

L'enseignement des mathématiques en relation avec les autres disciplines

CREM

Introduction

Les mathématiques occupent une place singulière dans le paysage scientifique. Cela tient, sans doute, au type d'objets étudiés par les mathématiciens ; mais la physique moderne atténue cette distinction : un quark est-il plus « réel » qu'un nombre entier ou un cercle ? Cela tient surtout au mode de validation des résultats de la science mathématique : la preuve par le raisonnement logique s'y substitue aux preuves expérimentales qui régissent les sciences de la nature et de la vie.

Singulière, mais pas isolée. Depuis les origines, les mathématiques sont le langage de la physique, indispensable dans la formulation même des lois fondamentales de la nature. La modélisation mathématique joue un rôle important dans les sciences sociales, en particulier en économie, et un rôle sans cesse croissant dans les sciences de la vie. À l'inverse, comme on l'ignore trop souvent, les mathématiques se sont de tous temps nourries de concepts et de problèmes issus des autres disciplines scientifiques.

Dans leur développement à travers les siècles, les mathématiques ont connu des périodes d'expansion et des périodes de consolidation. Dans les premières, les mathématiciens ouvrent de nouveaux domaines, s'attaquent à de nouveaux problèmes, agrandissent le périmètre de leur science ; le moteur de cette expansion est d'une part, bien sûr, l'évolution naturelle de la problématique interne à la discipline, mais aussi, de façon au moins aussi importante, les nouveaux défis posés par d'autres sciences. Vient un moment où les bases de la science mathématique ne sont plus à même de supporter efficacement cette expansion du champ disciplinaire. Une période de consolidation devient nécessaire, coïncidant avec un certain repli sur elle-même de la discipline. C'est ainsi que Cauchy et Weierstrass vont consolider la prodigieuse expansion qui suit l'invention du calcul différentiel et valider les géniales intuitions d'Euler. La crise des fondements du début du siècle dernier s'inscrit dans la même démarche après la porte ouverte par Cantor. Le mouvement bourbachique procède du même ressort.

Singulière, la place des mathématiques l'est aussi dans l'enseignement, de l'école primaire jusqu'à l'enseignement supérieur.

Écrire, lire, compter : l'arithmétique élémentaire est un des savoirs fondamentaux ; des expériences récentes montrent que notre cerveau dispose d'au moins trois façons distinctes d'appréhender les nombres. À l'autre extrémité du spectre, les mathématiques sont présentes dans de nombreux secteurs de

l'enseignement supérieur, de la physique à l'informatique en passant par les sciences de la vie, l'économie et la finance.

Malheureusement, trop d'élèves et d'étudiants sortent du système éducatif avec non seulement un bagage insuffisant en mathématiques, mais une vision totalement dévoyée de cette discipline, perçue comme un jeu gratuit aux règles arbitraires. Comment l'expliquer ? Une question complexe comme celle-ci ne saurait posséder de réponse simple, même si l'accent mis il y a une trentaine d'années sur la méthode axiomatique a pu avoir des effets néfastes.

Pour donner corps aux résultats et concepts des sciences mathématiques, pour rendre accessibles à un public pour partie réfractaire des notions et raisonnements abstraits, il est indispensable d'ancrer solidement, à tous les niveaux de l'enseignement, les sciences mathématiques dans le panorama général des disciplines enseignées.

L'importance de cette démarche est apparue depuis longtemps à la plupart des acteurs du système éducatif, et se traduit déjà par un certain nombre de dispositions spécifiques. Mais ses résultats restent insuffisants, en raison de nombreuses difficultés pratiques, dont un certain nombre se rattachent à la formation des enseignants.

Ce rapport est composé de trois parties. La première fait l'état des lieux. Après une évocation des liens si féconds que la recherche mathématique entretient avec les autres disciplines scientifiques, les relations de l'enseignement des mathématiques avec celui des autres disciplines sont examinées. Itinéraires de découverte dans les collèges, Projets pluridisciplinaires à caractère professionnel dans les lycées professionnels, Travaux personnels encadrés dans les lycées généraux, Travaux d'initiative personnelle encadrés dans les classes préparatoires, tous ces dispositifs sont et devraient être encore plus l'occasion de souligner l'unité de la démarche scientifique. Ils se heurtent encore trop souvent à des difficultés organisationnelles, et à une insuffisance du dialogue entre les disciplines dont on trouve déjà les racines dans la formation initiale des enseignants.

La seconde partie du rapport s'articule autour de recommandations concrètes dont la mise en pratique pourrait améliorer et renforcer les relations de l'enseignement des mathématiques avec celui des autres disciplines. Nombre de ces recommandations, on ne s'en étonnera pas, touchent à la formation initiale des enseignants, aussi bien ceux de mathématiques que ceux des autres disciplines. Il est aussi important de développer les ressources bibliographiques et numériques permettant de nourrir et renouveler le dialogue entre les disciplines.

La troisième partie enfin est constituée d'annexes de nature assez variée, offrant des compléments de réflexion et des pistes pratiques pour un dialogue fructueux des mathématiques avec les autres disciplines.

I. L'état des lieux

I.1. L'état de la science

Les mathématiques traversent les époques en se renouvelant sans cesse. Dans le monde contemporain, elles retrouvent l'une de leurs sources et de leur raison d'être : le lien aux autres disciplines. Tentons de dire pourquoi et comment.

Toutes les autres disciplines scientifiques ont leur objet propre, dans la nature ou dans la société. Elles élaborent leurs outils, leurs méthodes, leurs concepts à partir de leurs champs d'étude, auxquels elles se réfèrent pour tester la validité de leurs résultats. La matière inanimée, le vivant, les réseaux à l'œuvre dans les relations humaines constituent les cadres généraux des sciences physiques, biologiques et humaines. Tout ce qui se développe dans ces cadres, par exemple l'astrophysique, les sciences de la Terre, la chimie des matériaux, la physique corpusculaire et celle de la matière condensée, la biologie moléculaire, la biologie humaine, les neurosciences, l'écologie, l'économie, les sciences historiques, l'informatique, l'électronique et toutes leurs variantes et sous-disciplines, affine ses méthodes et crée ses concepts à partir de l'observation et de l'expérimentation dans son secteur propre. Cette division du travail crée une masse de connaissances en croissance exponentielle, dispersées sinon atomisées, dont la prise en compte par la société et même par les spécialistes est un problème très difficile. Une partie des résultats est immédiatement valorisée par des applications industrielles. Mais c'est l'ensemble, convenablement élagué, distillé et recomposé, qui devrait s'intégrer au patrimoine culturel de l'humanité. Nous en sommes très loin, et le fossé s'élargit entre la science qui se fait et la conscience commune. L'image des sciences se brouille, elles cristallisent les inquiétudes de la société, une partie des jeunes s'en détourne. Le constat est banal, comme la revendication de la place à conquérir des sciences dans la culture.

Qu'en est-il des mathématiques ? Plus que jamais elles se nourrissent des autres sciences, et elles les alimentent. Leur spécificité, si l'on peut dire, est de n'être spécifiques à aucun domaine de la nature ou de la société. La validité de leurs résultats tient à une démarche particulière, qu'on appelle hypothético-déductive : si ceci est vrai, cela est vrai aussi. Elles brassent des concepts dont certains viennent du fond des âges, comme les nombres et les figures, d'autres sont apparus il y a peu de siècles, comme les fonctions et les manières de les représenter, les équations différentielles, les groupes, les probabilités, et d'autres encore apparaissent sans cesse, comme tout ce qui vient de l'informatique. On les voit constamment s'appliquer hors du champ qui leur a donné naissance ; les exemples abondent en physique et ont fait évoquer à ce propos « la déraisonnable efficacité des mathématiques dans les sciences de la nature » (Wigner). Leur caractère essentiel est moins leur abstraction que leur généralité et leur souplesse. Elles lient entre elles les autres disciplines en y mettant en œuvre les mêmes notions fondamentales.

