

# L'ENSEIGNEMENT DES PROBABILITÉS ET DE LA STATISTIQUE FACE À CELUI DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR EN FRANCE

Jean-Pierre RAOULT<sup>1</sup>

## TITLE

Teaching probability and statistics vs engineering sciences in France

## RÉSUMÉ

Les « sciences de l'ingénieur » ont en France longtemps été considérées comme ayant peu de rapports avec les probabilités et la statistique, à quelques exceptions près, notamment en théorie du signal ou en fiabilité industrielle. Cette situation se modifie progressivement mais la retombée de cette évolution sur l'enseignement est très variable selon les secteurs ; nous étudions ici le cas des sections de techniciens supérieurs, des classes préparatoires aux grandes écoles (où les réticences sont particulièrement vives) et des écoles d'ingénieurs. Nous étudions quels sont les facteurs qui font obstacle, malgré d'indéniables progrès, à une meilleure coordination entre les enseignements de mathématiques et ceux des sciences de l'ingénieur, et présentons quelques propositions pour tâcher de poursuivre ici une évolution qui nous paraît favorable<sup>2</sup>.

*Mots-clés : sciences de l'ingénieur, sciences industrielles, classes de techniciens supérieurs, classes préparatoires aux grandes écoles, écoles d'ingénieurs.*

## ABSTRACT

In France, probability and statistics have long been regarded as having little to do with engineering, except in specific areas such as signal processing or industrial reliability. This is no longer the case but this change in attitude has not yet been fully reflected into the curriculum beyond the "Baccalauréat". We focus here on the "Sections de Techniciens Supérieurs" (STS, a two-year program specializing in technology), the "Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles" (CPGE, a two-year, high-level program in science leading to admission in the « Grandes Ecoles »), and the « Grandes Ecoles » themselves, which offer a Master's degree in engineering. It is in the CPGE that the resistance to the introduction of statistics in the curriculum is highest. We identify the factors which, despite undeniable improvements, stand in the way of a better coordination between the mathematics and engineering curricula, and we make various proposals for stimulating progress in this favourable direction.

*Keywords: engineering sciences, industrial sciences, "classes de techniciens supérieurs", "classes préparatoires aux grandes écoles", "écoles d'ingénieurs".*

---

<sup>1</sup> Professeur des Universités honoraire, Université Paris-Descartes, jpraoult@orange.fr

<sup>2</sup> Je tiens à remercier ici toutes les personnes qui m'ont aidé à rassembler et analyser la documentation sur le thème de cet article, et en particulier Sylvie Bonnet (présidente de l'Union des Professeurs de Classes Préparatoires Scientifiques), Robert Cabane (doyen de l'Inspection Générale de Mathématiques), Bernard Decomps (membre de l'Académie des Technologies), Philippe Dutarte (Inspecteur d'Académie – Inspecteur Pédagogique Régional de Mathématiques dans l'académie de Créteil), Marthe-Aline Jutand (présidente du groupe « Enseignement de la statistique » de la Société Française de Statistique) et Hervé Riou (président de l'Union des Professeurs de Sciences et Techniques Industrielles). Qu'elles veuillent bien m'excuser si elles ne retrouvent pas ici la totalité des avis exprimés à partir d'une version préliminaire de ce travail que je leur avais transmise, voire si parfois je m'en écarte.

## 1 Un contexte peu favorable

Au rebours de disciplines, telles la physique, la biologie, l'économie, la sociologie... ayant un droit de cité bien établi dans le panorama des sciences, et pour lesquelles l'emploi qu'elles font du calcul des probabilités et de la statistique est anciennement reconnu (même s'il évolue constamment et leur devient souvent de plus en plus consubstantiel), les « sciences de l'ingénieur » n'ont ni contour précis, ni longue tradition d'enseignement.

Ainsi, dans Wikipedia, l'article « Sciences de l'ingénieur » débute par la phrase suivante : *Sous l'appellation de sciences de l'ingénieur sont rassemblées des disciplines scientifiques en rapport avec le métier d'ingénieur, notamment dans les domaines de la robotique, l'informatique, la mécanique, le génie civil, l'électronique, l'automatique, la résistance des matériaux...* A la suite de quoi l'article est entièrement consacré à des panoramas d'enseignements, les auteurs jugeant à l'évidence qu'il n'est nul besoin de donner une délimitation scientifique plus précise.

