précisons cependant que ceci ne veut pas dire que les formations menées sur des questions transversales d'une part, disciplinaires d'autre part, doivent être nécessairement séparées. Il nous semble particulièrement important au contraire de créer des ponts et synergies entre les deux questionnements, en montrant par exemple ce qu'une entrée disciplinaire peut apporter à la réflexion sur des questions transversales et en sens inverse ce que les acquis de recherches plus transversales menées en sciences de l'éducation peuvent apporter à une réflexion plus disciplinaire. Des réseaux nationaux comme le réseau RESEIDA¹⁰² regroupant des chercheurs de différentes origines montrent la voie en ce sens. Par ailleurs, l'étude des questions relatives à la mise en place de dispositifs d'aide individualisée ou de soutien disciplinaires et de mesure de leur efficacité (cf. les travaux de l'IREDU¹⁰³) bénéficieraient sans aucun doute eux aussi d'une telle collaboration. Par exemple, en ce qui concerne les dispositifs de soutien en

¹⁰¹ On pourra se référer sur ce point à (Altet, 1994), (Paquay et al., 1996) pour une étude générale et aux travaux menés autour de A. Robert pour une approche concernant plus spécifiquement les mathématiques (cf. (Robert, 2001) pour une présentation synthétique).

¹⁰² RESEIDA : Recherches sur la Socialisation, l'Enseignement, les Inégalités et les Différenciations dans les Apprentissages. Au sein de ce réseau créé en 2000, collaborent une trentaine de chercheurs de divers champs : didacticiens de différentes disciplines, linguistes, chercheurs en psychologie cognitive et en sociologie de l'éducation.

¹⁰³ IREDU : Institut de recherche sur l'économie de l'éducation (université de Dijon).

mathématiques extérieurs à l'école et plus généralement le travail à la maison des élèves, la thèse de F. Esmenjaud-Genestoux (2001), par les analyses fines qu'elle propose du fonctionnement de différents systèmes d'aides aux élèves, permet de comprendre les raisons du peu d'efficacité de ces systèmes mis en évidence par les études statistiques de l'IREDU.

1. Renforcer la formation mathématique des personnels recrutés en dehors des concours externes et internes

Nous avons souligné dans l'introduction l'importance de la formation continue, en nous situant plus ou moins explicitement dans la perspective d'une formation initiale des enseignants assurée via les concours de recrutement que sont le CAPES, l'agrégation ou le CAPLP2, tels qu'ils fonctionnent aujourd'hui. Mais on ne saurait oublier, d'une part, que les besoins de recrutement massif d'enseignants associés à la baisse du nombre d'étudiants en mathématiques vont se traduire à court terme par une bien moins grande sélectivité de ces concours, et que d'autre part, ce schéma de formation initiale ne concerne aujourd'hui que la moitié des enseignants. Divers concours, progressivement créés, offrent d'autres possibilités d'entrée dans le métier : concours interne, réservé, spécifique, nouveau concours ouvert aux aides éducateurs seulement titulaires d'un DEUG. Si le CAPES interne est clairement un concours professionnel mathématique, on ne saurait en dire autant des autres. Le public concerné par ces concours est sans aucun doute très hétérogène mais il nous semble absolument nécessaire de prévoir, pour un certain nombre de ces enseignants, une formation continue substantielle qui renforce une formation initiale en mathématiques lointaine ou limitée.

2. Accompagner les évolutions dans les contenus d'enseignement

Comme nous l'avons souligné dans l'introduction, les enseignants ont de plus en plus à enseigner des mathématiques qui sont pour eux partiellement ou totalement nouvelles. Dans ces nouveaux domaines, une formation conséquente s'impose. Et, même pour les mathématiques qui leur sont apparemment les plus familières, des évolutions apparaissent qui sont loin d'être transparentes. Ainsi en est-il par exemple des évolutions actuelles au lycée dans l'enseignement de la géométrie et de l'analyse, déjà évoquées dans ce rapport. Il ne s'agit pas seulement pour les professeurs de faire connaissance avec des savoirs nouveaux : ces évolutions imposent de repenser les progressions, de repenser l'articulation des notions, les choix et la fonction des exercices : où sont les obstacles ? Quelles justifications est-il réaliste d'apporter à tel ou tel niveau ? Quelles sont les techniques à mettre en place ? Quels sont les exemples et contre-exemples pertinents pour rendre les notions plus abordables et créer des images mentales efficaces ? Quels sont les problèmes mieux résolus par les nouveaux contenus, quels sont ceux qui n'y sont plus adaptés ? Quelles sont les liaisons possibles avec les autres parties du programme ? Quelle évaluation est-il raisonnable de mettre en place ? On voit qu'on est bien loin ici d'une simple « mise à niveau » de connaissances. Si la formation continue est insuffisante, ces évolutions risquent d'être simplement pensées en termes d'ajouts ou de suppressions alors que c'est plus globalement la structure de l'édifice qui est souvent en jeu, que de nouveaux rapports et équilibres sont à installer entre les notions.

3. Enrichir la culture mathématique et plus généralement la culture scientifique des enseignants

La culture mathématique des enseignants est une culture qui est, pour beaucoup d'entre eux, à la fin de la formation initiale, relativement limitée et assez peu ouverte aux mathématiques

actuelles. On sait de plus qu'elle tend souvent, au fil des ans, à s'aplatir sur les mathématiques enseignées. Il importe donc d'offrir une formation continue qui assure l'enrichissement de la culture mathématique des enseignants, en essayant d'y rendre aussi présentes que possible les mathématiques actuelles. Ceci ne va pas de soi et nécessite un travail de transposition difficile que l'université jusqu'à présent ne prend pas en charge et que les revues scientifiques abordent généralement¹⁰⁴ de façon trop journalistique pour être réellement efficace. Il est vrai que beaucoup des mathématiques qui se font sont tout à fait hors de portée du non-spécialiste, mais il est important que les professeurs du secondaire soient conscients d'enseigner une discipline vivante, diverse et en pleine évolution. Une formation continue de qualité doit permettre d'enrichir leur culture mathématique en leur faisant comprendre au moins certaines préoccupations actuelles, en leur rendant présentes l'évolution des questions et des outils, le rôle au sein même de la discipline des nouveaux outils de calcul ou l'existence de problèmes nouveaux apportés par les autres sciences.

Il en est de même de la culture scientifique nécessaire au travail en commun avec des enseignants d'autres disciplines, comme celui nécessité par les TPE ou les itinéraires de découverte. S'il n'est pas question de demander aux enseignants de mathématiques d'être omniscients, il faut qu'ils puissent dialoguer et travailler avec des enseignants d'autres disciplines, et voir en particulier, dans ce travail en commun, comment les mathématiques peuvent aider à formuler des questions de manière à les rendre accessibles à un travail scientifique puis contribuer à leur résolution. Tout ceci non plus ne va pas de soi car ce qui est en jeu, au-delà de l'Ecole, c'est le rapport social aux mathématiques. Leur invisibilité sociale, souvent dénoncée, est ici un obstacle majeur et si la formation continue n'aide pas les enseignants de mathématiques à le surmonter, les mathématiques auront au plus dans les dispositifs pluri-disciplinaires un rôle purement contractuel.¹⁰⁵ La formation continue, de ce point de vue, devrait s'appuyer beaucoup plus qu'elle ne le fait sur les diverses manifestations scientifiques existantes, les opportunités fournies par certaines expositions et les ressources offertes par certains musées.

Concernant la culture des enseignants, une dimension particulière s'impose : celle de la culture épistémologique et historique. Cette dimension, généralement absente jusqu'ici des cursus universitaires, est plus souvent prise en charge par la formation continue et, en particulier, grâce au travail exemplaire des IREM dans ce domaine¹⁰⁶, la formation dispose d'un ensemble consistant et cohérent de ressources tant humaines que documentaires qui doit pouvoir aider les enseignants non seulement à acquérir une culture épistémologique et historique mais aussi, ce qui est essentiel, à apprendre à mettre cette culture au service de leurs pratiques d'enseignement. Cependant les réussites obtenues dans cette dimension ne sauraient occulter les difficultés rencontrées de façon globale sur ce pôle de la formation continue.

¹⁰⁴ Il faut toutefois saluer le travail effectué par des revues comme La Gazette des mathématiciens, ou le Bulletin de l'APMEP, ou encore Pour la science pour n'en citer que quelques-unes.

¹⁰⁵ L'exemple des TPE est de ce point de vue tout à fait éclairant. L'observation de leur fonctionnement, les résultats de questionnaires proposés aux enseignants, les questions et discours des enseignants dans les stages de formation, montrent bien le malaise des enseignants de mathématiques, la difficulté que la plupart éprouvent à trouver leur place et l'impression qu'ils ressentent d'être en position ancillaire par rapport aux autres disciplines, la difficulté enfin qu'ils rencontrent à négocier un travail visant par exemple à s'interroger sur les raisons d'être de telle ou telle formule, sur ses conditions de validité, sur l'interprétation faite de tel ou tel graphique ou de données statistiques...

¹⁰⁶ Au sein du réseau des IREM, ce travail est coordonné par la commission inter-IREM Epistémologie et Histoire des Mathématiques.

4. Aider les enseignants à prendre en compte l'évolution technologique

Pendant plus de vingt ans, en France, les programmes ont fait référence à la nécessité pour l'enseignement des mathématiques, de prendre en compte l'évolution technologique, et des initiatives diverses ont été prises par le système éducatif pour favoriser cette prise en compte, notamment en termes de formation continue. Ces initiatives n'ont eu jusqu'à ces dernières années qu'un effet marginal. Seule une petite minorité des enseignants de mathématiques intègre réellement aujourd'hui encore à leur enseignement, calculatrices et logiciels de géométrie dynamique, pour ne citer que les technologies les plus répandues. Dans les programmes actuels, les souhaits, les encouragements se muent en obligations et, au-delà des calculatrices et logiciels de géométrie, apparaissent d'autres technologies : les tableurs, obligatoires dès le collège, les logiciels de calcul symbolique dont le statut reste plus ambigu, et surtout Internet. Ceci sans compter les produits destinés à un travail individualisé des élèves¹⁰⁷, non mentionnés encore dans les textes officiels, mais dont l'usage pourrait se banaliser dans les divers dispositifs d'aide à l'étude.