Par ailleurs, leur mouvement est aussi rapide que celui des autres sciences. Comme elles, elles peuvent être valorisées par des applications directes (c'est le cas, en particulier, de la statistique). Comme elles, et peut-être plus qu'elles, elles

souffrent d'un défaut d'assimilation sociale, d'une méconnaissance et parfois d'un rejet : paraissant inaccessibles, incompréhensibles, lointaines, elles font peur. Pourtant, la place qu'elles occupent dans l'enseignement présente un caractère original par rapport aux autres sciences.

De tous temps, les mathématiques ont en effet entretenu un lien très fort avec leur enseignement : leur mise en ordre et leur mise en forme font partie du travail de création mathématique. C'est en effet en mettant en évidence la cohérence logique de son discours que le mathématicien peut convaincre ses pairs de la validité de ce qu'il a produit, et la reconnaissance de cette cohérence est la seule justification de son exactitude. L'explicitation des concepts, des démarches, des méthodes et de l'argumentation occupe donc une place essentielle en mathématiques.

Mettre en lumière dans l'enseignement des mathématiques leurs relations avec les autres disciplines est un sujet qui intéresse non seulement les mathématiciens mais tous les scientifiques. Un témoignage en est la séance exceptionnelle tenue sur ce thème à l'Académie des sciences le 22 mai 2000, sous la présidence du chimiste Guy Ourisson, avec la participation de biologistes, de physiciens, de mécaniciens, d'informaticiens, d'économistes aux côtés de mathématiciens et de responsables de leurs associations ; la tonalité était donnée par la conclusion de l'intervention d'un des biologistes : « on a besoin d'étudiants conceptuellement formés à ces opérations mentales que seules donnent les mathématiques ».

Dans le même esprit, le regretté André Adoutte (qui avait su lier la classification des espèces selon l'évolution des formes et selon la génétique moléculaire), faisait en 2001 devant notre commission une déclaration que nous pouvons intégralement reprendre à notre compte : « L'enseignement a de nombreuses fonctions, mais la plus éminente est de permettre de rendre le monde intelligible. L'école apporte des moyens de réduire l'apparente complexité du réel, et les mathématiques ont pour le faire un rôle important et de deux façons :

- d'abord, elles apportent des outils très puissants, extraordinairement efficaces : beaucoup de choses du réel peuvent se représenter par des nombres ou par des figures géométriques ;
- mais, de façon plus profonde, les mathématiques sont précieuses à l'école parce qu'elles donnent confiance : elles apportent la conviction qu'il est possible de comprendre, et en même temps la jubilation de cette compréhension. »

L'interaction entre mathématiques et autres sciences est ainsi aujourd'hui un sujet d'intérêt constant pour la communauté mathématique, intérêt qu'ont fait leur les associations professionnelles de mathématiciens. En 2002, la SMF (Société Mathématique de France) et la SMAI (Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles) ont organisé en commun un colloque sur « Mathématiques et enseignement des sciences ». La journée annuelle de la SMF a été consacrée à « Mathématiques et biologie ». L'articulation avec la physique est encore plus visible et remarquable : la médaille Fields a pu être donnée à un physicien (Witten), et le séminaire Poincaré, créé récemment par des physiciens à l'image du séminaire

Bourbaki, est un lieu de rencontre et de rassemblement de physiciens et de mathématiciens.

Enfin, il est intéressant de constater que le rapport de l'Académie des Sciences « Les Mathématiques dans le monde scientifique contemporain » est constitué pour une grande part d'articles de collègues d'autres disciplines : cela démontre encore à quel point les interférences entre les mathématiques et les autres disciplines sont aujourd'hui intenses et fécondes.

Ce contact et cette collaboration entre scientifiques, qui compense et rectifie en partie la spécialisation nécessaire dans la recherche, sont aussi porteuses d'idées pour l'enseignement à tous les niveaux. La place des mathématiques dans l'enseignement se justifie par trois raisons essentielles. Elle tient d'abord à la portée générale de leur démarche, de leurs concepts et de leurs résultats : s'appliquant à des situations variées, et à toutes les sortes de sciences, elles seront rencontrées par tous les élèves, quels que soient les secteurs où ils poursuivront leurs études. Elles apportent aux élèves un élément irremplaçable pour leur formation intellectuelle. Elles sont enfin, d'un point de vue purement culturel, un témoin de l'histoire des idées, nouant de façon naturelle des liens avec l'histoire et la philosophie, mais aussi avec la peinture ou l'architecture, par exemple. De ces trois points de vue complémentaires, le lien des mathématiques aux autres disciplines est aujourd'hui plus important que jamais.

C'est pourquoi, après avoir insisté sur l'articulation des mathématiques comme science avec les autres disciplines, il nous faut examiner comment cela se traduit au niveau de l'enseignement, et présenter des suggestions pour améliorer la situation.

I.2. L'état de l'école

I.2a. L'école primaire

Les mathématiques enseignées à l'école primaire pourraient sembler épargnées par les mouvements de la science ou de la société : dans la conscience commune, ne s'agit-il pas que d'apprendre à compter ? Il n'en est rien, et les remises en question et les évolutions ont été profondes dans les dernières décennies, à l'image de celles de la société elle-même. Elles ont été marquées par des mots d'ordre aux effets parfois brutaux : « activités d'éveil » dans les années 70, « retour aux savoirs » dans les années 80. Dans ce contexte mouvementé, l'enseignement des sciences de la nature a été particulièrement malmené : suite à la disparition de la « leçon de choses » que rien ne venait remplacer, il est resté très délaissé pendant un temps. L'enseignement des mathématiques avait souvent tendance à se réduire quant à lui, à des apprentissages formels, faisant peu de place à la résolution de problèmes. Le faux débat médiatique opposant « pédagogie » et « savoirs » n'a fait qu'accentuer le désordre. Il est temps de sortir de cette dispute stérile : à quoi sert la pédagogie, si ce n'est à faire accéder l'élève aux savoirs ? Et quelle serait l'efficacité de savoirs déclinés sans recours aux outils de la pédagogie, qui permettent de les rendre accessibles au plus grand nombre ?

Dans une situation ainsi fragilisée de l'enseignement des sciences, des spécialistes se sont mobilisés dans les diverses disciplines : une rénovation de l'enseignement des sciences expérimentales s'est développée à partir de l'opération

« la main à la pâte », appuyée par la personnalité et l'autorité de Georges Charpak, visant à mettre l'élève en situation de chercheur pour accéder aux savoirs scientifiques.

En mathématiques, le mouvement est bien plus ancien. Il a commencé à se développer dès le début des années 80 à travers les travaux des IREM et de l'INRP. Les recherches menées autour de Guy Brousseau au COREM (Centre d'Observation et de recherche pour l'Enseignement des Mathématiques) ont d'autre part aidé à structurer sur le plan théorique ces travaux, à travers la théorie des situations didactiques, et la COPIRELEM, commission des IREM pour l'enseignement élémentaire, créée il y a 26 ans, en a assuré la diffusion auprès des formateurs d'enseignants de l'école élémentaire.

