

STATISTIQUE, INFORMATIQUE, MATHÉMATIQUES ET INTERDISCIPLINARITÉ

Jeanne FINE¹

TITLE

Statistics, computing, mathematics and interdisciplinarity

RÉSUMÉ

Nous discutons en première partie de la place de la statistique par rapport aux mathématiques, d'abord au niveau scientifique puis au niveau de l'enseignement scolaire et universitaire. Dans une deuxième partie, après avoir évoqué des débats en cours sur l'enseignement des mathématiques, nous présentons brièvement diverses propositions, issues de recherches et d'expérimentations, convergeant vers une approche de l'enseignement des mathématiques en interdisciplinarité (initiation à la démarche scientifique et à la modélisation pour résoudre des problèmes issus d'autres disciplines). La formation des professeurs est une condition de réussite des réformes éducatives ; le changement de pratiques professionnelles passe par un changement des représentations que les professeurs ont des élèves, des apprentissages, des disciplines, de l'école, de l'évaluation, ... Cela nécessite une formation longue et approfondie qui ne soit pas uniquement disciplinaire. C'est l'objet de la dernière partie.

Mots-clés : interdisciplinarité, disciplines, statistique, probabilités, mathématiques, informatique, enseignement des mathématiques, formation des professeurs, pratiques professionnelles, représentations.

ABSTRACT

In the first part, we discuss the place of statistics with regards to mathematics, first at a scientific level, then, at a school and university levels. In a second part, after mentioning some actual debates on the mathematics education, we present some suggestions, issued from research works and experimentations, leading to an approach of the mathematics teaching in an interdisciplinary context (initiation into the scientific approach and into the modelling to solve problems stemming from the other disciplines). Teachers' training is an essential condition for the educational reforms success; a change of the professional practices is linked to a change of the representations (of the pupils, of the learning processes, of the disciplines, of the school, of the evaluation, ...). This requires a long and deep formation which does not involve uniquely the discipline. It is the topic of the third part.

Keywords: interdisciplinarity, disciplines, statistics, probability, mathematics, computing, mathematics teaching, teachers training, professional practices, representations.

1 Introduction

Le thème de ce numéro « l'enseignement de la statistique en interdisciplinarité » nous amène évidemment à nous interroger sur « la statistique » et sur « les disciplines », en particulier sur la place de la statistique par rapport aux mathématiques. Les places de l'informatique, de la didactique et des sciences de l'éducation seront aussi questionnées. C'est l'objet de la première partie de cette contribution, en se plaçant d'abord au niveau scientifique

¹ Professeure des Universités, Statisticienne, Toulouse, jeanne.fine@gmail.com

puis au niveau de l'enseignement scolaire et universitaire. Nous ne discuterons pas le choix du mot « enseignement » plutôt que « éducation », « formation », « apprentissage ». Enfin, le mot « interdisciplinarité » est utilisé dans un sens déjà précisé dans le résumé : initiation à la démarche scientifique et à la modélisation pour résoudre des problèmes issus d'autres disciplines. Mais il prendra un autre sens que nous préciserons dans le cadre de la formation des professeurs.

Dans une seconde partie, nous évoquons tout d'abord des débats récents sur l'enseignement des mathématiques dans l'enseignement secondaire parus dans les médias aux U.S. et en France. Nous présentons ensuite brièvement d'autres approches de l'enseignement des mathématiques dans le secondaire, reposant sur des travaux de recherche et des expérimentations, proposées à l'occasion de rapports et colloques sur l'enseignement des mathématiques. L'une de ces approches consiste à initier les élèves à la démarche scientifique et à la modélisation pour résoudre des problèmes de la vie courante ou issus d'autres disciplines.

Changer les programmes est insuffisant, il s'agit de modifier profondément les conditions dans lesquelles les appliquer. Nous nous intéressons en troisième partie au métier d'enseignant et aux échecs des dernières réformes éducatives, enfin, à la formation des professeurs. Un changement des pratiques professionnelles passe par un changement des représentations que les professeurs ont des élèves, des processus d'apprentissage, des disciplines, de l'école... Cela nécessite une formation longue (et interdisciplinaire) dans le cadre d'une réforme globale et en profondeur du système éducatif qui décloisonne les disciplines.

Nous revenons en conclusion sur les difficultés de l'enseignement de la statistique et sur la nécessité d'ouvrir l'enseignement des mathématiques sur les autres disciplines.

Cette contribution ne s'appuie pas sur un travail de recherche mais sur une expérience d'enseignement menée dans le département de mathématiques d'une université de lettres et sciences humaines, puis dans celui d'un institut universitaire de formation des maîtres ; elle n'a pas d'autre ambition qu'être une invitation au débat².

2 Les « disciplines » mathématiques, informatique, statistique

2.1 Niveau scientifique

2.1.1 Maths-pures et maths-appli

Les mathématiques sont découpées en différents domaines ; on peut citer très schématiquement : algèbre, géométrie, analyse (qui forment les maths dites pures), analyse numérique, probabilités, statistique (les maths appli). Cependant, de nouveaux domaines se sont insérés aux frontières de ces domaines ou aux frontières des mathématiques avec d'autres disciplines scientifiques (physique, informatique, biologie, économie, ...). A ce titre, les mathématiques se développent dans les deux sens, d'une part une recherche de fondements et

² On pourra consulter Lenoir et Sauvé (1998) pour une synthèse de travaux de recherche sur l'interdisciplinarité et on trouvera sur Internet bien d'autres références plus récentes sur l'inter-trans-co-pluri-disciplinarité.

J. Fine

d'unité (ce qui justifierait le terme de « la mathématique »), d'autre part une multiplication de ramifications (« les mathématiques »).

Et l'informatique ? L'informatique est présentée ici comme une discipline scientifique extérieure aux mathématiques ; ce choix repose sur une autonomie récente de l'informatique, justifiée par son développement important en interaction avec d'autres disciplines que les mathématiques³.

Qu'en est-il de la statistique ? Elle a été présentée dans les maths-appli car le découpage présenté ci-dessus est celui communément admis dans la recherche et l'enseignement supérieur en France en 2012. Mais la question de son autonomie par rapport aux mathématiques se pose régulièrement.

Dans le rapport à l'Académie des sciences sur *La Statistique*, dirigé par P. Malliavin (2000), on lit dès la page d'introduction de la présentation de la discipline :

« ... il est question d'aborder les positions relatives de la statistique, des probabilités et des mathématiques dans leur ensemble. Il s'agit ici de questions majeures qui posent le problème de l'*autonomie* de la statistique au sein des autres sciences, comme celui de son *indépendance* par rapport aux branches mathématiques auxquelles elle est associée. »⁴

Quelques pages plus loin dans le rapport (p. 38), P. Malliavin aborde cette question par le paragraphe suivant :

« Les mathématiciens purs français ont eu raison de ne pas s'opposer dans les années 1970 au développement en France d'une puissante école d'analyse numérique. Aujourd'hui, il est temps que l'école statistique française puisse monter régulièrement en puissance dans les universités et établissements d'enseignement supérieur sans être étouffée dans l'œuf par des prétentions hégémoniques de mathématiciens purs et, singulièrement, de probabilistes. »

Cet extrait montre l'existence de rapports de force entre communautés scientifiques qui justifie la tentation de certains statisticiens d'autonomiser leur discipline des mathématiques, comme l'ont fait avec succès les informaticiens.

2.1.2 Qu'est-ce que la statistique ?

Nous lisons en introduction du rapport cité ci-dessus la définition suivante de la statistique, définition rapidement considérée comme trop restrictive dans la suite de l'introduction :

« Une définition présente la statistique comme une branche des mathématiques appliquées, basée sur des principes probabilistes, et ayant pour objet le traitement des données numériques. »

Certains préciseraient « le recueil et le traitement des données numériques » pour inclure la théorie des sondages et les plans d'expériences. C'est de façon assez formelle que les mathématiciens se spécialisant en statistique abordent ce domaine.

Il est clair que cette « *statistique* » ne prépare pas à la « *pratique de la statistique* » de la même façon que les études théoriques de médecine ne préparent pas à la pratique de la médecine.

³ Sur la question de l'informatique comme discipline autonome, on se référera à l'article de P. Breton (1987), accessible en ligne, intitulé « L'informatique comme discipline existe-t-elle ? Histoire d'un clivage qui sépare les informaticiens ».

⁴ Les deux mots en italique sont en italique dans le texte.

Voici la définition donnée par H. Rouanet⁵, chercheur de référence en France sur l'enseignement de la statistique en sciences humaines (cf. adresse de son site en référence) :

« Il y a statistiques et Statistique. "Les *statistiques*" – familièrement : les "stats" – ce sont les données chiffrées (moyennes, pourcentages, indices de toute sorte) des mass media et qu'on rencontre aujourd'hui dans tous les secteurs possibles et imaginables : statistiques officielles (INSEE), sondages, etc. "La *statistique*" – au singulier, voire avec la majuscule (la "Statistique") – c'est la discipline qui a pour objet les *méthodes* qui permettent d'analyser les données statistiques. »

La statistique, telle qu'elle est définie ci-dessus, date du début du XX^e siècle. Elle est parfois appelée *statistique mathématique* pour l'opposer à la *statistique publique* (ou officielle) dont la mission⁶ est l'enregistrement des statistiques de l'État : population, richesse, emploi, consommation, ...

Ainsi définie, la *statistique* serait la *statistique mathématique*, et les *statistiques* seraient les résultats produits en vue de leur diffusion. Cependant, bien des statisticiens (y compris des statisticiens mathématiciens) n'ont pas cette représentation de la statistique, considérée, nous l'avons déjà dit, comme trop restrictive.

2.1.3 L'image de la statistique donnée par les sociétés savantes de statistique

Tentons d'aborder la statistique à partir de l'image donnée par les sites Internet des sociétés savantes de statistique. On lit sur la page d'accueil du site Internet de l'ISI (*International Statistical Institute*) un message de bienvenue dont la traduction est :

« Bienvenue sur le site Internet de l'ISI : le réseau mondial des statisticiens *de toutes les disciplines statistiques* ! »

L'onglet "ISI-Associations" fait apparaître sous son égide sept associations qui sont autant d'organisations séparées. Il s'agit, dans l'ordre de création depuis 1973, d'associations spécialisées dans : « enquêtes et sondages », « statistique mathématique » (société Bernoulli), « calcul statistique » (statistical computing), « statistique publique » (official statistics), « enseignement de la statistique », « commerce et industrie », « environnement ».

On retrouve ces spécialités dans la liste des groupes de la SFdS (Société Française de Statistique), dans l'ordre alphabétique : « Agro-Industrie », « Banque, Finance, Assurance », « Biopharmacie et Santé », « Chimométrie », « Data Mining et Apprentissage », « Enquêtes, Modèles et Applications », « Enseignement de la statistique », « Environnement et Statistique », « Fiabilité et Incertitudes », « Histoire de la statistique, des probabilités et de leurs usages », « Statistique mathématique », « Statistique et Images », « Statistique et Société ».

Selon ces classifications, les *statistiques* désigneraient ces nombreuses « disciplines », l'une d'entre elles étant la *statistique mathématique*.