Derrière ces technologies de l'information et de la communication (TIC) dont l'institution prône globalement l'intégration à l'enseignement des mathématiques, se retrouvent en fait des objets très différents aux potentialités pour l'enseignement diverses, non interchangeables, et qui posent chacun des problèmes de formation spécifiques.

L'expérience de ces vingt dernières années a bien montré la difficulté de cette intégration et les besoins de formation, tant initiale que continue. Elle a montré aussi les limites d'une formation qui s'est voulue, pendant longtemps, essentiellement militante : il s'agissait de convaincre les enseignants que les élèves apprenaient mieux et plus facilement, grâce aux nouvelles technologies accessibles. La question, on le sait, est bien plus complexe. Les technologies informatiques ne sont pas les prothèses miracles de l'enseignement et leur intégration ne peut se fonder sur une hypothétique valeur thérapeutique. Ce qui est en jeu, plus profondément, c'est de penser l'activité mathématique scolaire en cohérence avec les instruments qui sont ceux du travail mathématique aujourd'hui, dans toutes les autres sphères de la société. Ceci, encore une fois, ne va pas de soi et nécessite, au-delà d'une formation initiale solide qui fasse des futurs enseignants des utilisateurs avertis et confiants de ces technologies, une formation continue qui prenne en charge la question de leur exploitation à des fins didactiques. Ceci doit s'effectuer sans sous-estimer les difficultés que pose une exploitation efficace, et en organisant, dans ce domaine comme dans ceux déjà cités, une progression vers l'expertise professionnelle dans la durée.

Pendant très longtemps, la formation continue concernant ce que l'on appelait les nouvelles technologies a été centrée sur les calculatrices et logiciels et sur leur exploitation en classe. Les besoins correspondants en formation sont loin d'être épuisés mais l'évolution technologique introduit aujourd'hui, via Internet notamment, de nouvelles possibilités pour l'enseignement et donc, en corollaire, de nouveaux besoins de formation. Internet a conduit, en particulier en quelques années à une explosion des ressources mises à la disposition des enseignants sur les sites académiques, IREM, associatifs ou même personnels. Apprendre à faire rapidement un premier tri sélectif dans cette masse de ressources en fonction d'un projet d'enseignement pré-établi (mais que ces ressources amèneront très souvent à remanier), à voir ce que peut apporter tel ou tel type de ressource, à analyser des propositions de séquences, à voir comment elles peuvent éventuellement s'intégrer dans une progression, quelles adaptations elles nécessiteraient éventuellement..., tout ceci est un travail demandé à l'enseignant actuel. Il nécessite des instruments qui le rendent efficace et d'un coût

¹⁰⁷ Des didacticiels comme ceux de la série SMAO édités par

Chrysis sont déjà très présents dans les

raisonnable. Il nécessite aussi un travail d'équipe auquel les enseignants en France sont insuffisamment préparés et que les conditions matérielles de l'enseignement ne favorisent pas.

Mais l'évolution technologique offre en retour, sans aucun doute, des possibilités nouvelles au travail collaboratif des enseignants dont témoigne bien le développement actuel de sites¹⁰⁸ et de forums, à la diffusion de ressources, à la formation à distance, dont la formation continue doit mieux tirer profit qu'elle ne le fait actuellement.

5. Contribuer à la construction d'une professionnalité enseignante amorcée dans la formation initiale.

Les systèmes de formation initiale des enseignants se partagent en deux grandes catégories (cf. (Comiti & Ball, 1996) par exemple) : les systèmes où une formation disciplinaire est dominante et précède la formation professionnelle et les systèmes qualifiés d'intégrés où, très tôt, les étudiants se destinant à l'enseignement intègrent un cursus spécifique où s'articulent formations disciplinaire, didactique et pédagogique. Un système non intégré produit généralement des enseignants dont la culture disciplinaire est plus solide mais l'adaptation de cette culture disciplinaire à l'enseignement ne va pas de soi et elle semble plus difficilement gérée dans la formation initiale que dans les systèmes dits intégrés¹⁰⁹.

Nous avons vu que la formation initiale des enseignants de mathématiques en France est du premier type. Il s'agit en effet d'abord d'une formation mathématique classique et, hormis quelques modules de pré-professionnalisation marginaux dans les cursus universitaires, elle ne se distingue guère de la formation des futurs mathématiciens. Même lorsqu'il existe des options spécifiques dans les licences mathématiques, conduisant à ce que l'on appelle souvent des licences option enseignement, leurs programmes ne sont pas nécessairement particulièrement adaptés aux besoins mathématiques actuels des futurs enseignants. De plus, dans les périodes de compétition forte au niveau du CAPES comme celle que nous avons connue ces dernières années et connaissons encore, les études faites localement tendent à montrer que ce ne sont pas les étudiants issus de ces licences qui sont en priorité reçus au CAPES, au contraire. Les épreuves de l'écrit, qui constituent la première barrière, sont des épreuves mathématiques classiques. Elles ne sont pas conçues comme un moyen de tester la capacité des étudiants à exploiter des mathématiques plus avancées pour penser les mathématiques de l'enseignement secondaire. La faible part qu'y occupe la géométrie ces dernières années le montre clairement. Les deux épreuves de l'oral ont, elles, une indéniable dimension professionnelle. Mais, tout en étant un premier pas vers un rapport d'enseignant aux savoirs mathématiques, la tâche reste nécessairement limitée. Les objets qui sont élaborés par les étudiants sont conçus pour le jury du CAPES, non pour des élèves ; ils ne pourraient vivre dans une classe actuelle sans de profondes adaptations. Ce sont de plus des objets très locaux or, une des tâches essentielles de l'enseignant et sans doute aussi une des plus difficiles, est, comme nous l'avons vu plus haut, de penser la cohérence globale ou au moins par grands thèmes de son enseignement. C'est une tâche sans doute plus difficile aujourd'hui qu'hier car l'accent est moins mis sur les questions de structuration locale et régionale des savoirs. Elle est aussi plus difficile car on demande aux enseignants, non seulement de faire

¹⁰⁸ Un bon exemple nous semble fourni par le site Sesamath (www.sesamath.net).

¹⁰⁹ C'est ce qui a conduit un chercheur comme Shulmann (Shulmann, 1986) travaillant sur les différents types de connaissances nécessaires aux enseignants à distinguer entre « content knowledge » et « pedagogical content knowledge », cette distinction ayant ensuite été reprise par de nombreux chercheurs travaillant dans ce domaine dans les pays de culture anglo-saxonne notamment.

apparaître les mathématiques qu'ils enseignent comme permettant de répondre à des questions qui font sens pour les élèves, d'adapter en permanence leurs constructions à ce qu'ils perçoivent de l'état cognitif de leurs élèves, mais aussi, au-delà de ces exigences on ne peut plus normales, d'essayer de mettre en place une sorte de co-construction collective des savoirs au sein de la classe dans laquelle les élèves auraient une responsabilité essentielle.

C'est au cours de la seconde année d'IUFM qu'intervient réellement la formation professionnelle et, pour les professeurs stagiaires, ce qui prime avant tout autre chose, c'est la relation qui va s'établir avec la classe qu'ils ont en pleine responsabilité, la classe dans laquelle ils exercent leur métier d'enseignant. Arriver à faire que cette classe « tourne » est leur souci primordial et, comme nous l'avons vu, il n'est pas facile de développer avec les professeurs stagiaires une réflexion approfondie sur ce qu'est la vie réelle des mathématiques dans leur classe : lorsque cette classe tourne, il est difficile de questionner une sécurité, un confort fragiles et souvent difficilement gagnés et, lorsqu'elle ne tourne pas du tout, les professeurs stagiaires tendent à se focaliser sur les symptômes : les difficultés relationnelles, et ont beaucoup de difficultés à analyser comment leurs choix didactiques contribuent à renforcer les difficultés qu'ils rencontrent. Dans la formation professionnelle dispensée à l'IUFM, de plus, c'est le « transversal » qui devient de plus en plus dominant, et le temps laissé à une réflexion et un travail plus disciplinaires ne permet guère d'aller au-delà d'un accompagnement de cette première prise de fonction et d'une sensibilisation à des interrogations de nature didactique¹¹⁰.

Soutenir et accompagner pendant les premières années d'exercice ces premiers éléments de professionnalisation par une formation continue cohérente et solide, dès la sortie de l'IUFM, est donc absolument essentiel.

En particulier, sur les grands domaines classiques de l'enseignement des mathématiques, il est essentiel de travailler de façon approfondie sur les enjeux globaux de l'enseignement, sur la progression des apprentissages sur le long terme, sur les moyens de renforcer la cohérence et la structuration des enseignements au fil de la scolarité, ainsi que sur l'articulation efficace du travail dans les différents domaines. Préoccupés essentiellement par la classe qu'ils ont en responsabilité dans la seconde année d'IUFM, les PLC2 sont généralement peu sensibles à cette catégorie de questions. Des recherches comme celle menée par A. Lenfant (Lenfant, 2002) sur le développement des compétences professionnelles en algèbre chez de tels enseignants débutants mettent en évidence la difficulté que la plupart rencontrent à dépasser un regard très local sur leur enseignement pendant une bonne partie de cette première année d'enseignement et les limites de l'efficacité du travail mené en formation sur ces questions à un moment où leur expérience d'enseignant est aussi réduite.