C'est donc plus devant la présentation d'une approche, orientée vers les utilisations mais fondée sur une démarche scientifique, qu'à une définition à partir de contenus que l'on se trouve ici. C'est parce que les contacts entre la recherche et ses applications lui paraissaient insuffisamment développés en France que l'Académie des Sciences a favorisé, en 2002, la mutation de son « Conseil des applications » (CADAS, créé en 1982) en une « Académie des technologies ». Elle entendait ainsi favoriser les contacts entre le monde de la recherche et de l'enseignement supérieur, d'une part, et celui du développement, en bureaux d'étude ou en établissements industriels, d'autre part. Certes ce terme de « Technologies » englobe un domaine bien plus vaste que les « Sciences de l'Ingénieur » puisque sont concernées en particulier des technologies du vivant en médecine, biologie, agronomie, halieutique... Il est cependant intéressant, pour notre propos, d'analyser quelle est la part de l'aléatoire dans les préoccupations de l'académie des technologies ; nous prenons ainsi en compte l'impact de ses nombreux avis et recommandations quant aux états des lieux et aux perspectives de la recherche, de l'enseignement et de la formation dans son domaine de compétence.

En ce qui concerne tout d'abord l'orientation de ses 277 membres<sup>3</sup>, il n'y en a que trois (plus un indiqué comme démissionnaire en 2012) dans les notices de présentation desquels figure, au titre des diplômes obtenus ou à celui des domaines d'activité, le mot « statistique ». Il s'agit de Marc Himbert (métrologie), Bernard Picinbono (optique statistique, théorie du signal), Gérard Toulouse (optique statistique, physique orientée vers la biologie...). Des recherches avec les mots « probabilité(s) », « aléatoire », « stochastique », « fiabilité » n'ont donné aucun résultat. Une recherche par le mot « métrologie » fait apparaître, en sus de Marc Himbert, deux noms : Jean Kovalevsky (astronome) et Pierre Toulhoat (risques environnementaux). Une recherche par le mot « risque » fait apparaître trois noms, dont la présence relève d'une conception sans doute justifiée mais assez extensive des technologies : Bernard Daugeras (finance : capital risque), Elisabeth Pate-Cornell (« engineering management ») et Pierre Noël Giraud (économie des matières premières et de l'énergie). Sauf omission dans notre recherche, et même si on peut penser que certains membres utilisant des outils de probabilités ou de statistique dans leurs travaux n'ont pas fait apparaître de mots relevant de cette activité dans leurs notices, cela fait bien peu de personnes pouvant avoir un point de vue stochastique en sciences de l'ingénieur ! Cette situation doit être mise en relation avec le fait que les cadres techniques (en fabrication, développement, recherche) en France

<sup>3</sup> Liste obtenue, en août 2013, par consultation du site [www.academie-technologies.fr/](http://www.academie-technologies.fr/).

J.-P. Raoult

sont nombreux à avoir été formés dans les grandes écoles d'ingénieurs où la formation à la statistique a longtemps été très réduite (voir section 4 ci-dessous) ; il n'en est pas de même dans de nombreux pays étrangers, notamment anglo-saxons, où la formation des ingénieurs se fait dans le cadre universitaire, au sein d'établissements où des enseignements et des recherches en statistique fondamentale et appliquée existent depuis longtemps et ont de l'influence sur l'ensemble des études.

Il n'est pas étonnant dans ces conditions que les avis issus de l'académie des technologies ne fassent que peu de place à l'aléatoire, même quand leur sujet pourrait *a priori* y inciter.

Nous mettrons à part un avis portant sur un thème proprement de méthodologie statistique, qui est celui du 19 octobre 2012, commun à six académies, dont deux de l'Institut de France (de médecine et des sciences) ainsi que celles d'agriculture, de pharmacie, des technologies et vétérinaire, intitulé : *Sur la publication récente de G.E. Séralini et al. sur la toxicité d'un OGM*<sup>4</sup>.