⁵ Cf. « A la mémoire d'Henry Rouanet (1932-2008) », *Le comité de rédaction du BMS*, 100, 2008, <http://bms.revues.org/index3433.html>

⁶ Cette première mission a donné son nom à la discipline : statistique vient du latin *status* qui signifie État. Cette activité est très ancienne : le recueil des données de population et de richesse fait partie de l'organisation des premières civilisations connues.

2.1.4 Statistique mathématique et statistique publique

De fait, la pratique des statisticiens diffère énormément selon l'organisme dans lequel ils travaillent. Voici un extrait de l'ouvrage intitulé *Le métier de statisticien* (M. Volle, 1984) :

- « Le terme de « statistique » recouvre des disciplines qui se distinguent par leur objet, leurs méthodes, leur langage et dont les échanges mutuels sont plus rares qu'on ne pourrait le croire ou le souhaiter :
- la statistique mathématique et le calcul des probabilités sont pratiqués par des mathématiciens travaillant pour la plupart au sein de l'Université ;
 - quelques disciplines, comme la médecine, la psychologie, la biologie, la sociologie, ont développé chacune des méthodes statistiques qui leur sont propres ;
 - les entreprises spécialisées dans les sondages d'opinion commercialisent des résultats obtenus au moyen d'une technique statistique particulière ; enfin,
 - un ensemble de services statistiques publics ou privés (ce que nous nommons « l'institution statistique ») concourt à produire des informations sur le domaine économique et social, principalement en réalisant des enquêtes ou en exploitant des documents d'origine administrative. »

Dans sa communication lors des dernières Journées de Statistique de la SFdS à Bruxelles, intitulée *Sur l'histoire de la méthodologie statistique : mesurer ou instituer ? Deux traditions de recherche encore largement séparées*, A. Desrosières (2012) décrit avec détail le fossé qui sépare les statisticiens méthodologues (statistique mathématique) et les statisticiens de la statistique publique (l'institution statistique, selon M. Volle). Voici un extrait de son résumé :

- « En effet, alors que l'existence et la position de la lune ou de l'étoile polaire prêtent peu à controverse, en revanche, l'existence et la grandeur de variables comme l'inflation, le chômage, le Produit intérieur brut, ou, *a fortiori*, l'opinion publique, l'intelligence ou le bonheur, reposent sur des systèmes de *conventions sociales*, indispensables pour procéder aux opérations de mesure.

L'étude systématique de ces conventions fait rarement partie du bagage théorique des méthodologues, et relève de traditions de recherche très différentes : histoire, sociologie, économie, linguistique, anthropologie, herméneutique... Depuis une trentaine d'années, ces questions ont été étudiées, par exemple dans le courant français dit de l'« économie des conventions », dont les promoteurs étaient d'ailleurs souvent des anciens statisticiens. Comment expliquer ce clivage des traditions de recherche ? Est-il possible d'y remédier ? Comment articuler des cultures aussi différentes ? »

2.2 Niveau scolaire et universitaire

2.2.1 Débat sur l'enseignement de la statistique aux U. S.

Un libre-propos, intitulé *Statistics à la mode*, a récemment été publié dans la revue *Math Horizon* (de la « *Mathematical Association of America* »). L'auteure, M. Dillon (2011), Professeure de mathématiques dans une école d'ingénieurs de Géorgie, a été amenée à faire un cours d'introduction aux probabilités et statistique dans une école d'ingénieurs en France ; elle compare les supports de cours aux U.S. et en France pour des étudiants similaires. En ce qui concerne les U.S., elle dénonce les livres onéreux et confus, remplis d'images et d'organigrammes, que les étudiants sont contraints d'acheter. Elle apprécie la présentation plus formelle du cours français, à partir d'un polycopié distribué gratuitement aux étudiants, et regrette qu'il n'existe pas à sa connaissance aux U.S. de cours d'introduction aux probabilités et statistiques reposant sur les mathématiques. Elle conclut sur le fait que, plutôt que de s'appuyer sur ces livres confus qui évitent les mathématiques, il serait préférable d'amener les étudiants à comprendre et utiliser des concepts mathématiques à partir de problèmes réels.

Une réponse à ce libre-propos est apportée sur le même site par le groupe SIGMAA (2012), *Special Interest Group of the Mathematical Association of America on Research in*

Undergraduate Mathematics Education. La réponse de SIGMAA commence par un extrait d'un article de David Moore (1988) donnant les raisons pour lesquelles *la statistique est une discipline séparée des mathématiques* :

- la statistique n'a pas ses origines dans les mathématiques ;
- les objectifs et controverses de la statistique ne sont pas les mêmes qu'en mathématiques ;
- les standards d'excellence en statistique diffèrent de ceux des mathématiques ;
- la statistique ne participe pas à l'interrelation entre les différents champs qui caractérisent les mathématiques contemporaines.

Ces arguments ne sont pas convaincants pour les mathématiciens formés à la statistique qui pratiquent et enseignent la statistique car il est possible, selon eux, de distinguer : *la statistique* (corpus mathématique incluant les probabilités jusqu'aux théorèmes limites), *la pratique de la statistique* (i.e. formuler une question, collecter des données, analyser les données et interpréter les résultats) et *l'enseignement de la statistique*⁷.

Pour l'enseignement secondaire, il s'agit depuis quelques années d'enseigner la *pratique de la statistique*. Mais quelle pratique doit-on enseigner : celle du physicien ? du biologiste ? de l'économiste ? du sociologue ? du psychologue ?

La réponse à ces questions est bien différente selon les pays. Il est en particulier intéressant de comparer le curriculum statistique proposé en France avec celui proposé aux U.S. dans le rapport GAISE (Franklin *et al.*, 2007), en libre accès sur le site de l'American Statistical Association⁸.

On lit, en page 6 de l'introduction de ce rapport GAISE, un paragraphe intitulé "The difference between Statistics and Mathematics", qui reprend les arguments de David Moore :

« The Difference between Statistics and Mathematics

"Statistics is a methodological discipline. It exists not for itself, but rather to offer to other fields of study a coherent set of ideas and tools for dealing with data. The need for such a discipline arises from the *omnipresence of variability*." (Moore and Cobb, 1997)

A major objective of statistics education is to help students develop statistical thinking. Statistical thinking, in large part, must deal with this omnipresence of variability; statistical problem solving and decision making depend on understanding, explaining, and quantifying the variability in the data.

It is this focus on *variability in data* that sets apart statistics from mathematics. »

Pour les auteurs, la statistique est une discipline « méthodologique » ; elle est définie par sa « pratique ». Sans être forcément d'accord avec la définition de la statistique, on peut être d'accord sur le fait qu'il s'agit dans le secondaire d'enseigner la *pratique de la statistique*, et le curriculum statistique proposé dans ce rapport est bien différent du curriculum statistique français.

La tentative de définir la statistique peut sembler une question polémique et sans intérêt. Pourtant, on n'organise pas les mêmes formations en statistique et on ne prend pas les mêmes

⁷ Bien sûr, le contenu et la forme de l'enseignement de la statistique diffèrent selon qu'il s'adresse à des élèves du primaire, du collège ou du lycée, à des étudiants scientifiques ou non scientifiques, à des adultes en formation continue..., diffèrent aussi selon les objectifs de la formation, le temps imparti et les conditions pour la mener.

⁸ Cette comparaison est à paraître en 2013 dans un prochain numéro de la revue sur le thème « Le curriculum statistique en primaire et secondaire en France et à l'étranger », sous la direction de C. Batanero, J. Fine et J.-P. Raoult.

J. Fine

décisions à propos de la statistique (cf. paragraphe suivant), selon que l'on partage telle ou telle conception de l'identité disciplinaire de la statistique.

2.2.2 Débat interne au comité éditorial de la revue *Statistique et Enseignement*

Ce sont des représentations différentes de la statistique parmi les membres du comité éditorial de notre revue *Statistique et Enseignement* qui ont suscité un débat évoqué dans l'éditorial du n° 2 du volume 1 sous le titre « *Vous avez dit proba-stat ?* » :

« A l'occasion des expertises sur les projets d'articles susceptibles d'être publiés dans ce troisième numéro de *Statistique et Enseignement*, est apparu un débat qu'on pourrait caricaturer par la question : **les articles « purement » sur l'enseignement des probabilités entrent-ils dans le champ de la revue ?**

Cette question peut être abordée à deux niveaux : scientifique (*La théorie des probabilités et la statistique sont-elles deux disciplines que l'on pourrait nettement distinguer l'une de l'autre ?*) et pédagogique (*Y a-t-il lieu de considérer que l'enseignement dit « des probabilités » et celui dit « de la statistique » (ou « des statistiques ») suscitent des questionnements différents ?*). »

Le comité éditorial est composé de représentants des trois communautés s'intéressant à l'enseignement de la statistique :

- celle des statisticiens (professionnels et/ou universitaires) ;
- celle des didacticiens ;
- celle des professeurs de mathématiques qui ont à enseigner la statistique et les probabilités dans le secondaire.

Cette dernière communauté est représentée en France par l'APMEP (Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public) ; les trois communautés peuvent se retrouver dans les IREM (Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques). Les frontières entre ces trois communautés ne sont pas étanches et les communautés elles-mêmes ne sont pas homogènes quant aux modalités d'une initiation à la statistique.

Apparaissent dans les rapports d'expertise les représentations que se font leurs auteurs de la statistique et des probabilités. Pour certains rapporteurs, les probabilités seraient du côté des mathématiques et la statistique permettrait de passer d'observations concrètes aux mathématiques. L'article expertisé n'est donc pas dans le champ de la revue. Pour d'autres, le passage d'observations concrètes aux mathématiques s'appelle *modélisation* alors que la statistique est une discipline mathématique qui englobe, pour son enseignement, les bases des probabilités jusqu'aux théorèmes limites. Ce même article est donc dans le champ de la revue.

2.2.3 Quid de la didactique ?

Pour pouvoir exister et être reconnue, la communauté des didacticiens tente, elle aussi, d'autonomiser sa « discipline » des autres disciplines. Dans le continent de la didactique, on trouve autant de spécialisations que de champs d'étude. Parmi les didacticiens des mathématiques, il y a les didacticiens des probabilités et les didacticiens de la statistique qui ont des sessions parallèles aux colloques internationaux sur l'enseignement des mathématiques. Lors du dernier *International Congress on Mathematical Education* (Séoul, Corée, 2012), 37 groupes de travail ont été mis en place : le n° 11 concerne l'enseignement des probabilités, le n° 12 l'enseignement de la statistique.

2.2.4 Les disciplinaires et les spécialistes de sciences de l'éducation

C'est dans le cadre de la formation des futurs professeurs du primaire et du secondaire qu'interviennent des formateurs des différentes disciplines scolaires, en particulier des didacticiens de toutes disciplines, et des formateurs de sciences de l'éducation. Les IUFM⁹ auraient pu être le lieu d'un rapprochement entre ces formateurs, mais la succession « prépa concours » en première année, « professionnalisation » en deuxième, imposait un fonctionnement séparé qu'il était très difficile de dépasser. Du côté de la recherche, les réformes incessantes touchant les IUFM exacerbent les luttes de pouvoir en interne. De plus, les disciplinaires des universités se désintéressaient totalement de la recherche sur l'enseignement de leur discipline, ceci étant à nuancer, bien sûr, selon les académies, les filières universitaires et même les personnes.