De plus, même si les enseignants débutants ayant obtenu le CAPES ou l'agrégation ont une culture mathématique relativement solide dans les domaines classiques aujourd'hui, il ne leur est pas forcément aisé de voir comment cette culture mathématique peut les outiller professionnellement. Ils ont travaillé à l'université avec des manuels universitaires. En tant qu'enseignants, leur outil essentiel devient très vite le manuel scolaire qu'ils ont d'ailleurs appris à fréquenter pendant la préparation des épreuves orales du CAPES. Vu les

¹¹⁰ A titre d'exemple, prenons un domaine comme celui de l'algèbre. Dans le cadre institutionnel actuel, on ne peut consacrer à la réflexion épistémologique sur ce domaine, à celle sur les enjeux de son enseignement et leur évolution au fil de la scolarité, à la construction de tâches représentatives de ces enjeux et leur organisation en progression cohérentes, à l'analyse de séances effectives organisées par les PLC2, à celle des difficultés rencontrées par les élèves et à leurs prises en charge possibles... qu'un temps très limité, conduisant au mieux à une bonne sensibilisation aux questions posées par l'enseignement de l'algèbre.

caractéristiques de ces manuels et l'indigence des livres du maître associés¹¹¹, il est clair que le travail qui reste à la charge des enseignants pour établir les ponts nécessaires et percevoir ce qui dans des connaissances de niveau n peut aider à penser l'enseignement au niveau n-p, est énorme. Les recherches en didactique sur les enseignants qui se sont développées ces dernières années montrent clairement qu'il est rarement fait spontanément. Ce sont les manuels qui tendent à devenir la référence essentielle et c'est à la culture mathématique offerte par ces manuels que la culture de nombreux enseignants tend progressivement à se réduire¹¹². Il existe certes une littérature intermédiaire, notamment celle développée par les IREM ou par l'APMEP, mais elle reste trop éclatée et surtout d'une diffusion trop limitée pour être efficace à grande échelle.

La formation professionnelle des jeunes enseignants ne saurait bien sûr se limiter à ces éléments qui concernent essentiellement l'élaboration des organisations mathématiques (Chevallard, 1999). Elle concerne aussi l'élaboration et la gestion des organisations didactiques qui vont permettre à ces organisations mathématiques de vivre dans la classe. Mais les problèmes de formation concernant ces dernières nous semblent largement dépasser le seul cadre de la consolidation de la formation professionnelle des enseignants débutants. C'est pourquoi nous leur associons un paragraphe spécifique.

6 Aider les enseignants à mettre en place des organisations didactiques adaptées

Depuis près de quinze ans, il est demandé aux enseignants de s'adapter à une approche de l'apprentissage fondée sur des conceptions socio-constructivistes, approche qui se traduit dans les textes officiels par un certain nombre d'injonctions : réduction de la partie cours, introduction du travail sur un thème par des activités, avancée du texte du savoir en s'appuyant sur les productions des élèves... Les travaux de recherche menés, tant en France qu'à l'étranger, mettent bien en évidence l'expertise mathématique et didactique requise pour faire vivre efficacement de telles pratiques. Expertise mathématique et didactique car il ne s'agit pas seulement de produire une organisation cohérente du savoir mais des tâches : activités, exercices, problèmes, qui permettront de donner aux élèves le maximum de responsabilité possible dans la construction de ce savoir. Il s'agit donc aussi de pouvoir faire face à l'incertitude résultant pour l'enseignant de ce transfert de responsabilité, de saisir les germes possibles de savoir dans telle ou telle production d'élèves, de savoir reconnaître la pertinence ou l'intérêt face au projet d'enseignement de telle ou telle production et de parvenir à l'exploiter. Enfin, sans se laisser piéger par une utopie qui consisterait à croire que l'élève, dans les conditions institutionnelles de l'école, peut redécouvrir de façon autonome l'ensemble des savoirs mathématiques qu'il a à s'approprier, il faut savoir déterminer ce qui peut-être laissé à la responsabilité de l'élève, ce qui relèvera sans aucun doute de la responsabilité de l'enseignant, savoir comment aider l'élève à apprendre sans réduire la qualité de son travail mathématique.

Un tel projet est un projet très ambitieux. Il voudrait permettre de rompre avec une vision des mathématiques portée par la société où la culture mathématique apparaît comme une culture réservée par essence à une petite frange de la société. S'il n'est pas soutenu par une formation continue pensant, dans la durée, l'évolution des pratiques enseignantes et l'accroissement d'expertise requis, il ne peut aboutir. La tendance naturelle du système éducatif est en effet, face aux injonctions qu'il reçoit, de s'y adapter en surface. Ceci peut conduire à des situations

¹¹¹ On pourra de ce point de vue comparer les livres du maître associés aux manuels français et le livre du maître associé au manuel produit par nos collègues belges pour l'enseignement de l'analyse (AHA, 1999) et avec les livres du maître de certains manuels du primaire en France.

¹¹² On pourra sur ce point consulter par exemple l'étude de la DEP (1997) et la thèse de C. Ben Salah (2001).

d'enseignement qui offrent une apparence d'interactivité, de co-construction des savoirs, mais où l'activité mathématique réelle des élèves est souvent pauvre à la fois en quantité, car les pratiques développées sont chronophages, et en qualité car, dans la répartition des rôles, c'est l'enseignant qui assume les tâches mathématiques nobles, l'élève en étant réduit à des tâches d'exécution locale dont la cohérence globale lui échappe¹¹³. De plus, le travail nécessaire d'institutionnalisation et de structuration des savoirs a du mal à se déployer, et ce d'autant plus qu'il est aujourd'hui insuffisamment aidé par les ressources privilégiées des enseignants que sont les manuels.

Enfin, comme nous l'avons souligné aussi dans l'introduction, la multiplicité des dispositifs d'enseignements coexistant aujourd'hui au sein de l'école pour un même élève complexifie la tâche des enseignants. Chacun de ces dispositifs, qu'il s'agisse de l'enseignement en classe entière, des séances en demi-groupes, des heures d'aide plus individualisée, des moments d'encadrement de projets comme les TPE au lycée et les itinéraires de découverte au collège, a des objectifs spécifiques, requiert des formes d'interaction différentes avec les élèves pour remplir ces objectifs mais, au-delà des ambitions générales affichées, le discours de l'institution reste flou. L'enseignant est très peu armé pour faire face à la multiplication des dispositifs et faire en sorte qu'elle serve effectivement l'enseignement des mathématiques. Dans un paysage on ne peut plus mouvant de ce point de vue, le support de la formation continue est essentiel. Encore faut-il que cette formation continue ait des choses pertinentes à faire entendre. Ceci est bien moins facile que pour les besoins de formation évoqués jusqu'ici. La mise en place des nouveaux dispositifs d'enseignement est, certes, généralement précédée d'expérimentations locales permettant quelques ajustements, mais elle apparaît trop souvent comme un coup de force de l'institution¹¹⁴. Même si les intentions sont compréhensibles et louables, rien ne garantit a priori l'efficacité des nouveautés introduites et les quelques expérimentations préliminaires, souvent très superficiellement analysées, sont impuissantes à permettre de prédire quelle sera la vie réelle dans l'institution scolaire des dispositifs introduits, quelles peuvent en être les dérives et comment l'on pourrait les prévenir. Ceci pose la question des rapports entre formation continue et recherche sur laquelle nous reviendrons ultérieurement.

7. Réfléchir sur les questions d'évaluation et d'orientation

Les questions d'évaluation et d'orientation sont essentielles par l'influence qu'elles ont sur le fonctionnement du système éducatif et sur ses effets. Dans ce domaine plus encore que dans d'autres, il est difficile de mettre à distance les pesanteurs idéologiques pour conduire la

¹¹³ Les difficultés rencontrées par les enseignants pour faire vivre de telles approches dans leurs classes et les conséquences de ces difficultés ne sont pas spécifiques à la France. Elles sont universellement constatées et sont à l'origine de nombreux travaux récents visant à mieux comprendre les pratiques des enseignants et leurs déterminants, à mieux identifier le coût des changements de pratiques souhaités et à s'interroger sur les conditions de viabilité des pratiques préconisées, à penser enfin des stratégies de formation permettant de soutenir des évolutions réelles et réalistes à la fois. Dans son livre comparant les connaissances et pratiques d'enseignants chinois et US d'école élémentaire, L. Ma (Ma, 1999) souligne à juste titre que, si l'on ne se limite pas à des traits de surface, l'activité mathématique développée dans les classes chinoises qu'elle a observées, la nature profonde des interactions entre maîtres et élèves, sont relativement proches, malgré la structure traditionnelle de ces classes, de celles observées dans des classes expérimentales associées à certaines recherches aux USA. En revanche, elle souligne les différences existantes avec de nombreuses classes observées aux USA dont l'organisation est en apparence identique à celle des classes expérimentales (recherche, travail en groupes, discussions collectives orchestrées par l'enseignant...).

¹¹⁴ Le cas des TPE au lycée et, plus récemment, des Itinéraires de Découverte au collège, sans remettre en cause l'intérêt de ce type de travail, est particulièrement illustratif. Nous payons ici très certainement le prix d'une culture qui conçoit les réformes suivant un processus mis en place du sommet vers la base et d'un système d'éducation où les réformes, quand elles sont mises en place, le sont au niveau du pays tout entier.

réflexion et la seule expérience enseignante ne semble pas suffire à assurer une vision adéquate. Il est donc important que la formation continue les prenne sérieusement en charge.

En ce qui concerne l'orientation, le cursus suivi par la plupart des enseignants de mathématiques est un cursus classique : lycée d'enseignement général suivi ou non de classes préparatoires et université. Il ne les rend pas sensibles à la diversité des orientations possibles, la diversité des rapports aux mathématiques suivant les filières, et tend à renforcer la vision dominante en France qui consiste à voir les filières distinctes de la filière générale, en particulier les filières professionnelles, comme des filières d'échec, celles où l'on se résout à aller quand les portes de la filière générale se ferment, et le rapport aux mathématiques qui est développé dans cette dernière comme le seul pertinent et utile. Même si elle ne peut prétendre résoudre à elle seule un tel problème, à la fois culturel et politique, il est essentiel que la formation initiale permette aux futurs enseignants de questionner ces représentations et que la formation continue prenne ensuite le relais.