A cette exception près, le seul avis récent où nous ayons trouvé une allusion (dans une seule phrase) aux probabilités est celui (fort intéressant au demeurant) du 31 mars 2011 intitulé *Sur les bons usages du principe de précaution*<sup>5</sup>. On y lit : *Le principe de précaution est souvent incompris et il existe des confusions nombreuses, en particulier avec la notion de prévention, démarche classique concernant des risques dont la probabilité de réalisation est connue*. On peut trouver un peu sommaire cette manière d'évacuer l'aléatoire de la réflexion sur le principe de précaution, alors que nombre d'usages abusifs de celui-ci sont dus à une absence de prise en compte des probabilités respectives des risques encourus par l'action et l'inaction ; de plus, la prévention implique souvent l'emploi de probabilités non pas « connues » mais estimées.

Mais l'avis qui concerne le plus notre réflexion sur l'enseignement est celui du 1<sup>er</sup> février 2013 intitulé : *Avis sur l'introduction de la technologie au Lycée dans les filières de l'enseignement général*<sup>6</sup>. L'académie des technologies prend le soin d'en borner précisément le champ en écrivant en préambule : *Le terme « technologie » est pris ici dans son sens premier : « étude des procédés, des méthodes, des instruments ou des outils propres à un ou plusieurs domaines techniques, arts ou métiers » (Trésor informatisé de la langue française)*. Cet avis était motivé par la mise en place, depuis la rentrée scolaire 2010, dans certains lycées généraux et technologiques, dans le cadre de la réforme de la classe de seconde, d'un « enseignement d'exploration » intitulé *Création et innovation technologiques*<sup>7</sup>. L'académie des technologies place assez haut son ambition pour cet enseignement mais il nous semble permis de penser, à la lecture de ce texte, qu'elle a saisi cette occasion pour énoncer des principes directeurs et des propositions de mesures (en particulier s'agissant de la formation des enseignants) qui valent bien au-delà d'un seul enseignement d'exploration en classe de seconde (au demeurant mis en place dans assez peu de lycées). Elle précise : *Cette « science des techniques » s'exprime, comme pour toute science, dans des théories diversifiées. Notre avis s'appuie sur quatre d'entre elles, parvenues aujourd'hui à un degré de maturité*

<sup>4</sup> <http://www.academie-technologies.fr/fr/publication/rid/84/rtitle/avis-et-recommandations-1/archive/1.html#a1040>

<sup>5</sup> <http://www.academie-technologies.fr/fr/publication/rid/84/rtitle/avis-et-recommandations-1/archive/1/page/2.html#a809>

<sup>6</sup> <http://www.academie-technologies.fr/fr/publication/rid/84/rtitle/avis-et-recommandations-1/lid/ltitle/rid2/1078/r2title/avis-et-recommandations-de-lacademie-des-technologies-sur-lintroduction-de-la-technologie.html>

<sup>7</sup> [http://media.education.gouv.fr/file/special\\_4/75/1/creation\\_innovation\\_technologiques\\_143751.pdf](http://media.education.gouv.fr/file/special_4/75/1/creation_innovation_technologiques_143751.pdf)

suffisant : la technologie structurale, la technologie génétique, la technologie générique et la technologie générale... La diffusion de ces approches donne à la formation technologique une visée culturelle d'une ampleur inédite, sans équivalent dans notre pays : celle d'une véritable école d'intégration des différentes formes de la raison (analytique, critique, créatrice, communicationnelle).

Le souci de l'académie des technologies est, au travers de ce texte, de manifester que la technologie et les différents corpus scientifiques – émanant des sciences exactes pures ou appliquées comme des sciences économiques et sociales – se combinent dans les processus d'innovation, aussi bien autrefois qu'aujourd'hui et de plaider que, à ce titre, se justifie la présence de la technologie au sein de toutes les filières de l'enseignement général et non seulement dans celles conduisant aux baccalauréats technologiques. Mais il nous paraît regrettable que la typologie des « formes de la raison » qui en résulte exclue la « raison statistique » telle qu'elle apparaît dans le titre du fort bel ouvrage d'Alain Desrosières, *La politique des grands nombres. Histoire de la raison statistique* (Paris, La Découverte, 1993). Plus peut-être que bien d'autres disciplines, la technologie est confrontée à l'incertitude et à la variabilité (dans les mesures, dans le contrôle des paramètres, dans la réponse des appareillages en fonction de l'environnement...). Une accoutumance à l'aléatoire pourrait (et à notre avis devrait) être effectuée à cette occasion, en modulant son contenu en liaison avec celui du cours de mathématiques<sup>8</sup>.