La création des Écoles Supérieures du Professorat et de l'Éducation (ESPE) à la rentrée 2013, en remplacement des IUFM, relance les débats entre disciplinaires et spécialistes de sciences de l'éducation dont les médias se font l'écho.

2.2.5 L'informatique, nouvelle discipline scolaire ?

L'Éducation nationale a fait une large place aux TICE (technologies de l'information et de la communication pour l'éducation) et a créé depuis 2001 le B2i (brevet informatique et internet) avec trois niveaux, école, collège, lycée et, pour les études universitaires, le C2i (certificat informatique et internet) avec deux niveaux, le premier en licence et le deuxième en master, le C2i2e étant le C2i niveau 2 pour l'enseignement, obligatoire dans les masters « enseignement ».

Il s'agit là de former tous les élèves et les étudiants à *l'utilisation de l'informatique et de l'internet* mais « il ne s'agit plus aujourd'hui de savoir cliquer sur une souris ». Il est question à présent d'introduire *l'informatique comme nouvelle discipline scolaire*. L'année 2012 voit l'entrée de l'informatique en tant qu'enseignement de spécialité en classe de Terminale scientifique. La question d'étendre cette possibilité à l'ensemble des sections du baccalauréat, voire d'étendre l'enseignement de l'informatique à tous les niveaux d'enseignement est discutée.

Dans un article intitulé « *L'informatique à l'école : il ne suffit pas de savoir cliquer sur une souris* », paru sur Rue89, Archambault, Berry et Nivat (2012) posent les éléments du débat :

« Comment l'école doit-elle s'y prendre pour donner à tous cette culture générale de notre époque de la maternelle au lycée, ce qui est sa mission essentielle ? Concrètement, faut-il une discipline informatique ou non ?

Deux approches pédagogiques se confrontent depuis des décennies :

- pour l'une, les apprentissages doivent se faire exclusivement à travers les usages de l'outil informatique *dans les différentes disciplines existantes* ;
- pour l'autre, l'informatique étant partout et ayant ses façons de penser spécifiques, elle doit devenir une discipline scolaire en tant que telle. »

⁹ Les IUFM (Instituts Universitaires de Formation des Maîtres), établissements autonomes créés en 1991, ont été rattachés aux universités en 2010. La formation des maîtres (du primaire et du secondaire) a simultanément été confiée aux universités dans le cadre de la réforme dite de « mastérisation », laissant peu de place à la professionnalisation.

J. Fine

Les auteurs prônent la deuxième approche, ce qui pose immédiatement la question des contenus de ces enseignements :

- « - au *lycée*, l'option « informatique et science du numérique » devient un enseignement obligatoire en terminale S puis en première. Pour les séries ES et L, une option puis un enseignement obligatoire sont progressivement mis en place, d'abord en terminale puis en première. A terme, un enseignement pour tous en seconde est nécessaire ;
- au *collège* est introduit un enseignement de l'informatique pour tous, par exemple selon une modalité où l'informatique représente de l'ordre de 40% des contenus de la discipline Technologie. Une formation complémentaire en informatique doit être donnée aux enseignants de cette discipline ;
- à l'*école primaire*, une initiation pour tous à l'informatique est indispensable ;
- en matière de *formations initiale et continue des enseignants*, la création d'une agrégation et d'un capes est plus que souhaitable, à l'instar de ce qui se fait pour les autres disciplines ;
- enfin, l'informatique doit avoir toute sa place dans les *classes préparatoires* et les *grandes écoles*. »

On trouvera en ligne un long argumentaire sur les enjeux de l'enseignement de l'informatique de Nivat et Volle (2012). La comparaison avec les mathématiques et leur enseignement fait partie des arguments. On lit en conclusion :

« L'enseignement de l'informatique, s'il est bien conçu et convenablement dispensé, milite donc implicitement pour une restauration de *l'esprit de recherche* dans le système éducatif en lieu et place de l'assimilation scolaire de résultats des recherches passées – résultats respectables, mais que le dogmatisme de leur présentation coupe de la démarche dont ils furent l'aboutissement.

L'enjeu n'est donc pas seulement de former nos enfants à l'informatique pour répondre aux besoins du système productif, ni même de leur donner la formation qui leur permettra, devenus des citoyens, de comprendre le monde dans lequel ils vivent.

Il s'agit aussi de restaurer la place de la *démarche* scientifique, qui est création et activité et non contemplation passive d'un Vrai intemporel. Cela va de pair avec une conception active de la pensée, avec une évaluation de la pertinence de celle-ci en regard des exigences de l'action : c'est une leçon que la pratique de l'informatique propose à la sagacité des philosophes. »

Les auteurs rejoignent, d'une part, les critiques faites par certains mathématiciens à l'enseignement actuel des mathématiques (« l'assimilation scolaire de résultats des recherches passées, résultats respectables, mais que le dogmatisme de leur présentation coupe de la démarche dont ils furent l'aboutissement »), d'autre part, les propositions pour y remédier (« restaurer la place de la *démarche* scientifique »).

Le 1^{er} juin 2012, la Société Informatique de France (SIF) voit le jour ; il s'agit en fait d'un changement de nom de la société SPECIF (Société des Personnels Enseignants et Chercheurs en Informatique de France), fondée en 1985. Elle obtient le 2 juillet le soutien des trois sociétés savantes de mathématiques (la Société Mathématique de France (SMF), la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles (SMAI) et la Société Française de Statistique (SFdS) à sa demande d'introduire un enseignement de l'informatique au lycée. Tout en apportant leur soutien, les mathématiciens redoutent que ce nouvel enseignement se fasse au détriment de l'enseignement des mathématiques.

Cette crainte est fondée. Une illustration en sera donnée au § 3.1 par la présentation de deux débats récents dans les médias remettant en cause l'enseignement des mathématiques. Dans un article sur l'avenir de l'enseignement des mathématiques au collège et au lycée, Y. Chevillard (2009) rappelle, en prenant l'exemple du latin et de la rhétorique, que les disciplines scolaires, elles aussi, sont mortelles et soulève la question de la disparition possible des mathématiques comme discipline scolaire.

2.3 Hyperspécialisation

Cette hyperspécialisation et cette multiplication des disciplines posent des problèmes que nous évoquerons dans la partie suivante. Citons à ce propos un texte de H. Rouanet (cf. son site Internet en référence) :

« Le phénomène d'hyperspécialisation se produit lorsque dans une discipline, une spécialité, gonflée à l'excès, se détache avec une problématique qui prise isolément se trouve privée de sens. En sciences sociales, ce phénomène a été bien décrit par Bourdieu (avec sous-jacente la notion de champ) : "Je me rappelle le sentiment de scandale que j'avais éprouvé, au congrès mondial de sociologie de Varna, devant le morcellement des groupes de travail entre la sociologie de l'éducation, la sociologie de la culture et la sociologie des intellectuels, qui conduisait chacune de ces "spécialités" à abandonner à une autre les véritables principes explicatifs de ses objets." (*Esquisse pour une auto-analyse*, p. 89).

En statistique, dans les années 1940, une première hyperspécialisation s'est produite avec la scission entre "statisticiens" et "probabilistes" (une "innovation française" déclarait Fisher, pas vraiment tendre pour nos compatriotes). Ensuite, la statistique académique s'est progressivement détachée de la méthodologie statistique des chercheurs, toujours au grand dam de Fisher, qui aurait voulu que tout statisticien qui se respecte ait une double formation, en statistique et dans une science naturelle. Aujourd'hui, le fossé entre les deux statistiques est si profond qu'on pourrait croire qu'il s'agit de deux mondes séparés, comme la mécanique des mathématiciens et la mécanique des garagistes. Mais socialement, la statistique académique occupe la position dominante de discipline "fondamentale", et la statistique des chercheurs, celle de discipline "appliquée" (ou prétendue telle). Les "mathématiciens" sont cités par les "méthodologistes", non l'inverse. L'irresponsabilité du "méthodologiste" se traduit (se trahit) par la réponse typique à toute question indiscreète: "I am not a mathematician!". En statistique académique, si l'on propose une méthode, l'originalité est de rigueur; en méthodologie statistique, la méthode proposée doit avoir "fait ses preuves". La diffusion des innovations se fait avec une lenteur incroyable. La lente et limitée reconnaissance de l'analyse des correspondances n'est pas un phénomène unique. La statistique bayésienne, qui s'est détachée en tant que nouvelle spécialité florissante de la statistique académique, reste toujours absente en statistique des chercheurs. »

On aura noté que les « méthodologues » sont pour Volle et Desrosières les mathématiciens alors que pour Rouanet les « méthodologistes » sont les chercheurs d'autres disciplines que les mathématiques.

Dans un cadre plus général, voici un extrait d'un article d'Edgar Morin (1994) sur l'interdisciplinarité :

« La fécondité de la discipline dans l'histoire de la science n'a pas à être démontrée ; d'une part, elle opère la circonscription d'un domaine de compétence sans laquelle la connaissance se fluidifierait et deviendrait vague ; d'autre part, elle dévoile, extrait ou construit un objet non trivial pour l'étude scientifique : c'est en ce sens que Marcelin Berthelot disait que la chimie crée son propre objet. Cependant l'institution disciplinaire entraîne à la fois un risque d'hyperspécialisation du chercheur et un risque de "chosification" de l'objet étudié dont on risque d'oublier qu'il est extrait ou construit. L'objet de la discipline sera alors perçu comme une chose en soi ; les liaisons et solidarités de cet objet avec d'autres objets traités par d'autres disciplines, seront négligées ainsi que les liaisons et solidarités avec l'univers dont l'objet fait partie. La frontière disciplinaire, son langage et ses concepts propres vont isoler la discipline par rapport aux autres et par rapport aux problèmes qui chevauchent les disciplines. L'esprit hyperdisciplinaire va devenir un esprit de propriétaire qui interdit toute incursion étrangère dans sa parcelle de savoir. »

Dans l'article déjà cité, Y. Chevillard (2009) dénonce la formation quasi exclusivement disciplinaire des professeurs :

« L'un des grands problèmes de l'enseignement secondaire tient en ceci que la formation, formelle mais surtout informelle, des professeurs de chaque discipline enseignée leur a inculqué, non pas un regard lucide sur ce qu'ils nomment abusivement « leur » discipline, non pas une capacité de distanciation critique à son endroit, mais une adhésion passionnée, inconditionnelle, jalouse à une réalité qui, manifestement, dépasse cette discipline elle-même – et qui, en particulier, dépasse le simple « corporatisme ».

J. Fine

C'est d'abord là-dessus qu'il nous faut aujourd'hui revenir, pour déconstruire le chauvinisme épistémologique qui constitue l'un des plus redoutables obstacles à une *réception culturelle effective et paisible* des disciplines enseignées. »

3 Les débats, rapports et colloques sur l'enseignement des mathématiques

3.1 Deux débats récents dans les médias et une réponse

3.1.1 Comment réparer l'enseignement des mathématiques ?

Le premier débat (cf. en référence J.-M. Kantor, 2012) vient d'un article de Garfunkel et Mumford, intitulé « *How to fix our math education ?* », publié le 28 août 2011 par le *New-York Times*. La traduction en français par J.-M. Kantor est publiée en septembre dans *Le Monde* et, suite aux nombreuses réactions à cet article, J.-M. Kantor organise, le 8 avril 2012 à Paris, une journée de débats sous le titre « *Comment réparer l'enseignement des mathématiques ?* ». Ce débat est repris dans la revue *Commentaire* (2012) : après une introduction de J.-M. Kantor et la traduction de l'article de Garfunkel et Mumford, une quinzaine de contributions sont reproduites. Nous faisons un bref résumé de l'article de Garfunkel et Mumford et reprendrons, dans le paragraphe suivant, quelques arguments donnés dans les contributions.