En ce qui concerne l'évaluation, là encore les visions portées par la société sont loin d'être adéquates. Les étudiants entrent dans la profession enseignante convaincus que les évaluations qu'ils organisent dans leurs classes comme celles organisées par l'institution et extérieures à la classe ont les caractéristiques d'une mesure, et que l'on peut mesurer la connaissance d'un élève sur un domaine mathématique par une échelle linéaire comme on mesure la longueur d'un objet, de façon valide, précise et fiable à la fois. L'évaluation écrite en temps limité leur semble le meilleur mode d'évaluation et le seul à présenter les garanties d'objectivité requises d'une évaluation, et ce, quelle que soit la nature des compétences à évaluer. Enfin, ils ne sont pas assez sensibles au rôle que jouent au quotidien, dans la classe, les évaluations dans la négociation du contrat didactique, dans l'établissement de normes et de valeurs générales et disciplinaires, pertinentes ou non. La formation continue doit aider les enseignants à questionner ces représentations. Elle doit leur apprendre à analyser de façon critique les grandes comparaisons internationales (PISA, TIMSS...) ¹¹⁵ et les interprétations souvent hâtives que l'on trouve dans la presse de leurs résultats, mais aussi leur apprendre à exploiter et tirer parti des bases de données qu'elles fournissent, comme de celles fournies par les évaluations de la DEP et de l'APMEP. Enfin, il serait bon que la formation continue contribue à sensibiliser les enseignants, au delà de l'évaluation des seuls élèves, aux questions posées plus généralement par l'évaluation des formations, des établissements et des systèmes éducatifs.

III Comment satisfaire ces besoins de formation ?

Les besoins que nous avons mentionnés jusqu'ici ne sont pas tous de même nature et ils ne nécessitent pas une prise en charge uniforme. C'est sur ce point que nous souhaiterions insister dans cette partie.

Certains besoins sont sans aucun doute gérables via des actions ponctuelles comme celles offertes par la formation continue aujourd'hui, au moins pour les enseignants dont la formation initiale est suffisamment solide : stages de quelques jours, pendant l'année scolaire, universités d'été ou d'automne hors temps scolaire officiel, journées d'information et séminaires. Citons par exemple la réflexion sur des évolutions curriculaires sans grande ampleur, sur les questions de cohérence régionale et globale de l'enseignement, d'articulation

¹¹⁵ TIMSS : Third International Mathematics and Sciences Study (<http://nces.ed.gov>), PISA : OECD Program for International Student Assessment (<http://www.pisa.oecd.org>)

entre cycles et niveaux d'enseignements, d'enrichissement de la culture mathématique et scientifique des enseignants, par exemple.

D'autres nécessitent des formations plus lourdes. C'est le cas, nous semble-t-il, pour un domaine comme celui de la statistique, domaine mathématique dont les contenus et les modes de pensée sont étrangers à beaucoup d'enseignants. Et c'est d'autant plus nécessaire que l'on demande aux enseignants de mettre en place une initiation à ce domaine, à un moment où une théorisation est encore inaccessible. Si l'on veut éviter l'aplatissement de cet enseignement sur quelques recettes de calcul et de traitement, sans réelle valeur scientifique, il importe que les enseignants puissent voir dans ce qu'ils enseignent, les premiers pas vers une pensée statistique avec laquelle ils ont construit eux-mêmes une certaine familiarité, et qu'ils sachent gérer ces premiers pas en cohérence avec cette pensée. Les stages actuels de quelques jours où l'on doit prendre en charge, pour répondre à la demande légitime des participants, à la fois une initiation mathématique à la statistique, une étude des programmes et des choix sous-jacents, les questions que pose la mise en œuvre de ces programmes : construction de progressions, présentation et analyse de situations d'enseignement associées, analyse des ressources existantes (manuels, publications IREM et autres, sites Internet...), une familiarisation avec les outils de simulation et de calcul statistique et la réflexion sur leur intégration à l'enseignement... ne permettent d'aborder ces questions que de façon superficielle. Si l'on veut éviter les dérives prévisibles de cet enseignement, compte tenu de la culture actuelle de la majorité des enseignants, il est important d'aller au-delà des dispositifs actuels. Ceci pourrait se faire par exemple en ouvrant des cycles de formation avec différents niveaux de stages ou en ouvrant des modules universitaires d'enseignement plus conséquents, pensés bien sûr en fonction des besoins des enseignants.

Dans les domaines où la formation vise à faire évoluer les pratiques mathématiques, elle doit aussi s'inscrire nécessairement dans la durée et en s'adaptant progressivement à l'évolution des expertises. Là encore, on peut sans doute concevoir une formation progressive en cycles et l'appui de formations universitaires en didactique plus lourdes, mais il nous semble que cette évolution ne peut se faire au seul niveau des pratiques individuelles de chaque enseignant. On sait bien le poids qu'exercent l'institution, la culture de l'établissement, sur l'action et les représentations des enseignants pris individuellement. Nous avons souligné l'accroissement d'incertitude pour l'enseignant résultant de transferts de responsabilité mathématique vers l'élève, les difficiles problèmes de gestion du temps auxquels il doit faire face dès qu'il s'autorise des pratiques donnant du temps à l'élève. Il est difficile de penser qu'une évolution substantielle puisse avoir lieu sur la simple base des bonnes volontés individuelles, sans une évolution substantielle de la vie des établissements. Il faut notamment que la notion d'équipe pédagogique prenne réellement un sens, que les enseignants disposent de lieux et de plages horaires pour travailler ensemble sur leurs pratiques, pour échanger et tirer parti de leurs expertises mutuelles diverses, que les classes ne restent pas des lieux fermés mais soient ouvertes à l'observation mutuelle, au travail collaboratif. Le métier d'enseignant reste en France un métier très « individualiste », contrairement à ce qui se passe dans de nombreux pays, et ceci rend sans aucun doute beaucoup plus difficiles des évolutions qui ont besoin du jeu collectif pour être d'un coût raisonnable¹¹⁶.

La question de la prise en compte de l'évolution technologique se pose dans des termes voisins. La formation continue, sous ses formes classiques, est de peu d'effet si l'enseignant se retrouve ensuite sans appui dans son établissement, sans projet collectif pour supporter son

¹¹⁶ Le livre de Liping Ma déjà cité mais aussi diverses comparaisons internationales comme celles menées dans le cadre de TIMSS, montrent bien les diversités existant à ce niveau et le rôle que jouent la réflexion, le travail collectif, voire les observations mutuelles de classes, dans le développement des compétences professionnelles des enseignants dans divers pays, notamment le Japon et la Chine.

action individuelle. C'est pour pallier ce type de difficulté que l'IREM de Montpellier a mis en place un dispositif spécifique : le SFODEM¹¹⁷, où les enseignants ayant suivi une première formation aux TICE peuvent ensuite continuer à travailler de façon collaborative, sur des thèmes précis, au sein d'un réseau de formation essentiellement à distance, avec l'aide de tuteurs.

Ce qui précède montre bien, nous semble-t-il, l'importance de penser non seulement les formations mais aussi l'accompagnement de ces formations sur le terrain si l'on veut qu'elles aient des effets dans la durée. Aujourd'hui, les moyens technologiques permettent une gestion partiellement à distance de ces accompagnements. Ils nous permettent aussi de penser à la constitution de réseaux de travail collaboratif, qui permettent de rompre avec une culture individualiste, de plus en plus inadaptée aux défis que l'Ecole a à relever, et d'élargir les collaborations au-delà de la seule échelle d'un établissement. La formation continue doit, plus qu'elle ne l'a fait jusqu'ici, s'appuyer sur les potentialités offertes par l'évolution technologique, pour dépasser certaines de ses limites actuelles. Il ne faut cependant pas penser qu'il suffit de disposer de ces technologies pour que l'évolution souhaitée se produise. Les premières leçons tirées par exemple de l'expérience du SFODEM montrent que les groupes doivent rester d'une taille raisonnable (environ 20 personnes), que l'accompagnement nécessite des tuteurs compétents et doit être solidement organisé pour que les interactions aient réellement lieu et soient efficaces. Une nouvelle culture de travail est à mettre en place et une formation continue, repensée, est pour cela essentielle.

IV. La situation actuelle et ses insuffisances

1. L'inadaptation de la formation continue existante aux besoins

Nous avons insisté dans ce qui précède sur la nécessité de formations s'inscrivant dans la durée. Nous avons souligné aussi la dimension disciplinaire nécessaire des formations même si les questions posées sont de nature apparemment transversale, et la nécessité enfin de penser l'accompagnement sur le terrain de cette formation. De ces trois points de vue, la situation actuelle est fortement insatisfaisante.

Il serait illusoire de vouloir présenter l'organisation de la formation continue des enseignants de mathématiques comme l'a été, dans ce rapport, la formation initiale des enseignants du premier et du second degré. En dépit de l'existence de textes officiels (cf. le BO n°46 du 23 décembre 1999), l'organisation de cette formation est éminemment variable d'une académie à l'autre, en fonction notamment des rapports existant entre les principales institutions impliquées : les rectorats et les IUFM. Les systèmes de décision, l'offre de formation, les critères d'acceptation des candidatures enseignantes, comme les budgets, varient fortement d'une académie à l'autre (à titre indicatif, nous présentons en annexe la situation dans une académie : celle de Créteil).