Ces deux mouvements poursuivent au fond le même objectif : rendre l'enfant acteur dans la constitution des nouveaux savoirs scientifiques, en lui donnant l'occasion de ressentir le besoin de nouvelles connaissances et les moyens, par des situations appropriées, de faire apparaître, avec l'aide de l'enseignant, ces connaissances nouvelles comme réponses à des problèmes qui font sens pour lui. Pourtant ces mouvements qui se sont développés indépendamment l'un de l'autre ont du mal à échanger et à communiquer. Il y a à cette séparation sans aucun doute des raisons conjoncturelles et des raisons culturelles. Il y a cependant peut-être, au-delà, des raisons plus profondes et la question mérite certainement un travail plus approfondi que celui qui peut-être fait dans le cadre de ce rapport, en particulier si l'on considère, comme nous le postulons, qu'une telle coopération serait très souhaitable. L'apprentissage des sciences de la nature ne peut que gagner à s'accompagner d'une mise en œuvre de concepts et méthodes mathématiques pertinents. Le calcul mental, le calcul des ordres de grandeurs, ainsi que la géométrie élémentaire devraient trouver de nouvelles raisons de s'exercer dans les situations proposées dans d'autres sciences. Des expériences ont d'ailleurs été menées sur l'apprentissage de la géométrie en Cours moyen en relation avec des situations physiques (boussoles, miroirs, visées utilisées pour introduire la notion d'angle, par exemple).

Cette intervention du monde réel dans l'apprentissage des mathématiques peut s'organiser dès le plus jeune âge : c'est une illusion de penser que les élèves ne savent que ce qu'on leur enseigne à l'école. En arrivant au cours préparatoire, ils savent parler, dessiner, ils ont quelques premières notions, très variables, sur les nombres, ils connaissent toutes sortes de jeux. Les mathématiques scolaires vont s'articuler avec ces premières connaissances, vont les développer, les systématiser et les organiser. Les livres les plus remarquables partent de connaissances communes pour développer le sens de la géométrie et celui du calcul.

1.2b. Le collège

Il faut examiner séparément les programmes et la réalité de l'enseignement.

Les programmes de mathématiques incitent au rapprochement avec les autres disciplines. Pour nous borner à un exemple, la dernière explication des contenus du programme de Sixième, relatif à l'organisation et à la gestion des données et aux

fonctions, se présente ainsi : « Cette rubrique a pour objectif d'initier à la lecture, à l'interprétation et à l'utilisation de diagrammes, tableaux et graphiques et d'en faire l'analyse critique. La réalisation de tels objectifs contribue à l'éducation civique. Les travaux correspondants ne peuvent se concevoir qu'à partir de situations concrètes et en liaison avec d'autres parties du programme. Chaque fois que possible, ils se feront en liaison avec l'enseignement des autres disciplines : sciences de la vie et de la terre, géographie, technologie. Ils seront l'occasion de consolider et d'approfondir les acquis des élèves sur l'utilisation d'unités de mesure et la pratique de certains changements d'unités ».

La réalité est sensiblement différente : il ne suffit pas de décréter la liaison avec les autres disciplines pour qu'elle vive de façon effective, car elle demande un changement de vision et de pratique qui n'est pas facile à réaliser.

L'explication de cette insuffisance de contacts est à rechercher dans la pratique de tous les professeurs, et pas seulement des professeurs de mathématiques. Les professeurs des autres matières ne sont guère préparés à se tourner vers les professeurs de mathématiques. Les programmes, qui mettent en évidence les rapprochements possibles, mentionnent très rarement un rapprochement avec les mathématiques : par exemple, le très intéressant programme de Sixième en sciences de la vie et de la terre (environnement, monde vivant, alimentation), mentionne les liaisons possibles avec les programmes de technologie, de géographie, de français et d'éducation civique, en oubliant les mathématiques. Le groupe d'experts, présidé par Jean-François Bach, qui a procédé en 2003 à la relecture des programmes scientifiques au collège a eu l'attention attirée sur cette anomalie. On peut regretter aussi la quasi-absence de l'histoire des sciences dans la formation des enseignants comme dans les manuels : on y parle volontiers d'art ou de littérature, mais la science y reste ignorée.

La place institutionnelle de l'interdisciplinarité au collège, a pour nom IDD (itinéraires de découverte). Mais les IDD ont été instaurés sans moyens spécifiquement ciblés et ont conduit dans la grande majorité des collèges à une baisse horaire dans plusieurs disciplines, souvent les plus fondamentales, et sans aménagement des programmes : c'est pourquoi leur mise en place s'accompagne de fait d'une baisse de l'offre d'enseignement en mathématiques dans la plupart des collèges et a été mal accueillie par les professeurs. De plus, ce dispositif, à peine installé, a été fragilisé par le caractère facultatif qui lui a été attribué à la rentrée 2003 (abandon de son évaluation au brevet, possibilité de remplacer les IDD par de l'aide individualisée).

Pourtant, bien des enseignants qui ont participé à un IDD en sont satisfaits : ce type de travail peut éveiller la curiosité des élèves et leur faire percevoir de nouvelles raisons d'être de contenus disciplinaires en permettant d'autres approches ; il peut améliorer les relations entre professeurs et élèves, et apporter de la diversité dans les activités et dans les compétences développées. Les professeurs lui trouvent surtout de l'intérêt lorsque l'activité concerne la classe entière, ce qui permet de mettre à profit dans les autres cours les acquis du travail effectué dans l'IDD et d'organiser plus facilement leur planification.

Certains exemples d'activités réalisées à l'occasion des IDD sont d'une très grande qualité (on en trouvera en annexe⁽¹⁾). Mais ils sont le plus souvent le fait d'enseignants expérimentés et exceptionnels par leur culture et leur dévouement. Il ne faut pas cacher la difficulté de l'entreprise : s'ils sont une occasion de travaux remarquables, les IDD ont du mal à fonctionner dans beaucoup d'autres cas. C'est une culture collective qui est à construire, et cette construction a besoin d'un soutien institutionnel.

1.2c. Les lycées généraux, technologiques et professionnels.

Les lycées d'enseignement professionnel méritent un examen particulier, non seulement à cause de la masse des élèves qu'ils accueillent, mais par l'organisation de l'enseignement et le fait que les professeurs de mathématiques y sont aussi professeurs de physique et chimie. En outre, l'enseignement professionnel est dans ce secteur le moteur essentiel de l'activité et de la motivation des élèves, et on pourrait donc s'attendre à une activité mathématique fortement liée aux autres disciplines. La réalité n'est pas si simple : les professeurs sont certes officiellement bivalents, mais, le plus souvent, leur formation initiale a été monodisciplinaire, et le concours de recrutement lui-même traite les mathématiques et la physique comme deux domaines bien séparés. Quant aux programmes, s'ils ont été rénovés récemment pour les CAP (en instituant un enseignement obligatoire de physique et chimie dans toutes les spécialités), ils restent vieillots en BEP, et les récentes rénovations des programmes de lycée, insistant sur la statistique et l'usage de la calculatrice graphique et du tableur ne les ont pas atteints. Les commentaires des programmes demandent certes de s'appuyer sur l'enseignement professionnel, mais ce lien est laissé à la charge des enseignants, sans que des exemples précis soient fournis. En outre, il n'existe que deux variantes du programme de mathématiques (tertiaire et industriel), alors qu'il existe un nombre important de spécialités (une soixantaine), ce qui conduit plutôt à s'affranchir, dans les documents destinés aux professeurs, des spécificités des divers métiers. Si certains sujets réclament d'eux-mêmes une collaboration entre disciplines (ainsi, dans le BEP électrotechnique, les fonctions trigonométriques sont vues à la fois en mathématiques, en physique et en atelier), d'autres s'y prêtent moins facilement et demandent plus de recherche. Enfin, un enseignement de mathématiques bien relié à l'enseignement professionnel suppose une volonté de coopération des deux parties, ce qui n'est pas toujours facile.