En réaction à l'adoption par 40 États des U.S. d'un *curriculum de mathématiques très traditionnel* (dans l'ordre des modules : algèbre, géométrie, encore algèbre, fondements de l'analyse mathématique, enfin analyse), les auteurs proposent de mettre au cœur de l'enseignement des mathématiques dans les études pré-universitaires *leur rôle comme modèle pour comprendre et agir dans le monde réel*.

« Un cursus mathématique qui serait centré sur des problèmes réels (real life) pourrait continuer à présenter aux étudiants les outils abstraits des mathématiques, en particulier la manipulation de quantités inconnues (l'algèbre).

Mais il y a un monde entre l'enseignement des « mathématiques pures » hors de tout contexte et l'enseignement de problèmes précis qui vont conduire les étudiants à apprécier comment une formule mathématique modélise et clarifie des situations réelles. »

Ils ajoutent « Imaginons que l'on remplace la séquence *algèbre, géométrie et calcul (analyse)* par : *finance, données numériques et ingénierie de base* » et détaillent ce que pourrait être le contenu de chaque partie : la partie « finance » porterait sur les taux d'intérêt, la gestion d'un budget, la comptabilité d'entreprise et la comptabilité nationale, la partie « données numériques » porterait sur probabilités et statistique, la partie « ingénierie de base » sur moteurs, sondes sonores, signaux de télévision et des ordinateurs.

La séquence proposée par les auteurs est critiquée par quasiment tous les contributeurs, même par ceux qui sont d'accord sur le fait qu'il faut redonner du sens aux mathématiques et qui sont favorables à une ouverture sur des problèmes « réels » (cf. § 3.2).

3.1.2 Faut-il arrêter d'enseigner les maths à l'école ?

Le second débat vient d'un billet publié sur le site *Images des mathématiques* de P. Colmez (2012a) à propos d'un article de Hacker, intitulé « *Is Algebra Necessary ?* », publié le

28 août 2012 sur le site Internet du *New-York Times* et repris par le Big-Browser du *Monde* le 30 août sous le titre « *Faut-il arrêter d'enseigner les maths à l'école ?* ».

Dans ce billet, P. Colmez émet l'opinion que l'introduction des statistiques, conjuguée à la diminution des horaires, a largement contribué à l'appauvrissement de l'enseignement des mathématiques au lycée. Deux mathématiciens, J.-P. Raoult le 10 août et P. Arnoux le lendemain, expriment leur désaccord sur ce point. Citons ce dernier :

« Il est tout à fait possible, même à un niveau élémentaire, de faire des mathématiques intéressantes et non triviales sur ces sujets. Le refuser de façon épidermique, à cause de pesanteurs sociologiques propres à l'école mathématique française qui a longtemps considéré les probabilités comme des « sous-maths », n'aboutit qu'à stériliser un peu plus cet enseignement en le coupant d'une partie de la recherche vivante, dont les élèves peuvent fort bien comprendre l'intérêt. C'est à nous de travailler pour que cet enseignement soit utile, motivant, et bien relié au reste de la discipline. »

P. Colmez (2012b) publie un nouveau billet intitulé « *Faut-il arrêter d'enseigner les statistiques au lycée ?* ». Il s'agit d'un billet « d'humeur » ; pour cette rubrique, « billets des habitués », il est annoncé que « le ton peut être plus familier que dans le reste du site, puisqu'il s'agit avant tout d'un forum de discussion ». La conclusion est étonnante pour un billet qui oppose un tenant de maths pures à d'autres mathématiciens qui défendent la présence de maths appli au lycée :

« Le cours de mathématiques devient l'enjeu de luttes de pouvoir qui dépassent largement les mathématiciens qui, eux, aimeraient bien pouvoir offrir un cours cohérent sur lequel n'importe qui pourrait s'appuyer ».

Les médias, friands de controverses, conduisent à ce type de billets, mais ce texte ne peut que desservir la discipline mathématique, l'enseignement de cette discipline et, par conséquent, les acteurs, qu'ils soient élèves ou professeurs. La question des programmes de mathématiques à l'école ne se résume pas à des jeux d'écriture ; c'est une question complexe sur laquelle travaille (une infime partie de) la communauté mathématique depuis des décennies (cf. § 3.2).

3.1.3 Une réponse : *Les sciences mathématiques à un tournant ?*, conférence de J.-P. Bourguignon, 2008

Une première réponse aux débats présentés précédemment peut être donnée par une très intéressante conférence de J.-P. Bourguignon (2008) (accessible en ligne, adresse donnée en référence), intitulée : « *Les sciences mathématiques à un tournant ?* ». Le conférencier annonce en introduction :

« Les enjeux sous-jacents à cet exposé sont :

- de faire émerger une vue actualisée de l'architecture des mathématiques en prenant en compte leur niveau de développement actuel mais aussi en ne négligeant pas l'exploration des nouvelles interfaces ;
- de faire reconnaître les spécificités de la discipline (comme le rôle que joue la preuve et l'universalité de son champ d'action). »

Il développe ensuite longuement trois parties, géométrie, analyse, probabilités en prenant une perspective historique et en montrant que les quatre piliers (algèbre, géométrie, analyse, probabilités et statistique) sont « inséparables car liés entre eux par des liens complexes qui s'enrichissent en permanence ». La dernière partie, intitulée « l'unité dynamique des mathématiques », se termine ainsi :

« D'où les défis pour les mathématiciens :

- s'assurer d'un accès large aux quatre piliers de leur discipline (algèbre, géométrie, analyse, stochastique) indispensable pour comprendre les mathématiques en action ;

J. Fine

- approfondir la réflexion sur la notion de modèle mathématique à cause de son importance et de sa versatilité croissantes ;
- élargir la formation aux mathématiques discrètes et aux statistiques, actuellement parents pauvres de la formation en France.

Les sciences mathématiques à un tournant ?

- oui, si l'on veut bien mesurer le risque de voir la croissance de leurs applications faire occulter le processus qui le fait progresser ;
- oui, si la communauté des mathématiciens ne se montre pas capable de s'ouvrir assez aux problèmes posés tant par d'autres sciences que par la technologie.

La solution ne peut venir que d'une formation suffisamment solide et large aux sciences mathématiques en tant que telles. »

Pour J.-P. Bourguignon, il serait donc nécessaire que tous les mathématiciens aient une connaissance minimale des *bases de l'informatique* et des quatre piliers de la discipline (*algèbre, géométrie, analyse, probabilités et statistique*), pour avoir une vue d'ensemble des sciences mathématiques du XXI^e siècle. De plus, des repères historiques et épistémologiques leur permettraient d'être mieux préparés à intervenir dans les débats de société sur les sciences. Les futurs professeurs de mathématiques du secondaire, ayant reçu ce type de formation, pourraient ainsi donner à leurs élèves une image des mathématiques ouvertes sur les autres disciplines et sur les métiers des mathématiques.

3.2 Les rapports et colloques sur l'enseignement des mathématiques, nouvelles approches de l'enseignement des mathématiques

3.2.1 Les rapports

« *L'enseignement des sciences mathématiques* » est le titre du rapport remis au ministre de l'éducation nationale de la Commission de Réflexion sur l'Enseignement des Mathématiques (CREM), commission dirigée par J.-P. Kahane (2002) pour mener une réflexion à moyen et long terme sur l'enseignement des mathématiques, parallèlement et en concertation avec le conseil national des programmes :

« Comment faut-il redéfinir les contenus de programmes et les méthodes d'enseignement ? Quelles doivent être les priorités de demain ? Comment renforcer le lien entre les mathématiques et les autres disciplines ? Dans quelle direction doit évoluer la formation des professeurs de mathématiques ? »

L'ouvrage est composé de quatre parties, Informatique, Statistiques et probabilités, Géométrie, Calcul, dont la rédaction a été confiée, respectivement, à : M. Merle, C. Schwartz, D. Perrin et M. Artigue. Dans le prologue, J.-P. Kahane écrit :

« Si ces rapports ne constituent pas l'aboutissement, mais une étape de la réflexion de la commission, ils ont porté sur de grands thèmes : l'influence de l'informatique sur le contenu de l'enseignement des mathématiques, la place de la statistique et des probabilités, notre conception actuelle de la géométrie, et toutes les facettes du calcul, exact ou approché, mental ou assisté, de l'école élémentaire à l'université. Ils ont bénéficié de regards croisés de chercheurs de différentes disciplines et de praticiens. Des annexes les complètent ou vont les compléter à l'intention du corps enseignant. Mais de grands chantiers de réflexion restent ouverts : la formation des maîtres, le rôle des examens et des concours, le lien aux formations professionnelles et, très vaste sujet que nous explorons en permanence, les relations entre les enseignements des mathématiques et des autres disciplines. »

Plus loin, il évoque les raisons du « bouillonnement particulier » autour de l'enseignement des mathématiques :

« Une première raison, évidente, est le rejet des mathématiques par une partie de l'opinion ; ce rejet a des causes multiples et mérite examen. Une seconde raison, en sens opposé, est l'utilité des mathématiques dans un grand nombre de pratiques humaines ; cette utilité est patente, mais elle peut avoir, comme nous le

verrons, des conséquences paradoxales sur l'enseignement des mathématiques. Je m'étendrai sur une troisième raison : la place des mathématiques dans la culture, leur relation à la démocratie, et la part qu'elles peuvent prendre dans notre vision de l'avenir. (...)

Au cours des dernières années, le rejet des mathématiques comme discipline scolaire est allé très loin. Des physiciens de renom s'en sont pris à leur tyrannie. Des autorités scientifiques et politiques ont annoncé leur inéluctable déclin. L'informatique les rendrait, pour une part, caduques. (...)

Les mathématiques sont utiles, plus utiles que jamais. Mais leur utilité même, aujourd'hui, les rend vulnérables. Le danger, c'est l'utilitarisme. L'utilitarisme consiste à donner des recettes au lieu de contribuer à la formation de l'esprit, à renoncer à l'universalité des mathématiques, à les diviser selon la nature actuelle de leurs applications sans souci des interactions possibles, et à constituer ainsi en champs clos séparés les mathématiques de l'ingénieur, de l'informaticien, du physicien, de l'économiste et ainsi de suite. »

Et dans le premier chapitre sur l'informatique, on lit :

« Le lien des mathématiques avec les autres sciences est particulièrement important. D'abord parce que ce lien est essentiel, nécessaire à la fois aux mathématiques et aux sciences de la matière, sciences de la vie ou sciences humaines. Ce lien est aussi un enjeu idéologique puisqu'il est le lieu où se définit l'autonomie de chacune des sciences ou disciplines. Au cours de l'histoire, les périodes de mise au point, de rédaction de grands traités de mathématiques (Euclide, Bourbaki) ont été des moments où l'accent était mis naturellement sur l'autonomie et la dynamique interne des mathématiques. Au contraire, dans les périodes plus foisonnantes, l'interdépendance avec la physique et les autres sciences apparaissait davantage. »

Il existe un dernier rapport de la CREM, intitulé « *les mathématiques en relation avec les autres disciplines* », de J.-P. Kahane (2003). Ce rapport de 11 pages, au cœur de notre sujet mais malheureusement inachevé, est encore tout à fait d'actualité quant aux objectifs et aux propositions. Après un état des lieux de la science et de l'école, sont rédigées les recommandations suivantes :

- tirer parti des mathématiques venues d'ailleurs ;
- tisser des liens nouveaux entre mathématiques et les autres matières ;
- perspectives pour les IDD (itinéraires de découverte), TPE (travaux personnels encadrés), ateliers et labos ;
- 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 ;
- rôle des IREM (Instituts de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques) en parallèle avec les IUFM (Instituts Universitaires de Formation des Maîtres) et les IPR (Inspecteurs Pédagogiques Régionaux) pour animer la réflexion chez les professeurs de mathématiques, et pour créer des liens interdisciplinaires.