La formation continue des enseignants comporte un volet national mais est essentiellement gérée au niveau académique. Au niveau national, la formation est organisée via le PNP (plan national de pilotage) qui propose des séminaires nationaux et universités d'été, et a pour objectif principal l'accompagnement des réformes. Le premier dispositif ne concerne qu'un petit nombre d'enseignants : un ou deux représentants par académie désignés par le recteur. Les universités d'été, organisées pendant les vacances scolaires, font l'objet d'un appel d'offre annuel et peuvent, elles, toucher davantage d'enseignants. Mais il faut souligner que

¹¹⁷ SFODEM : Suivi de formation à distance pour les enseignants de mathématiques. On pourra se référer au rapport concernant cette expérience publié par l'IREM de Montpellier (Guin, Joab, Trouche, 2003).

d'une part le nombre de ces universités a fortement décru, d'autre part la priorité est de plus en plus donnée à des thématiques transversales. Au niveau académique, la formation continue est organisée essentiellement via le PAF (plan académique de formation). Le recteur en est le responsable et l'IUFM en est le maître d'œuvre. Le recteur établit chaque année un cahier de charges pour le PAF, en prenant en compte les priorités nationales et les besoins spécifiques recensés dans l'académie. Ce cahier de charges doit, selon les textes officiels, définir des priorités, fixer les objectifs à atteindre et déterminer les modalités et critères de l'évaluation ultérieure sans entrer dans les détails relevant de l'opérateur. L'IUFM est le maître d'œuvre de la formation et doit, à ce titre, selon les textes, mobiliser l'ensemble des ressources en formation de l'académie afin d'élaborer une offre de formation diversifiée et cohérente, répondant au cahier de charges. L'offre de formation ainsi conçue est ensuite transmise au recteur et la mise en forme finale du plan de formation des personnels du second degré, sa publication et sa diffusion relèvent de sa responsabilité.

Ce schéma, comme nous l'avons souligné plus haut, donne lieu à des fonctionnements divers suivant les académies, mais souvent marqués par la non transparence, par exemple en ce qui concerne l'identification des besoins ou l'élaboration du PAF lui-même.

Précisons enfin qu'outre les actions de formation continue proposées aux enseignants dans le cadre du PAF sont aussi organisées des formations sur site, à la demande de groupes d'enseignants et d'établissements et, à l'initiative de l'inspection pédagogique régionale, des journées d'animation, en particulier pour présenter les changements curriculaires aux enseignants.

Il existe en fait deux types principaux de formations académiques :

Les stages « sans candidature » ou encore à public désigné, déclenchés par les IPR. Ces stages peuvent toucher une ou deux personnes par établissement. Il s'agit alors de stages d'information et d'échanges plus que de formations. Dans la plupart des cas, ils ne sauraient suffire à répondre aux besoins réels de formation, même si l'on excepte les problèmes liés à la diffusion de l'information quand seuls quelques enseignants sont concernés. Ils peuvent aussi concerner l'ensemble des enseignants d'une catégorie (par exemple l'accompagnement d'enseignants connaissant de nouvelles situations d'exercice). Une mention particulière s'impose pour les formations d'accompagnement à l'entrée dans le métier qui se généralisent maintenant pour les néo-titulaires de première et de deuxième année (cf. la circulaire ministérielle sur « l'accompagnement dans l'entrée dans le métier des enseignants » de mars 2002). Il est sans doute trop tôt pour dresser un bilan de ces formations qui commencent juste à se mettre en place. Convenablement gérées, elles devraient aider les nouveaux enseignants, en particulier ceux qui se trouvent dans des conditions d'enseignement difficiles (ce qui, dans certaines académies est le cas général) à faire face, de façon moins isolée, aux difficultés qu'ils rencontrent et à apprendre à mutualiser leurs ressources ; elle devraient aussi enrichir une formation initiale très limitée sur le plan professionnel et créer un rapport adéquat à la formation continue. Lorsque de telles formations se sont mises en place il y a plusieurs années déjà, comme dans l'académie de Strasbourg, elles ont aussi permis, semble-t-il, de constituer des groupes de jeunes enseignants motivés qui rejoignent progressivement les rangs des formateurs. Il n'est pas sûr que les choix effectués aujourd'hui assurent des effets analogues. Dans certaines académies, ils font en effet craindre une atomisation de cette formation en une multiplicité d'actions peu coordonnées (à l'image de la formation continue existante) et, sous couvert d'aider les néo-titulaires à faire face à des situations difficiles, une primauté donnée à des formations transversales au détriment de la réflexion nécessaire sur la discipline et son enseignement.

Les stages à candidature individuelle. Les formations majoritairement proposées dans les plans académiques de formation dans ce cadre sont, soit des formations qualifiantes effectuées hors service ou dans le cadre de congés formation (préparation aux concours internes, spécifiques, réservés..., formations universitaires (DU, DESS, DEA) parfois intégrées au PAF), soit des formations de courte durée, de 12h à 18h en général¹¹⁸. Malgré l'incitation des textes officiels, ces dernières sont très rarement organisées en cycles permettant une progression. On aboutit ainsi à un système de formation très morcelé et de ce fait mal adapté pour faire face aux besoins lourds que nous avons identifiés plus haut. De plus, les entrées transversales tendent, dans un certain nombre d'académies, à prendre le pas sur les entrées disciplinaires et la synergie qui nous semble nécessaire entre disciplinaire et transversal fonctionne peu. Des formations du type « apprendre à apprendre » se multiplient ainsi dans certaines académies, sans qu'il y ait une réflexion approfondie sur le fonctionnement et la construction des connaissances dans chaque discipline pour penser les convergences éventuelles. Enfin, pour des raisons de moyens ou de politique de formation, les formations disciplinaires qui subsistent tendent souvent à se concentrer sur l'accompagnement strict des nouveautés dans les programmes et les dispositifs d'enseignement, en visant la réponse aux besoins les plus urgents et l'utilité à court terme.

L'organisation des plans académiques de formation

L'organisation des plans académiques de formation a été profondément perturbée par les transferts de responsabilité entre rectorats et IUFM. Le système est devenu particulièrement lourd et confus, perdant dans le transfert une bonne partie de sa mémoire. Aujourd'hui, dans les navettes successives entre rectorat et IUFM, il arrive que des décisions soient prises par des personnes peu au courant des enjeux réels de la formation et de la qualité des prestations fournies par telle ou telle institution. Dans un certain nombre d'académies, les IREM se sont vus marginalisés dans leur contribution à la formation continue en tant qu'institution, et les moyens dont ils disposaient pour mettre en place de nouvelles formations et produire les ressources associées ont été drastiquement réduits. Les formations sont rémunérées sur la base du temps strict passé en présence des stagiaires, ce qui rend difficile la mise en place des systèmes d'accompagnement mentionnés ci-dessus.

À ceci s'est ajoutée la perturbation introduite par le passage du PAF du format papier au format CDROM, voire à la consultation et inscription via Internet ou le Minitel, avec une structuration de l'offre souvent modifiée, sans explications suffisantes. En 2001-2002, enfin, l'introduction du système de gestion GAIA a fait de la moindre inscription à un stage un véritable parcours du combattant, sans compter les problèmes que cela a occasionné dans la gestion pratique des formations, du fait des blocages répétés du système dus à une ergonomie désastreuse. Si l'on ajoute à cela, la durée restreinte du temps des inscriptions (moins d'un mois, en juin, à un moment où les enseignants ne connaissent pas encore les classes qu'ils auront l'année suivante, dans une période peu propice d'examens, ou, en septembre à la rentrée des classes, période aussi peu propice) et le fait qu'un certain nombre de chefs d'établissements évitent de faire une publicité excessive au PAF car ils préfèrent avoir des enseignants devant leurs élèves que des enseignants en stage, on comprendra que le système, tant dans ses choix stratégiques que dans ses modes de fonctionnement est profondément inadapté.

¹¹⁸ Ces formations peuvent, elles, être prises sur le temps de service des enseignants, et un enseignant peut ainsi suivre, si sa candidature est retenue et s'il a l'accord de son chef d'établissement, deux stages de courte durée par an.

Avec une telle organisation, il n'est pas étonnant que la formation, dans la majorité des cas, ne touche qu'un petit pourcentage de la population enseignante. Ce sont les mêmes enseignants, particulièrement motivés et pour lesquels les chefs d'établissements, conscients de l'importance de la formation continue, ne font pas barrage, que l'on retrouve année après année dans les stages proposés au PAF sans public désigné. Et paradoxalement, les universités d'été ou d'automne, se déroulant hors temps scolaire et permettant un travail consistant hors toutes contraintes d'enseignement, ont vu leur nombre progressivement réduit de façon drastique. Il est clair que, de ce point de vue, la situation ne pourra progresser si le droit et le devoir de formation continue des enseignants ne sont pas clairement reconnus et affirmés. Pour ceci, il serait nécessaire que soit mis en place un système de crédit formation portant sur l'ensemble de la carrière.

2. Une liaison insuffisante entre formation et recherche

Tout comme cela a été souligné à propos de la formation initiale de deuxième année, une formation continue de qualité doit nécessairement s'appuyer sur la recherche. Elle doit d'une part s'appuyer sur les travaux de recherche existants, menés indépendamment d'elle, mais elle suscite aussi elle-même des besoins de recherche spécifique auquel il faut pouvoir répondre. Aujourd'hui, sur ces deux plans, la situation n'est pas satisfaisante.

La formation continue ne s'appuie que de façon marginale sur les acquis de la recherche dans les sciences de l'éducation et en didactique, et ne profite pas du développement important de ces secteurs de recherche sur les vingt dernières années. Le mode de recrutement des formateurs et l'absence d'une réelle politique de formation de formateurs (cf. le rapport Caspar de mai 2002) sur lesquels nous reviendrons dans le paragraphe suivant ont sans doute une part de responsabilité dans cette situation. Mais les difficultés rencontrées à faire interagir recherche sur l'enseignement et formation ont aussi des raisons moins conjoncturelles. Comme dans tous les domaines, rendre les résultats de la recherche fondamentale sur l'enseignement exploitables en formation nécessite un travail important de transposition. Dans le cas de l'enseignement, l'importance et la difficulté de ce travail ont été singulièrement sous-estimés par l'institution et souvent par les chercheurs eux-mêmes. Il en résulte des vulgarisations peu contrôlées, généralisant abusivement des résultats locaux, ou tendant à transformer en normes éducatives des outils d'abord conçus comme des outils d'analyse et de questionnement des processus d'enseignement et d'apprentissage.