Mais pouvait-il en être autrement, compte tenu du fait qu'étaient essentiellement susceptibles de participer à la rédaction de ce rapport des personnalités, dans le secteur de la production comme dans celui des sciences appliquées, qui n'ont pas connu lors de leurs études de place faite à l'aléatoire ou à l'analyse des données et qui donc, même si elles y ont été confrontées dans leur vie professionnelle, ne les mettent pas spontanément en avant quand elles réfléchissent aux priorités en matière de formation ? Pourtant les travaux pratiques en technologie (comme en sciences physiques ou biologiques) font souvent appel à des instruments livrés avec des normes faisant usage de notions statistiques. Il nous paraîtrait dangereux que l'enseignement de cette discipline place systématiquement l'élève dans un univers fallacieusement déterministe. Cette préoccupation est en fait très proche des exigences qu'on peut avoir en ce qui concerne la prise en compte de l'aléatoire dans la formation critique du citoyen. Comme l'écrivait Didier Dacunha-Castelle dans *Chemins de l'aléatoire. Le hasard et le risque dans la société moderne* (Flammarion, 1998) : *La technologie a permis de faire des gains de fiabilité et de sûreté impressionnants... (Mais) le débat sur les précautions à prendre, les sommes à affecter, les sacrifices à consentir ressortit la plupart du temps à la politique nationale ou internationale... Il faudrait habituer progressivement les citoyens à avoir un avis sur le choix des normes, même si ce n'est pas la coutume et en particulier si ces normes sont probabilistes, ce qui est presque toujours le cas.*

Environ à la même époque, en 2000, l'Académie des Sciences a publié, au sein d'une série de *Rapports sur la Science et la Technologie*, le rapport numéro 8 intitulé *La statistique*. Estimant qu'il n'est pas exagéré de considérer la statistique en France comme une discipline émergeant difficilement, ce rapport plaide en particulier fermement pour un accroissement de sa place dans l'enseignement. Les années qui ont suivi ont vu effectivement une évolution

<sup>8</sup> Une compétence en matière du maniement de l'aléatoire dans l'activité des ingénieurs est développée au sein de l'Institut pour la Maîtrise des Risques : <http://www.imdr.fr>. Parmi ses « Groupes de travail et de réflexion », on en trouve ainsi un intitulé *Réseaux probabilistes appliqués à la maîtrise des risques et à la sûreté de fonctionnement*, et la modélisation stochastique est sous-jacente à l'activité de plusieurs autres. Cet organisme pourrait utilement être incité à s'intéresser aux retombées de ses thèmes de travail sur l'enseignement.

J.-P. Raoult

notable en ce sens (en cours d'amorçage en 2000), tant dans les collèges et lycées que dans certaines formations supérieures, en particulier au sein des grandes écoles d'ingénieurs (il n'est pas lieu de se prononcer ici sur le contenu de ces enseignements, les pédagogies mises en place ou les effets des variations de ceux-ci au cours de ces quinze dernières années). Mais, en ce qui concerne ce qui nous préoccupe ici, la technologie, ou les sciences de l'ingénieur, ne figurent dans pratiquement aucune des rubriques du chapitre intitulé *La statistique dans ses interactions avec les autres disciplines* : on y trouve l'agronomie, la biomédecine, l'économie, les mathématiques financières, les sciences de l'assurance et (seule discipline technologique) le traitement du signal.