On retrouvera le même type de propositions lors des différentes rencontres sur l'enseignement des mathématiques et l'intérêt qu'il y a à développer des « activités non formelles » (travaux en interdisciplinarité (IDD, TPE, ateliers et labos), activités réalisées dans le cadre de stages « Maths en Jeans » ou « Hyppocampe », jeux Kangourous, rallyes, concours organisés parallèlement à l'école.

« *Les mathématiques dans le monde scientifique contemporain* », dirigé par J.-C. Yoccoz (2005), est le titre du vingtième rapport sur les sciences et la technologie à l'académie des sciences. Cet important rapport montre clairement que les interactions entre les mathématiques et les autres sciences fonctionnent dans les deux sens ; il ne s'agit pas seulement d'applications de mathématiques déjà institutionnalisées. Dans l'avant-propos de ce rapport, J. Dercourt, de l'Académie des Sciences, rapporte l'étonnement des responsables d'établissements d'enseignement publics ou privés à la lecture du rapport : ils regrettent que la symbiose entre recherches pure et appliquée décrite dans le rapport ne soit pas mise en avant dans la formation.

J. Fine

Un dernier rapport, plus récent, concerne l'école de base, celle de la scolarité obligatoire, primaire et collège pour simplifier. Intitulé « *Les défis de l'enseignement des mathématiques dans l'éducation de base* », il a été élaboré et dirigé par M. Artigue (2011) pour l'UNESCO (accessible en ligne). De nombreux thèmes sont abordés : les pratiques enseignantes, l'évaluation, le recrutement des enseignants, leur formation initiale et continue, la collaboration entre les différentes communautés mathématiques, la complémentarité entre éducation formelle et non formelle, le pilotage et la régulation des évolutions, le défi technologique, la diversité des élèves, la recherche. Des annexes présentent des expériences intéressantes menées en France ou à l'étranger.

3.2.2 Les colloques

La « *Conférence nationale sur l'enseignement des mathématiques à l'école primaire et au collège* » (cf. adresse du site en référence) s'est tenue à Lyon le 13 mars 2012. Elle a été organisée par l'Institut Français de l'Éducation (ENS de Lyon) en collaboration avec les corps d'inspection, à la demande de la Direction générale de l'enseignement scolaire (Ministère de l'Éducation nationale), avec mission de *réaliser un état des lieux* de l'enseignement des mathématiques en France, d'*identifier les principaux problèmes*, de *proposer des éléments d'amélioration réalistes* pouvant obtenir l'accord de tous, en particulier pour aider les professeurs dans l'exercice de leur métier, de *définir des lignes de travail* à plus long terme et de *proposer les recherches* nécessaires.

Le comité scientifique, présidé par R. Jost et A. Mercier, a entendu plus de 20 experts nationaux et internationaux qui ont proposé des textes préparatoires à la conférence. La conférence a réuni près de 400 personnes, responsables institutionnels, inspecteurs, chefs d'établissement, formateurs des IUFM, des IREM et des universités, chercheurs en mathématiques, en didactique des mathématiques, et plus généralement en éducation, ainsi que, naturellement, des professeurs, directement concernés. On trouvera sur le site les textes préparatoires à la conférence, les vidéos des conférences et un premier bilan tiré de ces travaux.

Deux ans auparavant, le colloque « *Les mathématiciens et l'enseignement de leur discipline en France* » (cf. adresse du site en références) s'est tenu en mars 2010 au CIRM (Centre International de Recherche sur les Mathématiques), à Marseille. Il a été organisé à l'occasion des quarante ans du réseau des IREM (Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques) et des vingt ans de leur revue *Repères IREM* et a réuni 144 représentants de la communauté mathématique (animateurs IREM, enseignants de la maternelle à l'université, CNRS, chercheurs, universités, sociétés savantes, inspection générale) pour une réflexion sur l'évolution de l'enseignement des mathématiques et de la formation des professeurs de mathématiques, ainsi que sur ses perspectives.

Dans la conférence inaugurale, P. Arnoux (2010) reprend de nombreux rapports et graphiques sur l'évolution catastrophique de l'enseignement scientifique et propose en conclusion « d'oser le changement » :

- « - modifier les contenus en intégrant des nouvelles mathématiques au cœur du programme (probabilités, mathématiques discrètes) car elles donnent un sens nouveau aux disciplines classiques (algèbre, analyse) ;
- modifier les méthodes en initiant les élèves aux méthodes de recherche, les faire travailler sur des modélisations simples, développer leurs représentations mentales. »

Ces propositions ne sont pas nouvelles. On trouvera sur le site de l'Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public (APMEP) donné en référence, parmi les documents du groupe « problématiques lycées », une présentation détaillée de la publication, après dix ans de travaux, de deux brochures intitulées « *Pour un enseignement problématisé au lycée* ». La première brochure se réfère de façon privilégiée à des *contenus*, la seconde à des *objectifs méthodologiques*.

De même, parmi les contributions au débat dans la revue *Commentaire*, évoqué ci-dessus, W. Blum, mathématicien allemand, fait état des réformes mises en œuvre en Allemagne suite à de mauvais résultats aux évaluations internationales, réformes qui ont amélioré la situation.

« L'objectif était de modifier à la fois *le mode d'enseignement* (grâce à une variété de méthodes visant à activer tous les élèves sur le plan cognitif) et *le contenu* (avec une plus grande variété de tâches et d'activités incluant aussi la modélisation et le raisonnement). (...) »

Les six compétences obligatoires sont : raisonnement mathématique, résolution mathématique de problèmes, modélisation mathématique, représentation mathématique, travail technique-symbolique, communication mathématique. »

On trouvera sur le site du colloque les présentations des conférences, ateliers et tables rondes qui montrent bien la multiplicité et la richesse des expériences menées sur le terrain. Parmi les contributions, on notera la conférence de D. Barbalosi (2010), intitulée « *Du concret à l'abstrait, de l'heuristique à la rigueur : un nouvel espoir pour l'enseignement des mathématiques ?* », auteur également d'une contribution dans la revue *Commentaire* citée ci-dessus intitulée « *L'interdisciplinarité : un atout majeur* ». Il illustre son propos par une expérience pédagogique de trois ans de « stages Hyppocampe » qui place les élèves en situation de recherche et leur permet de voir le rôle de la modélisation.

Parmi les ateliers, on peut citer, entre autres :

- « *Mathématiques en situation ; pour une approche pluridisciplinaire* » proposé par J.-L. Maltret et C. Marchal (2010) ; les auteurs montrent l'intérêt d'une approche pluridisciplinaire à partir de leurs expériences de TPE (Travaux Personnels Encadrés) ;
- « *Organiser l'enseignement d'une année par des questions qui lui donnent du sens* » de J.-P. Guichard et J. Souville (2010) ; les auteurs présentent la mise en œuvre dans leurs classes de la démarche développée par plusieurs équipes de didacticiens : construire, à partir de questions au fort pouvoir générateur, des Parcours d'Étude et de Recherche (PER) et des Activités d'Étude et de Recherche (AER) ; on consultera en particulier, sur le site d'Y. Chevillard, le mémoire de J. Marietti (2009) sur la « perte de sens » et la notion de PER ;
- « *Évaluation de compétences du socle dans le cadre d'un travail Mathématiques-Français* » de Paillet (2010) ; l'auteur présente une activité issue du site *LEMA* (cf. adresse en références). *LEMA* (Learning and Education in and through Modelling and Applications) est un projet européen qui soutient les enseignants qui pratiquent un enseignement des mathématiques à travers la résolution de problèmes de la vie courante utilisant les mathématiques dans une démarche de modélisation.

On trouvera en références les adresses des sites d'autres colloques sur l'enseignement des mathématiques ou sur l'enseignement des sciences organisés par les sociétés de mathématiques ou par le collectif « Action Sciences » qui regroupe quatorze sociétés ou associations scientifiques (cf. §4.1). On consultera aussi le site de l'Institut Français de l'Éducation, rattaché à l'École Normale Supérieure de Lyon, qui a repris l'essentiel des missions de l'INRP (Institut National de la Recherche Pédagogique) et qui héberge le site EducMath.

3.2.3 Conclusion provisoire

C'est volontairement que nous ne citons que quelques rapports et colloques organisés par la communauté mathématique et que nous évitons de rentrer dans le détail des propositions. Elles sont nombreuses pour prôner l'ouverture sur les autres disciplines, l'initiation à la démarche scientifique et à la modélisation pour résoudre des problèmes de la vie courante ou issus d'autres disciplines. Les professeurs de mathématiques du secondaire n'ont malheureusement pas été formés à ces mathématiques et la formation continue, qui se réduit d'année en année, ne peut pallier cette absence de formation.

Il n'est pas question de fondre l'enseignement des mathématiques dans un enseignement multidisciplinaire. Les recherches sur la mise en œuvre d'un travail interdisciplinaire sont nombreuses. Dans leur ouvrage, G. Fourez *et al.* (2002) clarifient le concept d'interdisciplinarité et proposent une méthodologie du travail interdisciplinaire en contexte scolaire, dans une perspective constructiviste. Ils défendent l'importance du maintien de la différence disciplinaire et s'opposent aux tentatives de fusion des savoirs d'enseignement en un seul bloc curriculaire.

Il n'est pas question non plus de verser dans un enseignement « utilitariste » des mathématiques. Dans son introduction, M. Artigue (2011) définit ce que pourrait être une « éducation mathématique de qualité » :

« Une éducation mathématique de qualité doit permettre de se forger une image positive et appropriée des mathématiques. Pour cela, elle doit être fidèle aux mathématiques, tant en ce qui concerne les contenus que les pratiques. Elle doit permettre aux élèves de comprendre à quels besoins répondent les mathématiques qui leur sont enseignées, et aussi que celles-ci s'inscrivent dans une longue histoire qui se conjugue avec celle de l'humanité. Apprendre les mathématiques, c'est aussi se donner les moyens d'accéder à ce patrimoine culturel. Elle doit permettre aux élèves de comprendre que les mathématiques ne sont pas un corpus de connaissances figé mais au contraire une science vivante en pleine expansion, dont l'évolution se nourrit de celle des autres champs scientifiques et les nourrit en retour. Elle doit aussi leur permettre de voir les mathématiques comme une science qui peut et doit contribuer à la résolution des problèmes majeurs auxquels le monde doit aujourd'hui faire face, qui ont été rappelés dans l'introduction.