Un réel effort s'impose si l'on veut que les acquis de la recherche servent réellement la formation continue, comme le montre par exemple la réflexion développée dans (Cooney et Krainer, 1996) ou (Jaworsky, 1998). Cela suppose que l'on s'interroge sur la façon dont des savoirs théoriques peuvent soutenir le développement des compétences professionnelles des enseignants. Ceci suppose aussi que l'on s'interroge sur la distance qui sépare souvent les propositions pour l'enseignement issues de la recherche des pratiques réelles, même expertes et sur le coût des évolutions souhaitées par l'institution. Une thèse comme celle d'E. Roditi, par exemple, montre particulièrement bien sur un domaine précis : celui de la multiplication des nombres décimaux, la distance qui sépare les ingénieries conçues par des chercheurs comme G. et N. Brousseau (Brousseau G. et N., 1989) ou R. Douady (Douady, 1984) et les stratégies d'enseignement des enseignants chevronnés. Elle nous aide à comprendre les cohérences et logiques qui sous-tendent le fonctionnement de tels enseignants, les raisons d'être des similarités observées, mais aussi à mesurer la diversité des pratiques existantes relativement à un même objet, chez des enseignants utilisant pourtant le même manuel. Des recherches comme celles-ci nous semblent absolument nécessaires pour organiser de façon plus efficace les rapports entre recherche et formation continue, penser des rapports réalistes et productifs entre recherche et pratique.

Les difficultés que nous avons pointées ci-dessus sont réelles et doivent être sérieusement prises en compte, mais il serait très dangereux, nous semble-t-il, d'en tirer argument pour prôner les seules vertus de la pratique et de l'expérience, en s'affranchissant de la nécessité d'articuler formation et recherche, en minimisant l'intérêt que présentent les savoirs élaborés par les recherches, tant en didactique des mathématiques qu'en sciences de l'éducation, pour l'enseignement et la formation. Pour certains encore, la maîtrise d'un certain nombre de savoirs disciplinaires doit être le but essentiel sinon unique de la formation initiale comme continue, le reste étant une affaire de don ou finissant bien par s'apprendre sur le tas. La formation continue doit permettre de s'inscrire en faux contre une vision aussi simpliste de la professionnalité enseignante et de la façon dont elle se construit. Elle devrait permettre aux enseignants de rencontrer les savoirs didactiques qui ont été progressivement élaborés au cours des vingt dernières années et de les mettre au service de leur métier d'enseignant.

Mais les acquis de la recherche, même s'ils sont convenablement exploités en formation, ne sauraient suffire à faire face à tous les besoins que celle-ci suscite. En particulier, l'évolution des conditions d'enseignement comme l'évolution des nouveaux dispositifs renouvelle sans cesse les questions auxquelles la formation doit répondre. C'est le cas par exemple avec les divers dispositifs d'enseignement mis en place, qu'ils visent à aider l'étude de l'élève ou à favoriser l'interdisciplinarité. Même si la recherche s'intéresse actuellement à ces questions et a obtenu quelques résultats, ces derniers restent encore très locaux. Et le temps nécessaire au développement d'une recherche de qualité est incompatible avec la nécessité de répondre immédiatement aux besoins que rencontre la formation. Il faut pouvoir aider, accompagner dès le départ, les enseignants qui ont à gérer ces dispositifs, à partir des ressources existantes, des leçons tirées du fonctionnement et dysfonctionnement de dispositifs proches, des données qui sont progressivement fournies par l'observation et l'analyse de réalisations effectives. Il y a là, sans aucun doute, de nouvelles formes d'interaction entre recherche et formation plus souples que celles traditionnellement existantes, à mettre en place et il est regrettable que le système n'exploite pas mieux qu'il ne fait la structure des IREM qui, institutions à l'interface de la recherche et de la formation, organisées en réseau national, devraient être le terrain privilégié de développement de ces nouvelles formes d'interaction.

3. La formation des formateurs

Améliorer la formation continue des enseignants de mathématiques, compte tenu de ce qui précède, ne peut se faire sans développer une véritable politique de formation de formateurs, comme cela a déjà été souligné dans la partie de ce texte concernant la formation de deuxième année d'IUFM. Le rapport Caspar déjà cité plaide en ce sens, tout en reconnaissant les efforts entrepris par les IUFM, à travers les formations locales qu'ils développent, mais aussi les actions organisées régionalement, voire nationalement.

Comme le métier d'enseignant, le métier de formateur est lui aussi un vrai métier et il ne saurait se confondre avec ce dernier. Les tâches auxquelles a à faire face le formateur, en formation initiale et continue, qu'il s'agisse de l'accompagnement et du conseil, du développement de ressources ou de la formation proprement dite sur un sujet précis, requièrent une expertise spécifique par rapport à celle de l'enseignant.

Pour l'instant, les actions de formation de formateurs sont très souvent des actions ponctuelles permettant plus la diffusion d'informations, la sensibilisation à certaines questions ou approches, les échanges entre formateurs qu'une formation approfondie. Comme la formation continue, elles nous semblent aussi trop souvent centrées sur le transversal au détriment du disciplinaire. Les formateurs finalement se forment essentiellement sur le tas, en exerçant les tâches qui leur sont confiées par l'institution.

Il nous semble qu'aujourd'hui on doit aller plus loin, en organisant de façon plus systématique la formation des formateurs, en reconnaissant aussi institutionnellement les compétences professionnelles acquises par les formateurs. L'organisation de diplômes universitaires intégrant une validation des acquis professionnels et permettant des parcours personnalisés, en partenariat avec les IUFM, devrait faciliter cette organisation d'une formation professionnelle consistante et cohérente ainsi que sa reconnaissance. Une formation assurant notamment aux formateurs les connaissances en mathématiques, en épistémologie et histoire des mathématiques, en didactique, qu'il semble raisonnable d'attendre d'eux aujourd'hui, mais qui soit conçue comme une véritable formation professionnelle, c'est-à-dire une formation pensée en fonction du travail du formateur et non comme une formation universitaire académique.

Jusqu'à présent, les formations universitaires ouvertes aux formateurs étaient essentiellement des formations de DEA. Elles ne touchaient que les formateurs prêts à s'engager dans la recherche, soit une petite minorité. L'ouverture d'autres cursus directement centrés sur le métier montre qu'il existe une réelle demande chez les formateurs aujourd'hui (cf. par exemple le nombre très important de candidats ayant présenté leur candidature au DU de formation de formateurs d'enseignants de mathématiques ouvert à l'université de Versailles à cette rentrée). Il importe de se donner les moyens d'y répondre en créant par exemple des masters professionnels dans ce domaine.

V. Quelques propositions pour conclure

Quelles propositions faire à l'issue de cette réflexion sur la formation continue des enseignants de mathématiques du secondaire ? Les analyses qui précèdent tendent à montrer l'inadéquation profonde de la formation continue telle qu'elle existe aujourd'hui et appellent à une réforme en profondeur de l'édifice. Pour qu'une telle réforme soit utile, il nous semble qu'une prise de conscience et une volonté politique s'imposent, notamment sur les points suivants :

- Reconnaître la formation continue comme un droit mais aussi comme un devoir et savoir la valoriser.
- Reconnaître la nécessité d'organiser des formations d'une durée substantielle, au-delà de la seule préparation aux concours internes.
- Reconnaître que l'enseignant est un professionnel travaillant dans des situations ouvertes et incertaines, sans cesse renouvelées. La formation ne peut lui fournir des solutions clefs en main aux problèmes qu'il rencontre mais elle doit lui fournir les moyens d'analyse et les ressources lui permettant de s'adapter à ce type de situations pour aider efficacement ses élèves à apprendre.
- Reconnaître la nécessité d'articuler formation et recherche ainsi que le besoin de recherches spécifiques liées à la formation.
- Reconnaître les compétences existantes en matière de formation et les faire travailler en synergie.
- Reconnaître que le métier de formateur requiert des savoirs et compétences spécifiques qui ne se réduisent pas à ceux d'un enseignant expert.
- Reconnaître qu'une amélioration substantielle de l'enseignement des mathématiques nécessite aujourd'hui de rompre avec la vision individualiste qui prévaut et requiert une conception collaborative du travail des enseignants.
- Reconnaître les possibilités nouvelles offertes par les technologies informatiques en termes de ressources et de moyens de travail collaboratif et de formation à distance, et

se donner les moyens de les exploiter sans avoir la naïveté de croire qu'elles vont permettre une économie substantielle des moyens humains de formation.

Différentes mesures pourraient être envisagées pour exprimer la reconnaissance institutionnelle de ces conditions et la volonté de les satisfaire, par exemple :

- L'attribution à chaque enseignant d'un capital de formation continue (un an de formation pour dix ans d'exercice du métier par exemple) et l'élaboration dans ce cadre de parcours de formation continue pour les enseignants, permettant une valorisation de ces acquis professionnels.
- Une liaison plus forte de la formation aux institutions universitaires, notamment pour la mise en place de formations s'inscrivant dans la durée, articulées avec la recherche et pouvant donner lieu à validation dans le cadre de la capitalisation des acquis ou de diplômes spécifiques. Les IREM qui, dès leur création, ont eu l'ambition de lier étroitement formation continue et recherche, devraient constituer une interface privilégiée.
- Une meilleure coordination des différents acteurs et compétences dans la définition des plans académiques de formation, une évaluation plus sérieuse des besoins de formations impliquant les enseignants et associations, un assouplissement des modalités d'inscription.
- Un changement de l'équilibre de l'offre de formation actuellement trop centrée sur l'adaptation à court terme du système éducatif, une diversification des types de formation ouverts et de leurs durées, l'organisation de cycles de formation.
- Une réactivation des universités d'été et plus largement de formations de ce type qui permettent une formation intensive sur un thème donné, hors du temps scolaire et des contraintes qu'il exerce sur la formation.
- L'organisation de suivis de formation, notamment grâce aux moyens de communication à distance, le développement de formations continues à distance et de ressources en ligne ou sur cédéroms pour les formations et l'enseignement.
- Une répartition des moyens de la formation qui prenne en compte les travaux de recherche et production nécessaires au développement de nouvelles formations et le suivi des formés, au-delà du seul encadrement en présentiel.
- Une organisation de l'emploi du temps des enseignants dans les établissements scolaires incluant un réel travail en équipes, des locaux et des moyens pour ce travail, et permettant notamment une réelle mutualisation des ressources (cf. aussi les laboratoires de mathématiques).
- Une incitation forte au développement de formations des formateurs, reconnues par des diplômes universitaires et leur prise en compte dans l'organisation et la gestion de la formation continue.