Il y a cependant des raisons d'être optimiste, car si, dans les vieilles générations, la vieille opposition entre les « cols bleus » et les « cols blancs » perdure parfois, les nouvelles générations d'enseignants de l'enseignement professionnel, passés par un BTS et formés à l'IUFM sont bien persuadés de l'intérêt de l'enseignement général, et les enseignants de maths-sciences se donnent clairement un double objectif : donner aux élèves un outil de réflexion, et mettre cet outil au service de l'enseignement professionnel.

On trouve ainsi nombre de pratiques intéressantes de la part de professeurs qui revendiquent leur double appartenance et veulent l'utiliser comme un atout : atout dans l'organisation de l'enseignement, où les outils mathématiques sont enseignés en

(1) à paraître dans un Bulletin ultérieur.

lien avec leur utilisation en physique (par exemple la construction de Fresnel avec les relations métriques dans le triangle ; la proportionnalité en lien avec des mesures de grandeurs), atout pour motiver les élèves par des problèmes concrets liés à leur profession (comment organiser le rangement et le transport de tel ou tel produit ? (CAP d'employé commercial), comment optimiser un trajet ? (CAP logistique), faire un plan ? manipuler un instrument de mesure qui utilise des coordonnées polaires, prévoir un coffrage ? (CAP maçon), reproduire le motif d'un papier peint ? (CAP peintre)), atout enfin pour donner aux concepts mathématiques des représentations proches de la réalité, pour des élèves qui ont soif de concret et craignent la théorie. Mais les pratiques sont variées, et n'étant pas officiellement organisée, la coopération entre disciplines est avant tout affaire d'individualités, ou, au mieux, de culture d'établissement. C'est d'abord en observant les élèves en stage ou en discutant avec les professeurs d'enseignement professionnel dans les ateliers que les enseignants de maths-sciences vont chercher leur inspiration. Tous ne s'y obligent pas, et il reste des enseignements très classiques où les disciplines, même enseignées par le même professeur, sont tout à fait étanches.

La mise en place des PPCP, (Projet Pluridisciplinaire à Caractère Professionnel), devrait devenir le lieu privilégié de cette rencontre entre disciplines. Hélas, ils ont été instaurés dans un contexte agité peu favorable, accompagnés d'une baisse des horaires de maths-sciences et de la globalisation des horaires. Ils ont donc été mal accueillis, d'autant que la répartition des moyens pour leur fonctionnement tient le plus souvent du bouche-trou administratif plutôt que du projet pédagogique. Il semble que, faute de temps (les PPCP doivent se faire dans le cadre de l'horaire annuel des disciplines d'enseignement général), et suite à un cahier des charges peut-être trop contraignant, ils fonctionnent actuellement très mal : les problèmes juridiques de responsabilité face à des populations de jeunes parfois en grande détresse matérielle, les perturbations d'emploi du temps qu'ils provoquent, et l'exiguïté des horaires les rendent très difficiles à mettre en place.

Chacun reconnaît cependant qu'un dispositif de ce type est nécessaire et plein d'intérêt, à condition qu'il soit doté de moyens horaires spécifiques comme dans les lycées généraux, et dans un cadre suffisamment souple pour fonctionner dans le contexte bien particulier des LEP. Un bilan devrait être tiré, et une révision du dispositif paraît s'imposer afin de le rendre viable.

Selon leur orientation, certains **lycées technologiques** offrent également des occasions de collaboration de professeurs, par exemple, en STI, entre professeurs de mathématiques et de technologie. De la même façon que dans les lycées d'enseignement professionnel, la collaboration est affaire au mieux de culture d'établissement. Pour l'essentiel, les lycées, qu'ils soient professionnels, technologiques ou généraux, souffrent de la même façon, du manque de travail en commun des professeurs des diverses disciplines.

L'histoire récente de l'enseignement des mathématiques dans les lycées montre que ses relations avec l'enseignement des autres disciplines ont varié au cours du temps selon les types de formation et les tensions entre enseignement théorique et

formation à la vie pratique. Un regard sur les trente dernières années met en évidence plusieurs périodes : dans les années 70, l'isolement des mathématiques modernes ; dans les années 80, la rupture avec elles ; dans les années 90, la prise en compte dans les programmes de la spécificité des séries (le programme de mathématiques de la série sciences économiques et sociales n'est plus considéré comme un sous-programme de la série scientifique).

Les programmes actuels des **séries générales** ont ouvert de nouvelles voies, d'une part en accroissant la part de la statistique dans toutes les séries, d'autre part en inaugurant une coopération entre les trois disciplines scientifiques en série S par le biais de l'étude d'objets communs aux trois disciplines (exponentielle, radioactivité, et datation en terminale scientifique). Les documents d'accompagnement des nouveaux programmes appuient cette démarche en fournissant des exemples précis. L'enseignement de la statistique ouvre des perspectives de coopération avec les sciences de la nature ou les sciences humaines, à articuler avec l'introduction de la simulation dès la classe de seconde.

La mise en œuvre des instructions des programmes des années 80 sous la forme de « l'étude de situations issues de ces disciplines comprenant une phase de modélisation et une phase d'interprétation des résultats » est lente et difficile. Mais l'orientation est prise. Les progrès sont lents, car il ne suffit pas décréter des changements pour modifier les choses, mais, dans les établissements, la concertation entre les professeurs de mathématiques et leurs collègues physiciens, biologistes ou mécaniciens s'est intensifiée et donne lieu à des échanges plus fréquents, échanges encouragés en outre par le dispositif des Travaux Personnels Encadrés (TPE).

Hors programmes, les TPE ont été l'affichage le plus visible de la volonté de développer l'interdisciplinarité. Cette formule a comme grand intérêt de donner une place institutionnelle à la fois au travail sur projet et à la coopération entre disciplines. Elle accorde du temps, à savoir deux heures hebdomadaires. Cependant, ce temps a été soustrait des horaires disciplinaires, en particulier en mathématiques dans les séries scientifiques et le cours de mathématiques bénéficie peu de cette amorce d'interdisciplinarité. La situation actuelle pourrait être grandement améliorée car les TPE ne conduisent pas nécessairement aujourd'hui à un travail interdisciplinaire, ni des élèves, ni des professeurs. En effet, les élèves choisissent un sujet à partir de thèmes très larges définis par une liste constituée nationalement. Ce sont les sujets les plus visibles dans la société qui ont naturellement leur préférence, et les mathématiques y sont le plus souvent « invisibles ». Si le professeur n'intervient pas, l'élève les ignorera. Or, la place du professeur est mal définie. L'équilibre délicat entre le « faire faire » et le « laisser faire » qui règle toute activité d'enseignement n'apparaît pas bien régulé : entre le professeur et l'élève, le curseur est placé trop près de l'élève soit que le cahier des charges soit mal écrit, soit qu'il soit mal compris. En outre, rendre visibles les mathématiques utiles à la compréhension d'un sujet n'est pas facile pour le professeur non plus : la formation initiale de la plupart des enseignants actuels a été très désincarnée et coupée des applications. La profession manque de connaissances sur l'intervention des mathématiques dans les autres sciences, et elle manque d'outils pour les rendre

accessibles. Un des effets les plus positifs de ces premières années de TPE en mathématiques aura été de faire émerger les premiers éléments d'une nouvelle culture. Les professeurs de mathématiques apprennent peu à peu à revisiter des territoires oubliés : l'optique, la mécanique, l'astronomie, la navigation, la musique. Ils redécouvrent l'efficacité des propriétés des coniques, des calculs d'extrema, des outils informatiques pour représenter et simuler.

Les TPE devraient donner l'occasion aux élèves de communiquer ce qu'ils ont appris aux autres élèves, et par là d'alimenter toute la classe de l'ouverture que permet le dispositif.