Une éducation mathématique de qualité doit donc être portée par une vision des mathématiques comme science vivante, en prise avec le monde réel, ouverte aux relations avec les autres disciplines, cette ouverture n'étant pas limitée d'ailleurs aux seules disciplines scientifiques. Elle doit donc en particulier permettre aux élèves de saisir la puissance des mathématiques comme outil de modélisation pour comprendre et agir sur le monde.

Une éducation mathématique de qualité doit aussi donner une vision non dénaturée des pratiques de ceux qui produisent ou utilisent les mathématiques. L'activité mathématique est en fait une activité humaine aux multiples facettes, très loin des stéréotypes qui lui sont attachés dans la culture commune.

Une éducation mathématique de qualité se doit donc de refléter cette diversité à travers les différents contenus mathématiques qu'elle fait progressivement rencontrer aux élèves : poser des problèmes ou les reformuler pour les rendre accessibles à un travail mathématique, modéliser, explorer, conjecturer, expérimenter, représenter et formuler en développant pour ce faire des langages spécifiques, argumenter et prouver, développer des méthodes, élaborer des concepts et les relier au sein d'espaces structurés, échanger et communiquer... Une telle éducation doit permettre de vivre l'expérience mathématique à la fois comme une expérience individuelle et comme une expérience collective, et faire sentir ce qu'apportent l'échange et le débat avec d'autres. Elle doit savoir stimuler par des défis tout en cultivant des valeurs de solidarité. Elle doit aussi montrer une école ouverte sur le monde et pour cela être en phase avec les pratiques mathématiques scientifiques et sociales hors de l'école, et savoir notamment s'appuyer de façon pertinente sur les moyens technologiques qui instrumentent ces pratiques. »

4 Formation des professeurs ; changement de pratiques professionnelles et de représentations

4.1 Les réformes et le métier d'enseignant

Les scientifiques s'inquiètent à juste titre de la diminution du nombre d'étudiants à l'université. La désaffection des étudiants des études scientifiques a fait l'objet de nombreux rapports et le collectif « Action Sciences » (cf. adresse du site en référence) s'est constitué pour comprendre et agir face à cette situation. On trouvera les rapports sur le site du collectif ainsi qu'une présentation de nombre de ces rapports par P. Arnoux (2006). Les réformes des séries scientifiques et du recrutement des professeurs ne sont pas sans effet sur cette désaffection (Arnoux, 2010).

Le sociologue B. Convert (2006) montre cependant que la baisse ne concerne pas uniquement les filières scientifiques mais, plus généralement, les filières générales à l'avantage des filières professionnelles :

« La prétendue désaffection pour les études scientifiques cache en réalité une transformation de l'enseignement supérieur amorcée dès la fin des années 1980. Sous la pression conjuguée des pouvoirs publics et d'une demande étudiante croissante, l'université a privilégié les formations professionnalisées conformes aux exigences des entreprises. Elle fragilise ainsi ses valeurs d'autonomie et de liberté critique, qui sont les conditions du progrès des sciences et des consciences. »

On peut noter en effet que la communauté des lettres a le même type de préoccupations que celle des mathématiciens. On se réfèrera à l'article de F. Thumerel (2009) intitulé : « *Où va l'enseignement du français ? De l'enquête à quelques pistes concrètes* ».

Changer les programmes est insuffisant, il s'agit de modifier profondément les conditions dans lesquelles les appliquer. Un rapport d'information sur le métier d'enseignant, réalisé au nom de la commission de la culture, de l'éducation et de la communication est remis au Sénat le 19 juin 2012 par B. Gonthier-Maurin (2012). Après un constat sur la souffrance des enseignants (1^{re} partie), sont pointés dans le diagnostic (2^e partie) la prolifération des missions imparties à l'école, l'invisibilité du travail réel des enseignants et des conditions concrètes de mise en œuvre des réformes, des coupes budgétaires insoutenables, une formation en déshérence, ...

« La succession rapide et tous azimuts des réformes (socle commun, aide personnalisée, ECLAIR, etc.) aboutit à une prolifération difficile à articuler des missions imparties à l'école qui vont de la formation du citoyen à la constitution d'une élite, de la démocratisation à la personnalisation, de la concentration sur les fondamentaux à l'ouverture sur la société et la diversité des savoirs. L'appareil administratif produit en conséquence une multitude de textes normatifs, de décrets, de circulaires, d'instructions et de discours, qui ne hiérarchisent et ne clarifient pas les priorités mais formulent et empilent des contraintes irréconciliables. Mais les circulaires qui mettent en avant le travail en équipes, le travail sur les compétences, les projets, les évaluations, etc. paraissent ne pas tenir compte concrètement du maintien nécessaire d'un temps de travail correct et d'une charge de travail acceptable. Beaucoup de réformes se heurtent à la réalité du travail, à un défaut d'expertise local, à des surcharges horaires, à l'absence de consensus au sein même des établissements.

L'inflation des prescriptions en dehors de tout cadre cohérent, conjuguée à la sous-prescription des moyens à mettre en œuvre pour les respecter, perturbe l'activité des enseignants. Elle est à la racine de ce « travail empêché » constaté par les enquêtes sociologiques. La prolifération des missions et le brouillage du sens de l'éducation sont la source majeure de l'exacerbation des conflits de travail et de la souffrance ordinaire des enseignants. (...)

Opérationnellement, au-delà des réflexions théoriques, le socle commun est comme plaqué sur les programmes, auquel il se rajoute, sans que l'articulation entre les deux instruments de définition des

J. Fine

contenus de l'enseignement ne soit pensée. Lorsqu'on se préoccupe de la réalité du travail, occultée par la superposition de circulaires et de normes définissant des situations idéales et désincarnées, on constate que le socle commun est réduit à des procédures bureaucratiques : il se transforme et devient un livret de compétences où l'on fait cocher des croix aux professeurs. La mise en œuvre en arrive à être totalement opposée à l'esprit de la réforme. »

Des voies de redressement sont proposées dans la troisième et dernière partie : redonner sens à l'école et restaurer la confiance pour refonder le métier d'enseignant.¹⁰

On retiendra que des réformes en profondeur sont présentées comme nécessaires mais qu'elles sont vouées à l'échec si l'on continue à négliger les acteurs chargés de leur réalisation sur le terrain.

Les études critiques du mode de fonctionnement de l'école sont nombreuses : des programmes trop disciplinaires et morcelés, l'évaluation des connaissances scolaires avec un système de notation remis en cause depuis plus de quatre-vingts ans (cf. B. Suchaut, 2008), des processus d'orientation injustes et inefficaces (cf. B. Convert, 2006). Mais les réformes sont difficiles à mettre en place. Les études qui décrivent et expliquent les échecs des réformes ne sont pas prises en compte. Par manque de formation et de concertation, des réformes importantes sont rejetées.

Nous avons déjà évoqué l'introduction du *socle commun* en collège, dont « la mise en œuvre en arrive à être totalement opposée à l'esprit de la réforme ». Les sept compétences du socle commun que doivent maîtriser tous les élèves en fin d'école obligatoire (cf. texte du décret n° 2006-830 du 11 juillet 2006, JORF n°160 du 12 juillet 2006), sont les suivantes :

1. La maîtrise de la langue française
2. La pratique d'une langue vivante étrangère
3. Les principaux éléments de mathématiques et la culture scientifique et technologique
4. La maîtrise des techniques usuelles de l'information et de la communication
5. La culture humaniste
6. Les compétences sociales et civiques
7. L'autonomie et l'initiative

Les réflexions théoriques qui ont conduit à l'élaboration de ce programme méritent d'être discutées. Il en est de même du cahier des charges de la formation des professeurs, documentalistes et conseillers principaux (cf. texte de l'arrêté du 12 mai 2010, JORF du 18 juillet 2010). Les dix compétences qu'ils doivent maîtriser en fin de formation sont les suivantes :

1. Agir en fonctionnaire de l'État et de façon éthique et responsable
2. Maîtriser la langue française pour enseigner et communiquer
3. Maîtriser les disciplines et avoir une bonne culture générale
4. Concevoir et mettre en œuvre son enseignement
5. Organiser le travail de la classe
6. Prendre en compte la diversité des élèves
7. Évaluer les élèves
8. Maîtriser les technologies de l'information et de la communication
9. Travailler en équipe et coopérer avec les parents et les partenaires de l'École
10. Se former et innover

¹⁰ On retrouve des constats et des propositions analogues dans le rapport sur la concertation sur l'École publié en octobre 2012 sous le titre « *Refondons l'École de la République* » (adresse du site en référence).

Des réformes structurelles sont aussi nécessaires. En conclusion de l'ouvrage déjà cité, B. Convert (2006) écrit :

« Limiter le débat à ses aspects pédagogiques et culturels est aussi une façon d'éviter des questions plus difficiles sur l'orientation des jeunes dans un système scolaire où la hiérarchie des séries avant le baccalauréat et celle des catégories d'établissements d'enseignement supérieur priment le plus souvent sur le choix d'une discipline. »

4.2 La formation des professeurs

La principale critique faite à la formation en IUFM est complètement dépendante de la place du concours en fin de première année et de son contenu disciplinaire ; ce calendrier a contraint à concentrer tous les apports de la formation professionnelle en une seule année scolaire :

- les stages sur le terrain avec des enseignements à concevoir et mettre en œuvre,
- des formations complémentaires en pédagogie et en didactique, pour l'analyse des pratiques professionnelles, pour l'organisation du travail de la classe, la prise en compte de la diversité des élèves, les différents types d'évaluation des élèves, la maîtrise des technologies de l'information et de la communication, la connaissance du système éducatif, mais aussi
- un travail de recherche,
- une ouverture sur l'international, sur le travail interdisciplinaire, ...

Par manque de temps, c'est bien souvent sous forme de quelques conférences que de nombreux sujets devaient être abordés : psychologie des adolescents, conduite de classe, autorité du professeur, évaluation, orientation, et une liste chaque année plus longue *d'éducation à...* l'environnement durable, la citoyenneté, l'égalité entre filles et garçons, l'image et les médias, la santé, la sexualité, la sécurité, etc. Il s'agissait donc de demander aux futurs professeurs d'adopter de nouvelles pratiques qu'ils n'ont jamais vu fonctionner dans leur parcours scolaire et universitaire, ni même dans leur formation professionnelle.

La formation dans le cadre des futurs ESPE ne permet pas d'espérer beaucoup d'améliorations : c'est toujours sur deux ans que sont prévues la préparation au concours et la formation professionnelle. La formation à l'interdisciplinarité, à de nouvelles formes d'enseignement, à de nouvelles pratiques d'évaluation se fera toujours en complète contradiction avec ce qu'auront vécu et appris les futurs professeurs dans les filières disciplinaires.

En ce qui concerne les mathématiques, un texte intitulé « formation des futurs enseignants certifiés de mathématiques en lycée et collège » a été voté à l'unanimité en conseil d'administration de la Société Mathématique de France le 13 octobre 2012 (accessible sur le site de la SMF). D'après ce texte, à l'adresse des pouvoirs publics, c'est après la licence de mathématiques que les futurs enseignants auront à faire :

- une synthèse des connaissances mathématiques acquises ;
- une « véritable initiation aux applications des mathématiques » (car « les futurs enseignants auront à transmettre les enjeux de notre discipline dans le monde actuel et futur ») ;
- des stages dans les collèges et lycées.