Références :

Groupe AHA (eds) (1999). *Vers l'infini pas à pas. Approche heuristique de l'analyse. Guide méthodologique*. Bruxelles : De Boeck Editeur.

Altet M. (1994). *La formation professionnelle des enseignants*. Paris : PUF.

Artigue M. & Bühler M. (2002) Quelle place pour les mathématiques dans les TPE ? *Actes du colloque InterIREM de Dijon*, mai 2002 (à paraître).

Ben Salah Breigeat C. (2001). *Les connaissances de mathématiques des nouveaux enseignants de mathématiques du collège à l'épreuve du feu : une étude de cas*. Thèse de doctorat. Université Paris 7.

- Brousseau G. et Brousseau N. (1987). *Rationnels et décimaux dans la scolarité obligatoire*. IREM de Bordeaux.
- Caspar J. (2002). *La formation des formateurs en IUFM*. Rapport pour le Ministre de l'Éducation Nationale. <http://www.education.gouv.fr/rapport/caspar.pdf>
- Chevallard Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*. Vol. 19.2, 221-266.
- Comiti C. & Ball D. (1996). Preparing teachers to teach mathematics: a comparative perspective, in A.J. Bishop et al. (eds), *International Handbook of Mathematics Education*, 1123-1153. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Cooney T.J. et Krainer C. (1996). Inservice Mathematics Teacher Education: the importance of listening, in A.J. Bishop et al. (eds), *International Handbook of Mathematics Education*, 1155-1185. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- DEP (1997). *Pratiques pédagogiques de l'enseignement des mathématiques en sixième et progrès des élèves*. Paris : MEN.
- Douady R. (1984). *Dialectique outil / objet et jeux de cadres. Une réalisation sur tout l'enseignement primaire*. Thèse de doctorat d'état. Université Paris 7.
- Esmenjaud-Genestoux F. (2000). *Fonctionnement didactique du milieu culturel et familial dans la régulation des apprentissages scolaires en mathématiques*. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux 1
- Guin D., Joab M. & Trouche L. (2003). *Suivi de Formation à distance pour les enseignants de Mathématiques, bilan de la phase expérimentale*, cédérom, IREM de Montpellier.
- Jaworsky B. (1998). Mathematics teacher research : process, practice and the development of teaching. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 1(1), 3-31.
- Lenfant A. (2002). *De la position d'étudiant à la position d'enseignant : le développement de compétences professionnelles en algèbre chez des enseignants débutants*. Thèse de doctorat. Université Paris 7.
- Ma L. (1999). *Knowing and teaching elementary mathematics – Teachers' understanding of fundamental mathematics in China and the United States*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, USA.
- Paquay L., Altet M., Chartier E., Perrenoud P. (1996). *Former des enseignants professionnels. Quelles stratégies ? Quelles compétences ?* Bruxelles : De Boeck Editeur.
- Robert A. (2001). Pourquoi une étude de pratique en classe ? Comment la mener ? Que peut-on attendre des choix faits ? Quels manques ? In T. Assude et B. Grugeon (eds). *Actes du Séminaire National de Didactique des Mathématiques*. Année 2000, 87-116. IREM Paris 7.
- Roditi E. (2001). *L'enseignement de la multiplication des décimaux en sixième. Etude de pratiques ordinaires*. Thèse de doctorat. Université Paris 7.
- Shulman L. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, n°15, 4-14.

Annexe : organisation de la formation continue des enseignants du second degré en mathématiques dans l'académie de Créteil

L'académie de Créteil est une des trois académies de la région parisienne. Elle comporte 659 établissements du second degré : 338 collèges de l'enseignement public et 75 de l'enseignement privé, 3 E.R.E.A (établissements régionaux pour l'enseignement adapté), 124 lycées généraux et technologiques de l'enseignement public et 53 du privé, 44 lycées professionnels de l'enseignement public et 22 du privé, dont une proportion non négligeable d'établissements en zone sociale défavorisée. Il y a dans cette académie 3000 enseignants titulaires en mathématiques et 160 non titulaires (au 10 février 2003) : 74 contractuels, 26 vacataires et 60 maîtres auxiliaires. L'académie accueille chaque année de nombreux enseignants, souvent formés dans d'autres académies, qui y sont nommés pour leur premier poste sans l'avoir désiré, 2500 à 2700 toutes disciplines confondues depuis 3 ans dont environ 300 en mathématiques. Une de ses priorités est donc l'accompagnement des enseignants nouvellement nommés dans l'académie.

Les rapports en le rectorat et l'IUFM en ce qui concerne la formation continue sont réglés par un plan quadriennal de formation. Le plan prévoit notamment que :

« Pour conduire la conception du plan de formation, le recteur prend en compte les indications et informations fournies par les inspecteurs d'académie, directeurs des services départementaux de l'éducation nationale, le directeur des ressources humaines, les corps d'inspection, les chefs d'établissement et l'ensemble des personnels d'encadrement.

Il associe à cette démarche de conception le directeur de l'IUFM, les responsables de formation des universités et des formateurs.

Il consulte les organisations représentant les personnels et procède à l'ensemble des études, analyses et enquêtes nécessaires à la meilleure détermination des besoins et possibilités de formation. » (article 2)

et que :

« Pour permettre l'élaboration du plan de formation, le recteur établit un 'cahier des charges' qui explicite les objectifs majeurs de la politique de formation et fournit des indications précises sur les thèmes et contenus prioritaires, les types de publics concernés, les objectifs visés ainsi que sur les modalités d'organisation souhaitables dans la perspective de la meilleure compatibilité de la formation avec la continuité du service dû aux élèves. » (article 2).

De plus :

« Pour permettre la mise en œuvre des opérations d'analyse des besoins, d'élaboration du cahier des charges, de validation et de mise en forme du plan de formation et d'évaluation des formations, le recteur constitue auprès de lui une 'cellule opérationnelle formation'. Cette cellule est composée de personnes, possédant une expertise en matière d'organisation et de conseil en formation et remplissant des fonctions d'ingénierie de formation.

Cette cellule est pilotée et animée par le conseiller technique du recteur responsable de la formation des personnels. » (article 4)

Cette cellule travaille en liaison avec la Division de la formation, chargée de la gestion administrative des formations, et avec les instances compétentes de l'IUFM.

Le plan prévoit également que :

« Pour concevoir et mettre en œuvre un programme complet et pertinent de formation, l'IUFM s'appuie sur des instances opérationnelles. Dans cette perspective, le directeur de l'IUFM met en place, dans chaque discipline d'enseignement et grand domaine transversal de formation une "commission académique de formation" ; chaque commission a pour mission

de concevoir, élaborer, organiser et mettre en œuvre un ensemble cohérent d'actions de formation dans le domaine dont elle a la responsabilité, en prenant en compte les priorités nationales et académiques, les besoins constatés et analysés et le cahier de charges arrêté par le recteur (traduire le "cahier des charges" en "appel d'offre" et en mobilisation de ressources), mobiliser, développer et coordonner les différentes ressources de formation susceptibles d'apporter leur concours aux actions de formation dans le domaine concerné, conduire la préparation, la mise en œuvre et le suivi pédagogique des différentes actions relevant de son domaine, élaborer un bilan annuel des actions et opérations conduites dans son domaine. » (article 5)

Chaque commission académique de formation comprend, au minimum un enseignant chercheur des universités de rattachement, un enseignant chercheur de l'IUFM, un enseignant formateur de IUFM, un « professeur formateur associé » exerçant dans les établissements ou les écoles (cf. article 6), un enseignant conseiller pédagogique, un membre des corps d'inspection, un chef d'établissement. Sa composition est arrêtée annuellement par le directeur de l'IUFM, en accord avec le recteur.

Pour les mathématiques, la commission académique de formation de l'IUFM comprend actuellement 15 membres :

- trois personnes de l'IUFM : un enseignant de mathématiques, responsable de la commission, la présidente du collège de mathématiques et la personne responsable de la formation continue à l'IUFM,
- un IPR-IA de mathématiques¹¹⁹ et un IEN maths-sciences,
- les directrices des IREM Paris 7 et Paris Nord et un animateur IREM,
- deux enseignants chercheurs représentant des universités situées dans l'académie de Créteil,
- un principal de collège,
- trois enseignants de lycée et un enseignant de collège, formateurs académiques.

Le cahier de charges élaboré pour 2003-2004 et transmis à l'IUFM par la CAF (commission rectorale) est organisé autour de cinq grands axes¹²⁰ :

1. Compétences permettant une meilleure prise en charge pédagogique et éducative de tous les élèves.
2. Compétences liées au travail en équipe et à la démarche de projet.
3. Accompagnement de la prise de fonction des personnels débutants ou connaissant de nouvelles situations d'exercices.
4. Contribution au développement de l'usage des TICE en mathématiques.
5. Actualisation des connaissances dans une perspective de « professionnalisation ».

A chaque axe sont associées des propositions de modules, organisées suivant 17 dispositifs :

Axe 1 :

1. Organiser la cohérence des apprentissages en collège (2 modules de 18h et 2 modules de 15h – 6 sessions)
2. Organiser la cohérence des apprentissages en lycée voie générale et technologique (2 modules de 18h – 3 sessions)
3. Organiser la cohérence des apprentissages en lycée professionnel (un module de 18h)
4. Gérer l'hétérogénéité des élèves (5 modules de 18h et 1 module de 9h – 7 sessions)
5. Accompagner une démarche personnelle de l'élève (un module de 18h)

¹¹⁹ Un des deux IPR de mathématiques est membre de la commission académique de formation du rectorat et l'autre de la commission de formation de l'IUFM.

¹²⁰ Ces axes étaient, à de légères différences de formulation près, les mêmes en 2002-2003.