Notons enfin que l'introduction des TPE dans les lycées a conduit à une évolution des moyens de documentation et de communication. Elle est encore à poursuivre, mais de grands efforts ont été entrepris dans nombre d'établissements : les CDI se sont enrichis en matière de documentation scientifique, et l'équipement matériel s'est bien amélioré. Bon nombre de CDI disposent désormais de plusieurs postes informatiques avec connexion Internet à haut débit.

Ainsi, le dispositif TPE mérite une place à part dans les recommandations qui vont suivre.

1.2d. Au delà du baccalauréat

Une étude de la Commission Internationale de l'Enseignement Mathématique, publiée en 1988, montre qu'à cette époque une partie notable des services d'enseignement des professeurs de mathématiques des universités était au service d'autres disciplines, et qu'elle était la source d'innovations importantes. L'un des buts de l'étude était de montrer aux professeurs de lycée une face de l'activité d'enseignement de leurs professeurs qui ne leur était pas apparue lors de leur formation.

Où en est-on en France actuellement ?

Il est bon d'examiner la situation au cours du temps et dans toute son étendue, même si cet examen est sommaire, avant de signaler quelques innovations.

Au cours des années 1950 s'étaient introduits, à Paris d'abord, des enseignements liant mathématique et physique : TMP (techniques mathématiques de la physique) et MMP (Méthodes mathématiques de la physique). Au début des années 60, à Orsay, TMP était le certificat où se réunissaient les étudiants de mathématiques et de physique, et les élèves de l'École Supérieure d'Électricité alors installée à Montrouge. MMP était organisé comme un cours à deux voix : un mathématicien (B. Malgrange) et un physicien (F. Lurçat). Au niveau du premier cycle, au cours des années 70, la collaboration au DEUGB (biologie-géologie) était l'occasion pour les mathématiciens d'apprendre un peu de statistique, et de se plier aux contraintes d'un enseignement finalisé.

L'introduction des maîtrises des années 60, puis la création des nouvelles universités après 1968 se sont faites dans un mouvement contradictoire : affirmation de la nécessité de ne pas cantonner les formations à une spécialité, et repli des disciplines sur elles-mêmes. C'est cette dernière tendance qui a dominé. En mathématiques, elle a été amplifiée par deux facteurs : l'abandon de la mécanique, et l'arrivée en force de l'analyse numérique, des probabilités, des statistiques et de

l'informatique. Elle a abouti à une véritable autonomisation des mathématiques dans l'enseignement supérieur scientifique, particulièrement sensible aux étudiants se préparant à l'enseignement secondaire.

Ainsi les DEUG A et B sont devenus MIAS (mathématiques et informatique appliquées aux sciences), SCM (sciences de la matière) et SCVT (sciences de la vie et de la Terre). Les mathématiques y sont présentes partout, de manière inégale. La branche principale en mathématiques, MIAS, est essentiellement coupée de la physique. Les physiciens bénéficient encore de l'expérience acquise avec les enseignements de TMP et MMP. Mais aucun effort n'a été fait pour des cours de physique spécialement adaptés aux mathématiciens, et la physique joue en MIAS le rôle de repoussoir.

Cette évolution accuse donc un repli des mathématiques sur elles-mêmes dans l'enseignement universitaire scientifique.

Si, par contre, on examine le contenu de l'ensemble des enseignements post-baccalauréat, on assiste à un accroissement de la part mathématique, qu'il s'agisse de physique, de biologie, d'économie, de gestion, d'architecture, d'ingénierie, etc. Cela vaut également pour de nombreux enseignements professionnels, du type BTS, IUT, IUP ou licences professionnelles. L'examen des projets de licences professionnelles scientifiques a montré que les mathématiques y étaient souvent présentes de façon implicite, et quasi clandestines (exemple : optique). Des cours de mathématiques sont donnés dans la plupart des écoles d'ingénieurs. Il est impossible ici d'entrer dans le détail, mais quelques remarques s'imposent. Il est légitime que participent à l'enseignement des mathématiques les utilisateurs des mathématiques. Mais si l'on s'en tient là, il y a danger à voir se développer des mathématiques pour telle ou telle spécialité, au détriment de ce que les mathématiques peuvent apporter de culture commune ; il importe donc de veiller à la présence de mathématiciens dans le cadre des enseignements de mathématiques dits « de service ». La présence ne suffit pas : les mathématiciens enseignant dans des institutions sans laboratoires de mathématiques (souvent des PRAG, professeurs agrégés) éprouvent leur isolement de façon pénible. Leur participation à la recherche d'une part, une symbiose organisée avec des représentants d'autres disciplines d'autre part, apparaissent nécessaires.

Il est facile d'insister plus encore sur les paradoxes et les défauts de la situation actuelle (nous y reviendrons d'ailleurs dans le I.3). Mais il vaut la peine de signaler les facteurs d'évolution positive déjà à l'œuvre.

Les précédents rapports de la Commission avaient dit l'importance des licences pluridisciplinaires scientifiques pour la formation des futurs professeurs d'école. Leur succès s'est confirmé.

Le LMD (licence, maîtrise, doctorat) devrait être un cadre favorable aux innovations. Les difficultés actuelles à faire agréer les licences pluridisciplinaire scientifiques montrent l'effort à faire à cet égard.

Les CPGE (classes préparatoires aux grandes écoles) ont vu avec les programmes 2003 une meilleure cohérence, au début de la première année, des enseignements de mathématiques et de physique. Les TIPE (travaux d'initiative personnelle encadrés),

créés en 1995, méritent la même attention que les IDD des collèges et les TPE des lycées. Ils concernent l'ensemble des filières et associent toujours deux disciplines. Ils comportent l'entraînement à la lecture et à l'étude d'un texte scientifique, et la mise au point d'un travail personnel, dans le cadre d'un ou de deux thèmes définis à l'échelle nationale chaque année (en 2004-2005 : erreurs et progrès ; évolution des modèles, des systèmes, des connaissances) ; chaque professeur concerné dispose de deux heures hebdomadaires pour aider les étudiants. Dès le départ, un objectif majeur des TIPE était le décloisonnement des disciplines. C'est un des effets que les jurys des épreuves orales des concours doivent tester auprès des candidats (cf. Bulletin UPS de janvier 2004).

Les programmes des CPGE ont évolué au cours des dernières années. Cependant, au contraire des années 50 et 60, cette évolution n'a pas reflété celle des universités, mais celle des concours. L'informatique a conquis sa place, mais les probabilités et statistiques en restent absentes.

L'université, et son lien organique avec la recherche scientifique, auraient-ils perdu leur valeur d'entraînement ? Certains indices semblent montrer que ce n'est pas le cas.

L'informatique et les statistiques ont fait une percée qui a contribué, nous l'avons dit, à couper les mathématiques de la physique. Cependant elles sont potentiellement un facteur de rapprochement entre les mathématiques et les autres disciplines. L'argumentation se trouve développée dans les rapports que la Commission a établis sur ces sujets.

On n'insistera jamais assez sur le rapprochement à rétablir dans l'enseignement, comme il l'est dans la recherche, entre mathématiques et physique. Nous voulons pourtant insister sur l'émergence de nouvelles exigences et de nouvelles formules d'enseignement venant d'autres disciplines. Bornons-nous à un exemple, qui nous vient de l'École normale supérieure de la rue d'Ulm. La demande croissante d'outils mathématiques dans les modèles biologiques y a conduit à créer une filière mathématiques-informatique-biologie. Il s'agit d'offrir aux élèves mathématiciens une solide ouverture vers la biologie, accompagnée d'une orientation vers des domaines mathématiques et informatiques privilégiés. Des interfaces prometteuses se dégagent : topologie et biologie structurale, statistique et écologie, bases de données et génomique. La première année s'appuie surtout sur des cours de mathématiques, la seconde fait une part beaucoup plus importante à la biologie, avec une école d'automne en biologie et un stage en laboratoire de biologie. Il ne s'agit là que d'un exemple, mais plusieurs biologistes nous ont fait part de leur désir que les mathématiciens répondent par des initiatives convenables aux nouveaux besoins en formation qui correspondent à l'essor de la biologie contemporaine. Plus encore que d'une innovation, il s'agit là d'une perspective importante.