La nouveauté est de supprimer les licences dites « d'enseignement », licences d'un moindre niveau en mathématiques ne permettant pas de poursuivre dans la discipline :

J. Fine

« Le cloisonnement ou la mise à l'écart trop tôt des futurs enseignants, dans une structure ou une formation trop spécifique, est à éviter : difficultés de réorientations, impacts négatifs de choix faits trop tôt sur les divers métiers des mathématiques avec des risques de forts biais liés à l'origine sociale ou au genre. On observe en particulier que les jeunes femmes ou les étudiants venus de milieux défavorisés ont tendance à se sous-évaluer et ne se destinent aux métiers de la recherche qu'après une première orientation vers l'enseignement secondaire. »

Un paragraphe sur la nécessité de publier le nombre de postes au concours à l'avance et un autre sur la nécessité d'organiser une véritable formation continue des enseignants terminent ce texte d'une page.

Il semble qu'il ait été impossible de penser une licence de mathématiques de bon niveau qui couvre l'ensemble des sciences mathématiques, y compris des bases en mathématiques discrètes, probabilités et statistique.

Il est plus facile d'espérer qu'une « véritable initiation aux applications des mathématiques » de quelques heures permettra aux futurs professeurs « de transmettre les enjeux de notre discipline dans le monde actuel et futur ». Les auteurs de ce texte ne connaissent visiblement pas le poids des représentations des acteurs, représentations qui se construisent en particulier au travers des expériences de ces derniers, et non pas sur les informations ou recommandations qui trop souvent vont à l'encontre de leurs pratiques.

Dans un texte accessible sur son site (cf. adresse en référence), J. Nimier présente les différentes dimensions de la formation des enseignants : les structures (université, IUFM, futures Écoles Supérieures du Professorat et de l'Éducation, place des concours dans le cursus et leurs contenus, ...), les méthodologies de formation (cours ex-cathedra, compagnonnage, groupe d'analyse de pratiques professionnelles, ...), les processus de formation (transmission de connaissances, confrontations de représentations, ...) et termine sur les représentations du maître et la nécessité d'une formation personnelle du futur enseignant. Il s'agit de développer ses capacités d'écoute, de créativité, de compréhension des phénomènes humains (conscients et inconscients) de façon à ce que, devant une situation imprévue, il puisse trouver l'attitude appropriée à cette situation.

Cet aspect de la formation est sans doute inaudible pour bien des universitaires disciplinaires. Pour tenter d'en montrer l'intérêt, précisons que J. Nimier a été professeur de mathématiques dans un lycée pendant dix-huit ans avant de faire des études de psychologie, et son premier ouvrage a pour titre « *mathématiques et affectivité* ». Comprendre l'imaginaire des élèves pour expliquer leurs éventuels blocages en mathématiques est donc en partie à l'origine de sa démarche.

Nous sommes bien loin de l'enseignement de la statistique en interdisciplinarité. Pourtant, il s'agit bien de décroisonner les disciplines, que ce soit dans la scolarité pré-universitaire ou dans le cadre de la formation des enseignants. Former des équipes pédagogiques solides, d'un point de vue des contenus à enseigner et d'un point de vue professionnel, qui se forment et travaillent en collaboration, nécessite une formation initiale et continue ambitieuse. Changer ses propres représentations de l'école, des élèves, des disciplines, des apprentissages... ne se fait pas par des cours magistraux ou par des conférences, mais par un travail sur le long terme lui-même pluridisciplinaire.

Il est donc nécessaire de changer les programmes de mathématiques de sorte que ces dernières aient du sens pour les élèves, qu'elles soient reliées aux autres disciplines et aux problèmes de la vie en société. Ce programme peut déboucher sur un renforcement de connaissances et de pratique mathématiques. Pour donner un exemple, l'introduction de

variables catégorielles en statistique peut donner l'occasion de travailler sur les ensembles et les opérations sur les ensembles, sur la logique (et, ou, non) et, en collaboration avec les professeurs de français, sur l'utilisation différente de ces « opérateurs » en français et en maths. Les distributions d'effectifs et de fréquences sont une introduction naturelle aux distributions de probabilités et une bonne formation en statistique descriptive et en probabilités est accessible au niveau collège. Les programmes actuels de statistique et probabilités au collège manquent de cohérence et de références aux mathématiques qui sont en arrière-plan. Il en est de même au lycée, pourquoi ne pas envisager la réintroduction de l'algèbre linéaire et de la géométrie euclidienne à partir de l'analyse des données statistiques multidimensionnelles ?

Nous avons vu que la communauté mathématique est très active et que les ressources sont nombreuses mais ce n'est malheureusement qu'une infime partie des mathématiciens, que ce soit dans le secondaire ou dans le supérieur, qui s'intéresse aux recherches sur l'enseignement de la discipline. Il serait nécessaire de reconnaître institutionnellement l'investissement des universitaires dans l'enseignement (primaire, secondaire et supérieur), de développer les recherches en didactique, de soutenir des collaborations entre les professeurs des divers niveaux d'enseignement, dans la discipline (comme c'est le cas en mathématiques dans les IREM) mais aussi dans des disciplines connexes.

Des débats de société sur l'école pourraient aussi permettre de faire connaître les apports des recherches en éducation aux parents d'élèves et à tous ceux non impliqués directement par l'école.

5 Conclusion

Revenons en conclusion sur la statistique, la pratique de la statistique, l'enseignement de la statistique au niveau scolaire puis au niveau universitaire, dans des filières non spécialistes de la statistique (biologie, psychologie, sociologie, économie, ...), enfin dans la filière mathématique.

Les difficultés que présente *la statistique* sont sans doute dues au fait qu'elle repose sur une bonne compréhension du *raisonnement déductif probabiliste* (pour comprendre la notion de distribution de probabilité des résumés numériques d'échantillons aléatoires) et sur une bonne compréhension du *raisonnement inductif*, avec risque d'erreur contrôlé, dans le cadre de l'inférence statistique. Une initiation à ces notions est inscrite dans le nouveau programme des lycées mis en œuvre en France en 2^{nde} à la rentrée 2010, en 1^{re} à la rentrée 2011 et en Terminale à la rentrée 2012.

La pratique de la statistique (formuler une question, collecter des données, analyser les données et interpréter les résultats) ajoute, aux difficultés précédemment évoquées, les difficultés supplémentaires de compréhension d'un problème réel et de *modélisation du problème* pour répondre à la question posée. Ce n'est que par expérience, à partir de problèmes variés, que ces compétences de modélisation peuvent s'acquérir, en collaboration avec les personnes à l'origine du problème étudié.

L'enseignement de la statistique, au niveau scolaire, nécessite de travailler sur des données et contraint donc à aborder simultanément *l'apprentissage des concepts* et *l'initiation à la modélisation*. Les professeurs de mathématiques chargés de cet enseignement doivent éviter deux écueils : d'un côté, des exercices stéréotypés avec des données pseudo-réelles qui

J. Fine

restent à un niveau scolaire, de l'autre, des problèmes réels issus d'autres disciplines mais nécessitant un traitement statistique hors programme ou mal maîtrisé.

De plus, c'est bien souvent pour traiter des problèmes statistiques que les professeurs font le cours *d'initiation au tableur*, dans le cadre de la formation aux TICE (Technologies de l'Information et de la Communication en Éducation) ; ils sont alors bien plus préoccupés, ainsi que leurs élèves, par la maîtrise du tableur que par la réflexion sur la modélisation statistique et l'interprétation des résultats.

S'ajoute à ces difficultés *l'initiation à la simulation*. Il est en effet conseillé dans les programmes d'approcher les distributions de probabilité des résumés numériques d'échantillonnage par simulation. Il faut alors ne pas confondre la taille de l'échantillon avec le nombre de simulations d'échantillons, ne pas confondre l'échantillon observé avec les échantillons simulés.

Cette accumulation d'obstacles de toute nature explique les difficultés de cet enseignement et les nombreuses discussions à son propos.

L'enseignement de la statistique, à l'université, pour des non spécialistes de la statistique (biologie, psychologie, sociologie, économie, ...) devrait naturellement s'appuyer sur des problèmes statistiques issus de la discipline et être mené par des équipes associant statisticiens et spécialistes de la discipline. On se référera à l'article d'A.-B. Dufour (2011) pour un enseignement de statistique en biologie à Lyon qui fonctionne bien en interdisciplinarité, grâce à la création d'une structure de collaboration pluridisciplinaire créée il y a 50 ans.

Il s'agit pour ces disciplines, biologie, psychologie, ... de former des spécialistes de la discipline capables de réaliser des traitements statistiques standards et de faire appel à des statisticiens pour des données plus complexes. Nous sommes loin de cette situation par manque de statisticiens capables d'assurer des formations qui soient à la fois correctes du point de vue des contenus et compréhensibles par des étudiants rebutés par le formalisme. Bien des unités d'enseignement intitulées « méthodologie quantitative de la biologie » (ou de la sociologie, de la psychologie, ...) sont en fait des formations en statistique assurées par des non statisticiens. En règle générale, si l'objectif du cours est bien argumenté dans un premier chapitre, on arrive très rapidement à des recettes et des organigrammes pour la présentation des traitements statistiques.

La statistique qui se développe dans ces disciplines, au vu des articles scientifiques publiés, pose des problèmes sérieux que l'on voit émerger de temps en temps dans les médias. On se référera à la lecture critique de M. Lavielle (2012), statisticien, de la récente étude sur le maïs OGM. Sur 200 rats (100 mâles et 100 femelles) seulement 20 rats (10 mâles et 10 femelles) ont été affectés dans le groupe contrôle (tous les autres dans des groupes traités à des doses différentes). Quels que soient les résultats observés sur le groupe contrôle, la probabilité d'obtenir des résultats similaires de façon aléatoire est très forte car la taille des deux échantillons (10 mâles et 10 femelles) est trop faible. C'est en amont de l'expérimentation que l'on peut affirmer qu'il n'est pas possible de tester quelque hypothèse que ce soit avec seulement 10 rats mâles et 10 rats femelles dans le groupe contrôle. Bien d'autres erreurs méthodologiques graves sont à déplorer dans cette étude, pourtant publiée dans une revue scientifique. Son seul mérite aura été de montrer la nécessité d'études sérieuses sur le sujet.

Nous renvoyons aussi à un texte de H. Rouanet intitulé « *Une première : la statistique médicale sur la sellette dans la grande presse* » (cf. sur son site, fin de la page « préface :

statistiques et statistique ») se référant à un article publié le 24 février 2007 dans *The Economist* sous le titre « *Why so much medical research is rot¹¹?* ».

Quant à *l'enseignement de la statistique, à l'université, dans la filière mathématique*, nous reprenons la proposition déjà faite plus haut. Afin que les mathématiciens aient une vue d'ensemble des sciences mathématiques, c'est dès les premières années de licence qu'une initiation à l'informatique et aux mathématiques appliquées (analyse numérique, probabilités, statistique) ainsi qu'une formation à l'épistémologie et l'histoire des sciences devraient être introduites. Une plus grande unité disciplinaire des mathématiques et un plus grand intérêt de la part des mathématiciens pour les autres disciplines et pour les questions relevant de l'enseignement sont nécessaires pour la formation des futurs citoyens et des futurs mathématiciens.