Nous allons nous intéresser maintenant à voir quelles évolutions se sont produites (ou non produites), malgré ce contexte défavorable, depuis une dizaine d'années en France s'agissant du lien entre l'enseignement des probabilités et de la statistique d'une part, et celui des sciences de l'ingénieur d'autre part. Mis à part l'enseignement de détermination en seconde déjà traité, rien ne nous paraît relever de ce cadre dans les collèges (où la matière dénommée « technologie » n'a pas d'ambition proprement scientifique) et, dans les lycées généraux, ceci se limite à « l'enseignement spécifique de sciences de l'ingénieur » au sein du cycle terminal de la série scientifique »<sup>9</sup>. Nous focaliserons donc notre étude sur les sections de techniciens supérieurs (STS)<sup>10</sup>, les classes préparatoires aux grandes écoles d'ingénieurs (CPGE) et les écoles d'ingénieurs elles-mêmes.

## 2 Les sections de techniciens supérieurs (STS)

Les sections de techniciens supérieurs conduisent, en deux ans après le baccalauréat, les étudiants au « Brevet de Technicien Supérieur » (BTS). Si l'on considère les titulaires d'un BTS à visée véritablement technologique (ce qui est le cas d'environ deux tiers d'entre eux), on constate que seule une minorité de ceux-ci poursuivent des études les conduisant éventuellement à bénéficier du titre d'ingénieur. Quant à ceux qui occupent un emploi avec le BTS, ce n'est qu'à un niveau assez modeste que leurs études les ont mis en contact avec les « sciences de l'ingénieur ». Ils seront cependant nombreux à être amenés à travailler avec des ingénieurs et il nous intéresse donc de savoir comment leur formation en probabilités et statistique peut les armer pour cette collaboration.

Les programmes ont dû être remaniés pour tenir compte de la réforme du lycée parachevée en 2013, mais de plus il a été souhaité que leur contenu soit repensé afin de faciliter un meilleur accès à ces sections pour des élèves titulaires de baccalauréats professionnels, donc ayant reçu une formation théorique moins poussée que ceux titulaires de

---

<sup>9</sup> Programme dans : [http://media.education.gouv.fr/file/special\\_9/21/7/sciences-ingenieur\\_155217.pdf](http://media.education.gouv.fr/file/special_9/21/7/sciences-ingenieur_155217.pdf). On n'y voit nulle mention de l'aléatoire, alors que par exemple l'étude des « écarts » pourrait y conduire ; peut-être dans la pratique peut-on en introduire via les projets multidisciplinaires qui y sont favorisés. Ce texte de 2010 n'a pas été remanié à l'occasion de la réforme récente des lycées.

<sup>10</sup> Nous maintenons en dehors de cette étude le cas des Instituts Universitaires de Technologies (IUT), formations en 2 ans (comme les STS), sanctionnées par le Diplôme Universitaire de Technologie (DUT), ou 3 ans (sanctionnées par la Licence professionnelle). Les IUT comportent 25 spécialités, dont 16 dites « du secteur industriel » et 9 « du secteur des services ». (voir <http://www.iut-fr.net/formations-et-diplomes/les-specialites>). La spécialité « Statistique et Informatique décisionnelle » est classée dans le secteur des services et, quoique l'industrie figure parmi ses débouchés affichés, la prise en compte du secteur industriel y est peu développée. La place, variable, de l'aléatoire et du traitement des données selon les spécialités du secteur industriel mériterait une étude spécifique.

baccalauréats généraux ou technologiques. Les nouveaux programmes de mathématiques, publiés en septembre 2013, qui concernent 58 spécialités (sur un peu moins d'une centaine en tout) portent sur l'ensemble des deux années de STS<sup>11</sup>. Pour l'ensemble de ces spécialités ont été rédigés les programmes de vingt-cinq modules de mathématiques, le texte relatif à chaque spécialité spécifiant quels modules y sont enseignés. Il existe deux modules de calcul des probabilités (« Probabilités 1 » et « Probabilités 2 »), un de probabilités appliquées (« Fiabilité »), un de statistique descriptive, deux de statistique inférentielle (« Statistique inférentielle » et « Plans d'expérience »).

L'impact de cette organisation doit être analysé d'un double point de vue : contenus de ces modules, qui frappent par l'ampleur de leur champ (surtout quand on le compare à la réserve des programmes des CPGE, analysée en section 3 ci-dessous), et liste des modules retenus dans telle ou telle spécialité, accompagné de l'indication de l'horaire global affecté aux mathématiques, qui varie selon les spécialités<sup>12</sup>.