I.3. Un bilan critique

Des germes d'innovation existent, à tous les niveaux. Cependant, dans l'ensemble, le contraste est étonnant entre l'interaction très forte des mathématiques comme science avec les autres sciences, et le peu de relation de leur enseignement avec les autres enseignements scientifiques : l'enseignement des mathématiques

reste encore aujourd'hui celui d'une discipline isolée, très tournée sur elle-même, peu soucieuse d'interactions avec les autres sciences.

C'est d'ailleurs l'image que donne l'enseignement universitaire, au niveau du premier et du second cycle, lorsqu'il s'adresse aux futurs professeurs de mathématiques. La formation initiale des enseignants, en général, les prépare mal à se tourner vers les autres disciplines. Les programmes, de façon justifiée, mettent en évidence la cohérence des notions mathématiques, et cette cohérence, très forte, a tendance à dissimuler la place des mathématiques au sein des autres sciences et de la culture. Les articulations entre les programmes des différentes matières, pour permettre un travail sur un objet commun, sont difficiles à établir. La documentation sur les autres disciplines et les situations qu'elles offrent à une étude mathématique est insuffisante et mal connue (la commission a signalé à plusieurs reprises les « petits problèmes de physique » de François Graner ; un catalogue d'ouvrages de cette nature serait utile). Les disciplines en cause ne se limitent pas aux sciences. Les matières littéraires et artistiques qui se prêteraient le plus naturellement aux interactions sont insuffisamment explorées (nous y reviendrons dans les recommandations). L'effort qui est demandé aux enseignants de mathématiques, à tous les niveaux, est considérable. Il nécessite un regard neuf sur les mathématiques dans le monde d'aujourd'hui, donc l'ouverture d'esprit, le temps nécessaire, les moyens d'une réflexion personnelle et collective. Les associations savantes et professionnelles ont déjà beaucoup œuvré dans ce sens. Cependant, les premiers appels lancés par la commission pour la constitution de documents destinés aux professeurs de l'enseignement secondaire et traduisant la part prise par les chercheurs d'autres disciplines à l'élaboration des mathématiques contemporaines n'ont guère été suivis d'effet.

Un effort est à demander également aux professeurs des autres disciplines, pour modifier leur regard sur les mathématiques. Pour la physique, la biologie, les sciences économiques, les sciences industrielles, les mathématiques ne sont pas seulement un outil de calcul : elles apportent de l'information en découvrant les conséquences précises des principes énoncés (la loi de la réfraction comme conséquence du principe du « plus court chemin » des rayons lumineux, par exemple), et elles peuvent jouer alors un rôle de critique du langage, comme l'a montré Claude Lobry, lors de son intervention devant la Commission. La formalisation mathématique de concepts issus de ces disciplines concerne aussi ceux qui les enseignent. La culture scientifique est inséparable d'une réflexion sur la nécessité et les limites des modèles mathématiques et de leur usage.

Nous recommandons ci-dessous que l'enseignement des mathématiques tire parti de ce qui vient d'ailleurs. Il faut pour cela, et nous en sommes loin, que le professeur de mathématiques se sente lui aussi concerné par le processus de formalisation mathématique, par ses sources et par sa portée. La formalisation ne se réduit pas aux formules, ni même à leur utilisation. Selon une expression chère à la Commission, il faut « faire parler les formules ».

La culture générale souffre plus encore du divorce entre les mathématiques et les disciplines littéraires et artistiques. La même remarque vaut pour le divorce entre sciences et lettres. L'histoire des mathématiques fait partie des mathématiques, mais aussi de l'histoire. L'épistémologie des mathématiques fait partie des mathématiques et de la philosophie. Les textes de Descartes, Pascal, Laplace, Fourier, Poincaré, font partie de la littérature française lors même qu'ils exposent les grands sujets mathématiques de leur temps. L'exploitation en classe de quelques textes abordables, et il n'est pas très difficile d'en trouver, pourrait donner une image plus humaine des mathématiques, en créant d'autres liens aux divers éléments de la culture commune des citoyens.

II. Les recommandations

II.1. Un changement nécessaire et difficile à réaliser

Les mathématiques ne constituent pas une science isolée. Comme ce rapport le montre dans sa partie I.1, elles interagissent avec les autres sciences, que celles-ci traitent de la nature ou de l'humain, les nourrissant et s'en nourrissant tour à tour. Et ces interactions scientifiques complexes, qui ont marqué le développement historique de la discipline, ne font que s'amplifier. Cette image des mathématiques contraste avec celle que transmet l'École, à travers les pratiques mathématiques qui s'y développent. La partie I.2 qui en dresse un état des lieux synthétique montre que, de l'école élémentaire à l'université, les mathématiques enseignées ont du mal à tisser des liens avec les autres disciplines scolaires et restent, en dépit des souhaits exprimés avec régularité dans les textes officiels, en dépit de l'introduction de dispositifs a priori facilitateurs, une discipline vivant essentiellement en autarcie. Une telle situation ne peut être considérée comme satisfaisante. Elle a sans doute des effets négatifs sur les représentations des mathématiques et de la science plus généralement que se forment les élèves, c'est-à-dire les adultes de demain. Elle contribue aussi sans doute à renforcer l'image d'inaccessibilité qu'ont, dans la Culture, les mathématiques.

Un changement apparaît donc comme nécessaire. Mais, comme le montre bien aussi ce rapport, il ne suffit pas de le décréter. Il y a là en jeu un profond changement culturel qui ne peut s'inscrire que dans la durée et pour lequel il faut déterminer des stratégies réalistes et efficaces à la fois. Pour pouvoir les penser et éviter, sous couvert de répondre à un besoin légitime, de déstabiliser encore plus un système d'enseignement déjà fragilisé, il importe de comprendre les difficultés de l'entreprise et de les prendre ensuite sérieusement en compte. Ces difficultés sont de nature diverse mais interfèrent les unes avec les autres, se renforçant mutuellement. Comme cela a été souligné dans ce rapport mais aussi dans le rapport de la CREM sur la formation des maîtres, les enseignants y sont peu préparés par leur formation initiale et la formation continue offerte dans ce domaine, quand elle existe, est insignifiante. À cette difficulté s'ajoute le fait que la culture d'enseignement est, dans notre pays, une culture où la collaboration est quelque chose de marginal, à l'intérieur même des disciplines, donc a fortiori entre enseignants de disciplines différentes. Favoriser ce travail n'est en rien une priorité pour les établissements dans la gestion des multiples

contraintes institutionnelles qu'ils rencontrent : contraintes horaires, contraintes de locaux, ..., et ceci en retour tend à maintenir le statut quo. Certains secteurs, comme celui de l'école élémentaire, offrent un contexte différent et a priori plus favorable, du fait de la polyvalence des enseignants, mais l'on se heurte là à une autre difficulté : celle du problématique rapport aux sciences de la majorité des enseignants. C'est sans doute aujourd'hui l'enseignement professionnel, du fait de la bivalence des enseignants de mathématiques et de la vocation plus appliquée de l'enseignement, qui présente a priori les caractéristiques les plus favorables mais, comme le montre l'état des lieux, même dans ce contexte, les enseignements de mathématiques et sciences physiques restent souvent peu connectés.