Références

- [1] Action Sciences, Collectif :
<http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/actionsciences/>
- [2] APMEP (Association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public, <http://www.apmep.asso.fr/>), Groupe « problématiques lycée » (2003), Pour un enseignement problématisé au lycée, *Brochures APMEP*, n° 150 et 154.
- [3] Archambault, J.-P., G. Berry, et M. Nivat (2012), L'informatique à l'école : il ne suffit pas de savoir cliquer sur une souris, *Tribune de Rue89 site du Nouvel Observateur*, <http://www.rue89.com/2012/06/28/linformatique-lecole-il-ne-suffit-pas-de-savoir-cliquer-sur-une-souris-233389>
- [4] Arnoux, P. (2006), Crise de l'enseignement des mathématiques ? Etude de rapports récents sur l'enseignement des mathématiques et des sciences, <http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/ressources/etudes/pierre-arnoux/>
- [5] Arnoux, P. (2010), L'évolution de l'enseignement scientifique, http://www.univ-irem.fr/IMG/pdf/ArnouxCIRM_IREM_15_03_2010.pdf
- [6] Artigue, M. dir. (2011), Les défis de l'enseignement des mathématiques dans l'éducation de base, *UNESCO*, <http://unesdoc.unesco.org/images/0019/001917/191776f.pdf>
- [7] « Avenir de l'enseignement des mathématiques » (2008), Colloque, La Sorbonne, Paris : <http://colloque.maths.free.fr/>
- [8] Barbalosi, D. (2010), Du concret à l'abstrait, de l'heuristique à la rigueur. Un nouvel espoir pour l'enseignement des mathématiques ? Conférence au colloque « Les mathématiciens et l'enseignement de leur discipline en France », Colloque CIRM, Marseille, http://www.univ-irem.fr/spip2/IMG/pdf/Conference_5_Dominique_B-arbolosi.pdf
- [9] Bourguignon, J.-P. (2008), Les sciences mathématiques à un tournant ? Conférence au colloque « Avenir de l'enseignement des mathématiques », La Sorbonne, Paris, <http://colloque.maths.free.fr/IMG/pdf/jpbLaSorbonne.pdf>

¹¹ « rot » peut être traduit par « pourriture », « non sens », « bêtise », ...

J. Fine

- [10] Breton, P. (1987), *L'informatique comme discipline existe-t-elle? Histoire d'un clivage qui sépare les informaticiens*, Editions de l'Université de Bruxelles. Dans *Réseaux*, 1987, 5(24), 65-75,
http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/reso_0751-7971_1987_num_5_24_1253
- [11] Chevallard, Y. (2009), Quel avenir pour les mathématiques au collège et au lycée ? Les mathématiques dans la cité,
http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/IMG/pdf/Quel_avenir_pour_les_mathematiques_au_college_et_au_lycee.pdf
Site d'Yves Chevallard : <http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/>
- [12] Colmez, P. (2012a), Faut-il arrêter d'enseigner les maths à l'école ?, *Images des Mathématiques*, CNRS, <http://images.math.cnrs.fr/Faut-il-arreter-d-enseigner-les.html>
- [13] Colmez, P. (2012b), Faut-il arrêter d'enseigner les statistiques au lycée ?, *Images des Mathématiques*, CNRS, <http://images.math.cnrs.fr/Faut-il-arreter-d-enseigner-les-1321.html>
- [14] Conférence nationale sur l'enseignement des mathématiques à l'école primaire et au collège, IFÉ, ENS-Lyon, 13 mars 2012 : <http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/dossier-manifestations/conference-nationale>
Les actes de la conférence : http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/dossier-manifestations/conference-nationale/lactes-mercierjost_2012.pdf
- [15] Convert, B. (2006), *Les impasses de la démocratisation scolaire. Sur une prétendue crise des vocations scientifiques*, Raisons d'agir éditions.
- [16] Desrosières, A. (2012), Sur l'histoire de la méthodologie statistique : mesurer ou instituer ? Deux traditions de recherche encore largement séparées. Communication aux Journées de Statistique de la SFdS, Bruxelles.
- [17] Dillon, M. (2011), Statistics à la mode, *After Math, Math Horizon*. Publication de Mathematical Association of America, 1^{er} novembre 2011,
<http://horizonsaftermath.blogspot.fr/2011/11/statistics-la-mode.html>
- [18] Dufour, A.-B. (2011), La part du logiciel R dans l'enseignement de la statistique en biologie. Le site WEB de Lyon, *Statistique et Enseignement*, 2(2), 41-47,
<http://publications-sfds.math.cnrs.fr/ojs/index.php/StatEns/issue/view/13>
- [19] Fine, J., J.-P. Raoult et C. Vermandele (2011), Vous avez dit proba-stat ?, Éditorial, *Statistique et Enseignement*, 2(1), 1-3,
<http://publications-sfds.math.cnrs.fr/ojs/index.php/StatEns/article/view/70/69>
- [20] Franklin, C. et al. (2007), *Guidelines for Assessment and Instruction in Statistics Education (GAISE) report, A PreK-12 curriculum framework*. Site de l'ASA : <http://www.amstat.org/education/gaise/>
- [21] Fourez, G. (dir.), A. Maingain et B. Dufour (2002), *Approches didactiques de l'interdisciplinarité*, De Boeck, Bruxelles.
- [22] Gonthier-Maurin, B. (2012), *Le métier d'enseignant*. Rapport d'information fait au nom de la commission de la culture, de l'éducation et de la communication, n° 601 (2011-2012) - 19 juin 2012, <http://www.senat.fr/notice-rapport/2011/r11-601-notice.html>

- [23] Guichard, J.-P. et J. Souville (2010), Organiser l'enseignement d'une année par des questions qui lui donnent du sens. Conférence au colloque « Les mathématiciens et l'enseignement de leur discipline en France », Colloque CIRM, Marseille, <http://www.univ-irem.fr/spip2/spip.php?article7>
- [24] IFÉ, Institut Français de l'Éducation : <http://ife.ens-lyon.fr/>
- [25] Kahane, J.-P. dir. (2002), *L'enseignement des sciences mathématiques. Commission de réflexion sur l'enseignement des mathématiques*, Ed. Odile Jacob, Paris et CNDP, Paris.
- [26] Kahane, J.-P. (2003), Les mathématiques en relation avec les autres disciplines, <http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/ressources/etudes/pierre-arnoux/mad2.pdf>
- [27] Kantor, J.-M. (2012), Comment réparer l'enseignement des mathématiques ?, <http://www.math.jussieu.fr/~kantor/GMfinal-2.pdf>
Réparer l'enseignement des mathématiques. Le faut-il et comment ? (2012). Débat dans la revue *Commentaire*, **35**(138), 481-526.
- [28] Lavielle, M. (2012), Y'a quelque chose qui cloche là dedans. À propos de l'affaire du mais OGM NK603, *Images des mathématiques*, <http://images.math.cnrs.fr/Y-a-quelque-chose-qui-cloche-la.html>
- [29] LEMA (Learning and Education in and through Modelling and Applications), Projet européen : <http://www.lemma-project.org>
- [30] Lenoir, Y. et L. Sauvé (1998), Note de synthèse – De l'interdisciplinarité scolaire à l'interdisciplinarité dans la formation à l'enseignement : un état de la question, *Revue Française de Pédagogie*, 124, 121-153 et 125, 109-146,
http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rfp_0556-7807_1998_num_124_1_1122
http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rfp_0556-7807_1998_num_125_1_1111
- [31] « Les mathématiciens et l'enseignement de leur discipline en France » (2010), Colloque CIRM, Marseille : <http://www.univ-irem.fr/spip2/>
- [32] Malliavin, P. dir. (2000), *La statistique. Rapport sur la science et la technologie* n° 8, Ed. Tec et Doc, Paris.
- [33] Maltret, J.-C. et C. Marchal (2010), Mathématiques en situation. Pour une approche pluridisciplinaire. Conférence au colloque « Les mathématiciens et l'enseignement de leur discipline en France », Colloque CIRM, Marseille, <http://www.irem.univ-mrs.fr/IMG/pdf/cirm2010.pdf>
- [34] Marietti, J. (2009), *Le concept de PER et sa réception actuelle en mathématiques et ailleurs. Une étude préparatoire*. Mémoire de M1, Université de Provence, sous la direction d'Y. Chevallard, http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/IMG/pdf/Memoire_de_MR1_de_Julia_Marietti.pdf
- [35] Colloque « Maths à venir » (2009), Maison de la Mutualité, Paris : <http://www.maths-a-venir.org/>
- [36] Moore, D. S. (1988), Should mathematicians teach statistics (with discussion)?, *College Math. Journal*, 19, 3–7.

J. Fine

- [37] Morin, E. (1994), Sur l'interdisciplinarité, *Bulletin interactif* n°2, juin 1994, du Centre International de Recherches et Études Transdisciplinaires, <http://ciret-transdisciplinarity.org/bulletin/b2c2.php>
- [38] Nimier, J. (2012), Les différentes dimensions de la formation des enseignants, http://www.pedagopsy.eu/formation_enseignants_diverses_dimensions.htm
- [39] Nivat, M. et M. Volle (2012), Enjeux de l'enseignement de l'informatique. Article destiné à la revue *Terminal*, cf. site de M. Volle : <http://michelvolle.blogspot.fr/2012/06/enjeux-de-lenseignement-de.html>
- [40] Paillet, V. (2010), Évaluation de compétences du socle dans le cadre d'un travail Mathématiques-Français. Conférence au colloque « Les mathématiciens et l'enseignement de leur discipline en France », Colloque CIRM, Marseille, http://www.univ-irem.fr/spip2/IMG/pdf/Atelier_5c_Vincent_Paillet_.pdf
- [41] *Quel avenir pour l'enseignement scientifique au lycée et dans l'enseignement supérieur ?* (2008). Actes du colloque organisé par Action Sciences, http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/actionsciences/AcSc_Colloque.html
- [42] Refondons l'École de la République, Rapport de la concertation (2012), <http://www.refondonslecole.gouv.fr/>
- [43] Rouanet, H., <http://www.math-info.univ-paris5.fr/~lerb/rouanet/>
- [44] SIGMAA (2012), Response to « statistics à la mode », <http://magazine.amstat.org/blog/2012/02/01/maa-response/>
- [45] Suchaut, B. (2008), *La loterie des notes au bac. Un réexamen de l'arbitraire de la notation des élèves*. Documents de travail de l'IREDU, http://iredu.u-bourgogne.fr/images/stories/Documents/Publications_iredu/documents_travail_iredu/dt_2008-3.pdf
- [46] Thumerel, F. (2009), Où va l'enseignement du français ? De l'enquête à quelques pistes concrètes. Dans *Les dossiers de l'école des lettres*, http://www.ecoledeslettres.fr/pages_html_edl/public/pdf/avenir_enseignement_public.pdf
- [47] Volle, M. (1984), *Le métier de statisticien*, Ed. Economica, Paris. Cf. site de M. Volle : <http://www.volle.com/ouvrages/metier/metier.htm>
- [48] Yoccoz, J.-C. dir. (2005), *Les mathématiques dans le monde scientifique contemporain*. Rapport sur la science et la technologie n° 20, Ed. Tec et Doc, Paris.