Nous prenons pour exemples trois de ces modules.

Le programme de « Probabilités 1 » vise à présenter l'essentiel des techniques probabilistes les plus utiles ; il comporte donc la loi binomiale et la loi normale, qui est *introduite à partir de l'observation, à l'aide d'un logiciel, du cumul des valeurs obtenues lors de la répétition à l'identique d'une expérience aléatoire dont le résultat suit une loi uniforme* et qu'il propose de *simuler à partir de la loi uniforme sur  $[0,1]$*  ; il introduit l'approximation normale des lois binomiales, *illustrée à l'aide de l'outil informatique* ; il énonce le *théorème de la limite centrée pour des sommes de variables aléatoires indépendantes et de même loi*, en précisant : *l'outil informatique permet une approche expérimentale* ; il propose comme exemple d'application *la maîtrise statistique des processus*.

Le programme de « Probabilités 2 » le complète en présentant les lois exponentielles et de Poisson et en proposant des exemples de processus aléatoires. On lit dans son préambule : *Les sciences et techniques industrielles et économiques fournissent de nombreuses situations que l'on peut exploiter en liaison avec d'autres enseignements. L'apprentissage doit largement faire appel à l'outil informatique, notamment pour la simulation et la mise en œuvre d'algorithmes*.

L'esprit du programme de « Statistique inférentielle » est le même que celui de « Probabilités 1 » : mettre l'étudiant en contact avec l'ensemble de ce qui est techniquement le plus pratiqué. On y aborde donc l'estimation ponctuelle, les tests d'hypothèse et l'estimation par intervalle de confiance. Ici encore *les situations artificielles sont à éviter et les exemples issus du domaine professionnel sont à privilégier en liaison avec les enseignements d'autres disciplines*.

Dans les programmes de la plupart des STS à visée industrielle on trouve les 4 modules Probabilités 1, Probabilités 2, Statistique descriptive et Statistique inférentielle. Le module Fiabilité apparaît de plus pour les STS « Environnement nucléaire » et en « Maintenance industrielle », mais pour d'autres spécialités la mention du module Probabilités 2 est accompagnée de l'instruction : *On veille à introduire le vocabulaire de la fiabilité*. Le module Plans d'expérience est présent pour les spécialités « Communication et industries

<sup>11</sup> [https://www.sup.adc.education.fr/btslst/referentiel/BTS\\_ProgrammeMathematiques.pdf](https://www.sup.adc.education.fr/btslst/referentiel/BTS_ProgrammeMathematiques.pdf)

<sup>12</sup> Par exemple, en « Maintenance industrielle », l'horaire est de 3 heures hebdomadaires en première comme en seconde année et il y a 9 modules de mathématiques, dont 5 de probabilités et statistique (qui en pratique occupent environ la moitié du temps d'enseignement assuré par le professeur de mathématiques).

J.-P. Raoult

graphiques », « Chimiste » et « Industries plastiques «europlastic» à référentiel commun européen ». Il existe quelques absences étonnantes : on trouve uniquement Probabilités 1 pour « Electronique », « Informatique et réseaux pour l'industrie et les services techniques » et « Systèmes électroniques » ; surtout, il n'y a aucune trace de probabilités ni de statistique en « Conception de produits industriels », ni en « Contrôle industriel et régulation automatique ». Remarquons que, en ce qui concerne « Conception de produits industriels », des probabilités et de la statistique avaient jadis figuré au programme mais elles en avaient été retirées lors d'une modification antérieure avec l'argument suivant : *Compte tenu de l'orientation de cette formation vers la conception des produits, les méthodes statistiques pour contrôler la qualité d'une fabrication ont été retirées du programme* ; étrange conception qui évacue la prise en compte des risques de dysfonctionnement aléatoire des produits !

Le poids des représentants des milieux professionnels concernés dans les « commissions professionnelles consultatives » qui interviennent dans l'élaboration des programmes de BTS, en exprimant les besoins en termes de contenus, explique sans doute des différences apparemment peu fondées de spécialité à spécialité : la sensibilité à l'aléatoire doit varier selon ces représentants. Il n'en reste pas moins que les programmes des modules nous paraissent bien rédigés, assez modernes dans le rôle qu'ils confèrent à la mise en œuvre informatique et que donc la formation en probabilités et statistique des étudiants issus des STS à vocation industrielle semble globalement assez bien assurée, même si le souci de la prise en compte et de l'analyse de données réelles gagnerait à être mieux affirmé (voir section 5 ci-dessous)<sup>13</sup>.