6. Accompagner l'élève dans le cadre de dispositifs favorisant la pluridisciplinarité (4 modules de 18h et 2 de 12h – 7 sessions)

Axe 2 :

7. Adapter ses pratiques d'enseignant(e) à la diversité des publics scolaires (4 modules de 18h, 1 de 12h et 1 de 24h – 8 sessions)

Axe 3 :

8. Préparer la prise en fonction puis accompagner les non titulaires (2 modules de 12h à public désigné – 4 sessions)
9. Adapter les acquis professionnels des stagiaires (2 modules de 36h à public désigné)
10. Accompagner l'entrée dans le métier (2 modules de 18h à public désigné – 7 sessions)

Axe 4 :

11. S'initier à la mise en œuvre des outils informatiques en mathématiques (6 modules de 18h – 20 sessions)
12. Réaliser des séquences en mathématiques avec l'outil informatique (3 modules de 18h et 1 module de 24h – 11 sessions)

Axe 5 :

13. Actualiser, compléter la formation initiale dans la perspective des nouveaux programmes de lycée (3 modules de 18h, 1 module de 12h et un de 9h – 12 sessions)
14. Associer culture et didactique (3 modules de 18h – 8 sessions)
15. Devenir professeur certifié de mathématiques (1 module de 250h et un module de 18h (préparation au concours réservé, examen professionnel))
16. Préparer le concours interne de l'agrégation (1 module de 150h et 1 module de 240h)
17. Préparer un diplôme supérieur ((1 module de 100h et 1 module de 75h).

Soulignons de plus qu'un effort significatif est fait dans l'académie pour mettre en oeuvre des actions pluridisciplinaires, via un système de clonage de stages dans différentes disciplines et donc de relier entre elles les différentes commissions de la formation continue.

Les stages sont également séparés en trois types suivant leur durée : type 1 (plus de 50 heures), type 2 (environ 30 heures), type 3 (de 6 à 18 heures).

En 2002-2003, un cahier de charges analogue a conduit, après sélection et prise en compte des candidatures, à l'ouverture de 70 stages gérés par les mathématiques. 1669 candidatures ont été déposées et 1206 retenues soit un pourcentage de 72,26%. On notera que l'académie de Créteil n'avait pas mis en place le système GAIA et qu'il n'y a pas eu l'effondrement du nombre de candidatures associé à cette mise en place constaté dans de nombreuses académies.

Le cahier de charge est remis à l'IUFM en novembre, les propositions de formation doivent être remises à la rentrée des vacances de Noël. Elles sont examinées par la commission IUFM en janvier et le projet de plan de formation est remis à la CAF à la mi-février. Après régulation entre la CAF et l'IUFM, le plan de formation est publié au mois de mai et une période est fixée pour les inscriptions (généralement moins d'un mois). Les inscriptions sont à nouveau réouvertes au début de la rentrée scolaire pour les nouveaux arrivants dans l'académie notamment.

La commission de mathématiques de l'IUFM se réunit quatre fois par an : une fois en début d'année, avant la publication du cahier de charges, notamment pour faire le point sur les inscriptions et les stages en cours, et examiner un avant projet de cahier de charges ; après la publication du cahier de charges pour l'étudier et mettre au point le formulaire de proposition qui sera adressé par l'IUFM aux institutions et formateurs, en janvier pour examiner les

propositions reçues et élaborer un premier projet de réponse, en juin pour faire un bilan des formations de l'année en cours, des réunions de régulation menées avec le rectorat sur le PAF de l'année à venir et des ouvertures / fermetures par rapport au projet initial.

Soulignons que les deux IREM de la région parisienne dont les directeurs sont membres de la commission depuis sa création participent de façon très importante à l'action de formation de l'académie. Ils le font par le nombre de formations qu'ils proposent mais aussi parce qu'ils sont des interlocuteurs privilégiés de l'IUFM lorsqu'il s'agit de mettre en place de nouvelles formations. Cela a été tout particulièrement le cas ces dernières années en ce qui concerne les statistiques, la théorie des graphes, les formations associées au nouveau programme optionnel de la série L, les TPE, la formation des neo-titulaires via l'analyse de pratiques. Les IREM, selon les cas, ont mis en place très vite des groupes de travail sur ces questions ou ont pu s'appuyer sur les résultats de travaux de recherche et d'innovation menés dans leur propre IREM ou au sein du réseau national des IREM, pour proposer des formations. C'est aussi le cas pour le PAF en préparation, par exemple en ce qui concerne les itinéraires de découverte. Des conventions existent entre les universités de rattachement des IREM, l'IUFM et le rectorat pour organiser sur une base contractuelle la participation des IREM à la formation continue. Il faut cependant regretter que les changements intervenus dans l'organisation de la formation continue aient privé les IREM de tout moyen contractuel académique pour faire fonctionner les groupes de travail et mener les recherches nécessaires au développement de nouvelles formations, ceci empêchant notamment les formateurs IREM dépendant de l'enseignement secondaire de bénéficier de décharges de service pour l'ensemble de leurs activités de recherche, formation et production de ressources pour l'enseignement et la formation.

Les IREM participent également à la formation des formateurs, un volet de la formation continue présent lui aussi dans le contrat quadriennal passé entre le rectorat et l'IUFM. L'article 6 reconnaît ainsi que :

« La qualité et l'efficacité de la formation professionnelle des enseignants dépend, pour une large part, de la richesse et de la diversité du potentiel des formateurs qui s'y consacrent et l'expérience montre qu'une des difficultés majeures dans le développement des politiques de formation consiste à mobiliser un nombre adapté de formateurs compétents, disponibles et porteurs des réponses correspondant aux besoins constatés. »

Un programme spécifique de formation ouvert à tous les formateurs de l'académie est élaboré par l'IUFM. Il comporte 14 journées dont un certain nombre sont disciplinaires, les thèmes annuels en étant discutés au sein de la commission de formation de l'IUFM. Les IREM sont régulièrement sollicités pour intervenir dans ces journées (formations sur l'enseignement et l'apprentissage de l'algèbre, sur l'analyse des pratiques enseignantes, sur histoire et épistémologie des mathématiques, sur intégration des TICE, sur probabilités et statistiques...)

Soulignons que la situation que nous venons de décrire est une situation particulière et n'a pas valeur de généralité. Les relations entre les différents partenaires de la formation continue ne sont pas partout de la même qualité, les modes de prise de décision sont souvent beaucoup plus opaques qu'ils ne le sont dans cette académie. La part respective du disciplinaire et du transversal est souvent beaucoup moins satisfaisante. Mais on voit bien aussi, comment en dépit de ces caractéristiques positives, la structure même imposée à la formation continue limite son efficacité.

Glossaire des sigles

APMEP Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public
BEP Brevet d'Etudes Professionnelles
BO ou BOEN Bulletin Officiel (de l'Education Nationale)
CAF Cellule Académique de Formation
CAFIPEMF Certificat d'Aptitude aux Fonctions de Professeur des Ecoles Maître Formateur
CAP Certificat d'Aptitude Professionnelle
CAPES Certificat d'Aptitude Pédagogique au Professorat de l'enseignement du Second degré
CAPLP ou CAPLP2 Certificat d'Aptitude au Professorat des Lycées Professionnels
CAPSAIS Certificat d'Aptitude aux Actions Pédagogiques Spécialisées de l'Adaptation et de l'Intégration Scolaire
CE Cours Élémentaire
CERPE Concours Externe de Recrutement de Professeurs des Ecoles
CM Cours Moyen
CNED Centre National d'Enseignement à Distance
COPIRELEM Commission Permanente des IREM sur l'Enseignement des Mathématiques à l'Ecole Primaire
CP Cours Préparatoire
CPAIEN Conseiller Pédagogique Associé à l'Inspection de l'Education Nationale
CRDP Centre Régional de Documentation Pédagogique
CREM Commission de Réflexion sur l'Enseignement des Mathématiques
DEA Diplôme d'Etudes Approfondies
DEP Direction de l'Evaluation et de la Prospective
DESS Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées
DEUG Diplôme d'Etudes Universitaires Générales
DU Diplôme d'Université
EPS Education Physique et Sportive
EREA Etablissements Régionaux pour l'Enseignement Adapté
ERMEL Equipe de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques à l'Ecole Élémentaire
ES (option de classe Terminale) Economique et Sociale
GAIA Gestion Académique Informatisée des Actions de formation
GEPS Groupe d'Experts des Programmes du Second degré
IEN Inspecteur de l'Education Nationale
INRP Institut National de la Recherche Pédagogique
IPES Institut Préparatoire à l'Enseignement du Second degré
IPR ou IPR-IA Inspecteur Pédagogique Régional (Inspecteur d'Académie)
IREDU Institut de Recherche sur l'Economie de l'Education
IREM Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques
IUFM Institut Universitaire de Formation des Maîtres
LMD Licence Master Doctorat
MIAS Mathématiques Informatique et Applications aux Sciences
PAF Plan Académique de Formation
PE 1,2 Professeur des Ecoles (de première ou deuxième année)
PEGC Professeur d'Enseignement Général des Collèges
PISA Program for International Student Assessment
PLC1,2 Professeur de Lycée et Collège (de première ou deuxième année)
PLP Professeur de Lycée Professionnel
PPCP Projets Pluridisciplinaires à Caractère Professionnel
REP Réseau d'Education Prioritaire

RESEIDA Recherches sur la Socialisation, l'Enseignement, les Inégalités et les Différenciations dans les Apprentissages
RLC (circuit) Résistor (de résistance R), Bobine (d'auto-inductance traditionnellement notée L), Condensateur (de capacité C)
S (option de Terminale) Scientifique
SFODEM Suivi de FOrmation à Distance pour les Enseignants de Mathématiques
SMAO Soutien Mathématique Assisté par Ordinateur
SNES Syndicat National des Enseignements de Second degré
TIC ou TICE Techniques de l'Information et de la Communication (appliquées à l'Enseignement)
TIMSS Third International Mathematics and Sciences Study
TPE Travaux Personnels Encadrés
ZEP Zone d'Education Prioritaire