Faire vivre de façon non superficielle les rapports entre mathématiques et autres disciplines suppose, de plus, hors du contexte de l'enseignement primaire et professionnel, des dispositifs spécifiques. C'est dans ce but qu'ont été introduits les IDD au collège après diverses autres tentatives et les TPE au lycée. Mais la mise en place de ces dispositifs s'est traduite par une nouvelle diminution des horaires de mathématiques, et par un émiettement accru de dispositifs d'enseignement déjà très diversifiés. Construire une cohérence à travers ces différents dispositifs, où l'enseignement n'est pas forcément assuré par le même enseignant, les mettre en synergie au bénéfice des apprentissages des élèves, présente des difficultés sérieuses qui ont été très largement sous-estimées. Ce qui est perçu d'abord par beaucoup d'enseignants c'est une perte d'efficacité, l'impression qu'ils n'ont plus les moyens d'assurer à leurs élèves une culture mathématique de base suffisamment solide pour que l'on puisse construire dessus et qu'année après année, c'est un édifice de plus en plus branlant qui s'élève. Cette impression, qui est très certainement fondée, explique un certain nombre des réticences rencontrées. Elle conduit à questionner les stratégies de juxtaposition de dispositifs jusqu'ici utilisées, sans que soient profondément repensés les enjeux et priorités de l'enseignement des mathématiques, comme tente de le faire par exemple le projet KOM au Danemark.

Les recommandations qui suivent se veulent une base de proposition et de discussion pour essayer, de façon responsable et convaincue à la fois, de penser des solutions à cette question de l'évolution nécessaire mais difficile des rapports entre mathématiques et autres disciplines dans l'enseignement.

II.2. Tirer parti des mathématiques venues d'ailleurs

Cette recommandation n'est pas si simple : il s'agit de conserver la cohérence de la démarche mathématique, la rigueur de son formalisme, l'enchaînement de ses propositions, la portée des théories auxquelles elle aboutit, mais de savoir articuler cette cohérence avec tout ce que les élèves savent déjà ou apprennent par ailleurs.

Cela vaut dès l'école élémentaire. Les enfants savent compter avant de comprendre ce qu'est un nombre, comme ils savent parler avant de connaître la grammaire. Il serait ridicule de renoncer à numéroter les pages d'un livre de mathématiques au niveau du Cours préparatoire parce que le cours n'a pas encore traité de la numération décimale. Il est bon au contraire de partir de tout ce qui est familier pour accéder au simple (jamais donné) et au général.

Les enfants jouent. Beaucoup de jeux ont un contenu mathématique, et stimulent

des activités qui s'apparentent à la démarche du chercheur. Les enfants ont l'expérience des jeux de hasard. Ils peuvent s'initier au calcul des probabilités bien avant de pouvoir accéder à la notion générale de probabilité.

Il est souhaitable qu'une proportion notable de professeurs d'école ait une formation scientifique.

- **Nous recommandons à nouveau la reconnaissance et l'extension des licences pluridisciplinaires particulièrement adaptées pour les étudiants en sciences intéressés par l'enseignement primaire.**

À tous les niveaux, des notions mathématiques vont être utilisées par les professeurs d'autres disciplines. Il n'est pas indispensable qu'elles aient été préalablement exposées dans le cours de mathématiques. Si un professeur d'économie ou d'architecture a besoin d'une notion ou d'un résultat mathématique, il doit pouvoir l'exposer correctement, quoique de manière détachée de son environnement mathématique. C'est alors un élément pour le professeur de mathématiques, qui peut s'intégrer à un enseignement structuré.

Le lien à la physique mérite une attention particulière. La physique fournit aux mathématiques un aliment inépuisable. L'articulation des programmes de mathématiques et de physique a fait l'objet de bons travaux, en particulier pour lier fonction exponentielle et radioactivité en Terminale S. Nous avons signalé l'aménagement heureux réalisé en 2003 dans les programmes de mathématiques des classes préparatoires scientifiques. Son premier but était de donner au professeur de physique les outils mathématiques indispensables au début de son cours. C'est dans l'enseignement universitaire qu'une réflexion est urgente : de grands sujets mathématiques, comme le mouvement des planètes, font désormais partie des cours de physique. Quels sujets de physique, actuels ou non, mériteraient de faire partie de cours de mathématiques ? Et quels sujets, de cours communs ?

- **Pour les lycées, nous recommandons une concertation systématique entre les responsables de la rédaction des programmes de mathématiques et de physique.**
- **Pour les collèges, et là où les sciences physiques ne figurent pas explicitement, nous recommandons que des physiciens et chimistes participent à l'élaboration des programmes de mathématiques.**
- **Dans la formation des professeurs de mathématiques, comme d'ailleurs des professeurs de physique, nous recommandons que l'histoire commune des mathématiques et de la physique fasse l'objet d'un enseignement général incluant des études de cas très précis.**

Les liens qui relient mathématiques et sciences de la vie, et aussi mathématiques et économie sont certes moins forts que ceux qui unissent mathématiques et sciences physiques. Pour autant, la biologie comme l'économie introduisent naturellement des concepts mathématiques.

Pour ce qui est des liens entre mathématiques et économie, comme nous l'avons indiqué plus haut et développé en annexe, les programmes actuels de la série ES

pointent des notions qui peuvent être travaillées dans le cadre des deux disciplines.

Des domaines de la biologie, comme la génétique ou la dynamique des populations permettent de tisser des liens qui doivent se renforcer par la suite dans l'enseignement supérieur.

Une telle démarche doit permettre une meilleure coordination entre ces enseignements. Elle est une source d'enrichissement mutuel, à supposer que les professeurs des deux disciplines disposent d'un minimum de connaissances communes.

- **Nous recommandons qu'au cours des études universitaires, les professeurs de mathématiques s'initient à un domaine d'une discipline connexe (sciences physiques, sciences de la vie, sciences économiques, ...), y abordent la question de la modélisation et y développent les outils mathématiques pertinents : probabilités et statistiques, analyse numérique, graphes, informatique, ...**

II.3. Tisser des liens nouveaux entre les mathématiques et les autres disciplines scolaires

Dès le niveau du collège l'enseignement du français devrait tirer parti de celui des mathématiques. Les énoncés mathématiques les plus importants sont écrits en langue naturelle. La mise en forme en langue naturelle fait partie de l'activité mathématique. Un avis informé du professeur de français ou à l'occasion du professeur de langue vivante sur les textes mathématiques proposés aux élèves serait utile à tous égards.

C'est au niveau du lycée, comme nous l'avons déjà remarqué, que le divorce est le plus dommageable. On comprend mal Descartes écrivain et philosophe si l'on ne connaît pas la démarche de Descartes mathématicien.

- **Nous recommandons que certains grands textes scientifiques, et parmi eux de grands textes de mathématiciens, figurent au programme des études littéraires au lycée.**

Le professeur de philosophie a vocation à donner des éléments de réflexion à ses élèves sur tout ce qui concerne le présent et l'avenir de l'humanité. Une vue générale sur le mouvement des sciences devrait lui être indispensable. Une vue sur le mouvement contemporain des sciences mathématiques pourrait lui être précieuse. En tout état de cause, il appartient au professeur de philosophie comme à celui de mathématiques de faire comprendre que les mathématiques, tout en se nourrissant des autres sciences, ont leur développement propre, sans renvoi au réel, sous le seul contrôle de leur cohérence interne.

- **Nous recommandons que des équipes de philosophes et de mathématiciens constituent, à l'intention des professeurs de philosophie, une documentation commode et actuelle sur l'évolution des mathématiques. Nous nous permettons aussi de recommander que, comme par le passé, les futurs professeurs de philosophie soient tenus de s'initier à un domaine particulier des sciences.**

Le professeur d'histoire se préoccupe naturellement de l'évolution des idées, des sciences et des techniques. Les historiens d'aujourd'hui sont plus compétents et curieux dans ces domaines que leurs prédécesseurs. D'excellentes collaborations se sont nouées entre professeurs d'histoire et de mathématiques.