Subsiste bien sûr, ici comme dans d'autres cas, l'interrogation sur la possibilité de « faire passer » ces programmes, assez ambitieux, auprès d'étudiants qui ne sont pas les meilleurs issus de l'enseignement secondaire, surtout si l'on se réfère à la volonté de favoriser l'accès en STS de titulaires du baccalauréat professionnel. Ceci suppose un effort important de la part des enseignants de mathématiques auxquels sont attribuées de telles sections et qui n'ont souvent pas étudié ces matières au cours de leur formation. Est donc nécessaire une volonté résolue de l'institution de les aider dans cette tâche ; le secteur des programmes de probabilités et statistique des BTS est l'un de ceux pour lesquels des travaux importants de constitution de documents ont été effectués dans les IREM (Instituts de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques), en particulier dans celui de Paris-Nord et au sein de la Commission Inter-IREM « Lycée technologique »<sup>14</sup>. Il faut souhaiter que, dans le cadre des IREM comme dans d'autres, cet effort soit poursuivi à l'occasion des réformes en cours.

### 3 Les classes préparatoires aux grandes écoles d'ingénieurs

Dans le système français de formation des ingénieurs, les classes préparatoires aux concours d'entrée des « grandes écoles », qui accueillent les étudiants pendant deux années après le baccalauréat, ont connu des modifications importantes durant les vingt dernières années.

D'une part s'est amplifiée l'évolution qui a pour effet que ne passe plus par elles que moins de la moitié des futurs ingénieurs, en raison du développement de multiples accès au

<sup>13</sup> On peut évoquer ici la qualité des programmes de BTSA (Brevets de Techniciens Supérieurs Agricoles), mais ceux-ci sont en dehors de notre étude et d'ailleurs relèvent d'autres textes officiels, émanant du ministère de l'agriculture et non de celui de l'éducation.

<sup>14</sup> [http://www-irem.univ-paris13.fr/site\\_spip/spip.php?rubrique8](http://www-irem.univ-paris13.fr/site_spip/spip.php?rubrique8)

titre d'ingénieur : aux Instituts Nationaux de Sciences Appliquées (INSA) se sont ajoutés la diversification de l'admission dans les grandes écoles, la généralisation des formations en universités, le développement des filières pour adultes...<sup>15</sup>. En 2012, 22% des bacheliers S (Scientifiques) se sont dirigés vers ces classes<sup>16</sup> et ce sont essentiellement, vu la sélection sur dossiers effectuée dans le courant de l'année de terminale, ceux ayant eu les meilleurs résultats dans les matières scientifiques. Ces classes nous intéressent donc particulièrement en ce qui concerne la culture potentielle de l'élite chez une bonne part des élites technologiques de la nation, ce qui inclut aussi nombre de chercheurs ou d'universitaires scientifiques passant par ces classes, en particulier ceux qui s'y préparent aux concours d'entrée aux « Ecoles Normales Supérieures » (ENS)<sup>17</sup>.

D'autre part on relève que ce n'est que depuis 1995 que les dénominations de ces classes incluent explicitement les « Sciences Industrielles »<sup>18</sup>, la matière d'enseignement étant, elle, dénommée « Sciences Industrielles de l'Ingénieur » (SII). On y distingue ainsi en première année, à l'intention d'étudiants issus du baccalauréat scientifique, les voies MPSI (Mathématiques, Physique et Sciences Industrielles), PCSI (Physique, Chimie et Sciences Industrielles), PTSI (Physique, Technologie et Sciences Industrielles), qui se sont substituées aux anciennes « Mathématiques Supérieures » ; en seconde année se distinguent des voies MP, PC, PSI et PT, les choix des étudiants étant préparés durant la seconde moitié de la première année par l'existence d'options dont, en ce qui nous concerne ici, une option SII en MPSI et PCSI<sup>19</sup>. A l'intention des étudiants issus du baccalauréat technologique STI2D (Sciences et Techniques de l'Industrie et du Développement Durable) existe la voie des classes préparatoires TSI (Technologie et Sciences Industrielles) et à l'intention de ceux issus du baccalauréat technologique STL (Sciences et Techniques de Laboratoire) la voie des classes préparatoires TPC (Technologie, Physique et Chimie)<sup>20</sup>.