- **Nous recommandons que dans le cadre des IUFM soient organisés des travaux communs aux futurs professeurs d'histoire et de mathématiques, sur des sujets précis d'histoire des mathématiques.**

La géographie est proche parente de la géométrie. Tous les cours de géographie sont des mines de travaux possibles en mathématiques : échelles, repérage sur le plan et sur la sphère, saisons et calendrier, plans et cartes, lignes de niveau et potentiel, bassin d'attraction des fleuves et fractalité, statistiques, populations, etc.

- **Nous recommandons qu'en particulier au niveau du collège les programmes prévoient explicitement de part et d'autre l'articulation des cours de géographie et de mathématiques.**

L'économie introduit naturellement des concepts mathématiques, et, comme nous l'avons indiqué plus haut et développé en annexe, les programmes actuels ont été conçus pour bien articuler les cours de mathématiques et de sciences économiques et sociales. Les programmes et les instructions donnent donc un bon exemple d'interdisciplinarité, et les professeurs des deux disciplines doivent y trouver une motivation pour un travail bien coordonné.

- **Nous recommandons une concertation systématique entre les responsables de la rédaction des programmes de mathématiques et de sciences économiques et sociales.**

Au moment où la statistique est enseignée en mathématiques, il est bon d'en voir différents aspects en biologie, en économie, en physique, en géographie, etc. L'initiation à la statistique se prête à des formations jointes de professeurs de différentes disciplines. C'est une recommandation, déjà faite dans de précédents rapports, que nous reprenons ici.

- **Nous recommandons que des stages de statistique soient organisés en commun pour des professeurs de différentes disciplines.**

Pour tisser des liens nouveaux entre les mathématiques et les autres matières, rien n'est possible sans la participation active et l'initiative des professeurs.

- **Nous recommandons naturellement que les professeurs des différentes disciplines travaillent ensemble sur les contenus communs. Nous suggérons en outre que ce travail débouche, au moins de façon épisodique et symbolique, sur des séances de cours en commun devant les élèves.**

II.4. Perspectives pour les IDD, PPCP, TPE, ateliers et labos

Les IDD, les TPE et les TIPE dans les classes préparatoires permettent de mettre en œuvre l'interdisciplinarité en même temps que l'initiative des élèves. Nous avons

cité d'excellents exemples et aussi certaines difficultés. Nous avons, dans de précédents rapports, suggéré la création de laboratoires de mathématiques. Dans certains cas, des clubs (non officiels), des ateliers (officiels), et même des options « Sciences » en classe de seconde ont été créés.

Pour tirer le meilleur parti de ces formules, il faut d'abord prendre acte du fait que les IDD, TPE et TIPE donnent un peu de temps aux enseignants, en s'inscrivant dans leur temps de service, et une grande liberté aux élèves, en leur laissant le choix des sujets. Il reste ensuite à articuler de meilleure façon l'initiative des élèves et celle des professeurs : une liste de sujets suggérés par des équipes de professeurs en fonction de leurs propres intérêts et compétences pourraient, dans beaucoup de cas, orienter les élèves hors des sentiers battus. Il faut enfin une source de documentation, fiable et bien entretenue, et une communication organisée entre les professeurs des lycées et collèges et des équipes d'universitaires et de chercheurs, à l'image de ce qui se produit avec « Maths en jeans », mais élargi à l'ensemble des disciplines.

- **Nous recommandons à nouveau la création, d'abord expérimentale, puis progressive, de laboratoires de mathématiques dans les lycées et éventuellement dans les collèges. Ces lieux d'activités des élèves et de leurs professeurs doivent être pourvus de matériel informatique et d'autres matériels, et permettre l'accueil de professeurs et praticiens d'autres disciplines.**
- **Nous recommandons une évaluation précise des dispositifs actuels (IDD, PPCP, TPE, TIPE) dégagant les conditions nécessaires à leur réussite et les besoins exacts de formation initiale et continue.**
- **Nous recommandons toujours la création, d'abord expérimentale, puis progressive, de laboratoires de mathématiques dans les lycées et éventuellement dans les collèges, comme lieux d'activité des élèves et de leurs professeurs, pourvus de matériel informatique et d'autres matériels, et permettant l'accueil de professeurs et praticiens d'autres disciplines.**
- **Nous recommandons d'expérimenter différentes formules d'IDD et TPE, et en particulier différentes manières d'orienter les choix des élèves en tenant compte des intérêts et des compétences de leurs professeurs.**
- **Nous recommandons que les départements concernés des universités et centres de recherches incluent dans leurs charges d'intérêt général la participation aux activités de ce type.**
- **Nous recommandons également que les CDI soient pourvus de toute l'information pertinente pour la mise en œuvre de ces dispositifs.**

II.5. Une leçon à tirer de « la main à la pâte » : l'intérêt d'un site sur la toile comme centre de consultation et de ressources

« La main à la pâte » a créé un site qui s'avère efficace et contribue à créer des coopérations entre physiciens, chimistes et biologistes, didacticiens de ces disciplines, et professeurs des écoles. Il a nécessité des moyens matériels et humains importants. Outre l'aspect technique, assuré par un personnel compétent, la gestion

scientifique du site mobilise une équipe de consultants qui répondent aux questions, et jouent le rôle de comité de lecture pour les activités proposées. Ce site a maintenant une audience internationale.

- **Il serait souhaitable qu'un site soit consacré aux liens des mathématiques avec les autres disciplines. Nous recommandons la mise à l'étude d'un programme dans ce sens.**

II.6. Rôle des institutions

L'effort à faire pour mettre en œuvre ces recommandations, et si possible pour aller au delà, implique toute l'éducation nationale et toute la communauté mathématique, et nécessite des concours variés. Nous avons déjà dit la part qu'y ont déjà prise les sociétés savantes et les associations professionnelles. Il exige maintenant des actions de l'institution à tous les niveaux : ministre, directions du ministère, inspection générale, recteurs, inspections pédagogiques régionales et académiques, CNP, universités et autres organismes scientifiques, IUFM et IREM.

Sur proposition de l'Inspection générale, l'Académie des sciences pourrait être invitée à organiser une journée de sensibilisation des IPR et IA sur le contenu du présent rapport.

Les IUFM pourraient se voir attribuer la tâche de fournir à tous les professeurs, des écoles aux lycées, des repères culturels sur l'évolution des idées, des sciences et des techniques, où naturellement les mathématiques aient une place.

Insistons à nouveau sur la responsabilité des universités. Le lien entre les mathématiques et les autres disciplines doit se manifester par la présence dans tous les cursus destinés aux étudiants en mathématiques d'une composante historique et d'une initiation sérieuse à un domaine scientifique différent. Pour se traduire dans l'ensemble de l'enseignement, il impose des tâches nouvelles aux enseignants et aux chercheurs, qui doivent être reconnues par les universités.

Dans le système universitaire français, les IREM ont un rôle particulier de lien entre l'enseignement supérieur et les autres ordres d'enseignement. Ils ont, avant même les sociétés savantes, pris des initiatives allant dans le sens du présent rapport, en élargissant leurs contacts et leurs actions au delà des mathématiques. Leur expérience et leur potentiel seraient valorisés s'ils recevaient le mandat explicite d'élargir systématiquement leur champ de compétence en y incluant la relation avec les autres disciplines.

- **Nous proposons que les IREM reçoivent un mandat du gouvernement pour la mise en œuvre des recommandations contenues dans le présent rapport, et en particulier pour l'élaboration de documents, la mise en place de sites adaptés, et la réalisation, dans le cadre des académies avec le concours des IUFM, de stages de formation continue interdisciplinaires.**