Enfin, dans le prolongement de la réforme des lycées intervenue de 2010 à 2013, ces classes sont en train d'être dotées de nouveaux programmes entrant en vigueur en 2013 pour la première année et en 2014 pour la seconde année. Il nous appartient donc de nous intéresser maintenant à la place des probabilités et de la statistique dans ceux de ces programmes où

<sup>15</sup> Nous envisageons une enquête sur la place du calcul des probabilités et de la statistique dans ces formations ; les informations parcellaires dont nous disposons établissent que dans les universités celle-ci est très variable (comme c'est le cas pour les licences) en fonction des disponibilités des établissements en enseignants compétents. Les filières de « Génie Mathématique » dans les INSA constituent un cas à part où la part de l'élite est notable.

<sup>16</sup> Contre 25% en PACES (Première Année Commune aux Etudes de Santé), 8% en écoles d'ingénieurs recrutant directement au niveau Baccalauréat, 11% en filières scientifiques des universités ...

<sup>17</sup> Sur la place des classes préparatoires aux grandes écoles dans la société française aujourd'hui, voir l'interview de Sylvie Bonnet, présidente de l'Union des Professeurs de Spéciales, au journal *Le Parisien* du 13 mai 2013 : <http://etudiant-aujourd'hui.fr/etudiant/info/classes-prepas-les-prepas-ne-sont-plus-elitistes.html>

<sup>18</sup> Ce qui n'exclut pas la survie dans le vocabulaire courant des expressions « Math Sup » (ou familièrement « Hypotaube ») pour la première année et « Math Spé » (ou familièrement « Taupe ») pour la seconde, ainsi que l'appellation usuelle « Union des Professeurs de Spéciales » pour l'UPS, association qui regroupe leurs enseignants, et dont la dénomination est maintenant « Union des Professeurs des classes préparatoires Scientifiques ».

<sup>19</sup> Notons aussi l'existence de « classes étoiles » (MP\*, PC\*, PSI\*, PT\*) aux exigences renforcées à l'intention des élèves se préparant à l'entrée aux grandes écoles les plus prestigieuses telles les ENS ou l'Ecole Polytechnique.

<sup>20</sup> Nous excluons du champ de notre étude les filières à vocation biologique, agronomique, vétérinaire : BCPST (Biologie, Chimie, Physique et Sciences de la Terre) pour les étudiants issus du baccalauréat S et TB (Technologie et Biologie), pour les étudiants issus des baccalauréats technologiques STL (Sciences et Techniques de Laboratoire) ou STAV (Sciences et Techniques de l'Agronomie et du Vivant).

J.-P. Raoult

elles pourraient, nous semble-t-il, s'introduire naturellement, c'est-à-dire ceux de SII et de Mathématiques<sup>21</sup>.

La réponse est fort simple en ce qui concerne les programmes de SII qui, contrairement à ceux de mathématiques, ont été rédigés globalement pour les deux années : les probabilités et la statistique n'y ont, selon les voies, qu'une place inexistante ou très réduite.

Même une analyse approfondie des plus complets d'entre eux, ceux de PTSI en première année et de PT en seconde année (classes où les SII représentent 8,5 heures d'enseignement hebdomadaire), ne fait aucun droit aux notions de défaillance ou de fiabilité et le mot « risque » ne renvoie qu'aux impératifs de sécurité dans les sites de production ou les laboratoires. Or l'accent y est mis sur la conception des systèmes. On lit ainsi dans les « objectifs généraux du programme » : *L'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur, dans la filière PTSI / PT, a pour objectif d'aborder et consolider l'apprentissage des démarches de création, d'innovation, d'anticipation, de conception, de réalisation et d'intégration qui permettent de maîtriser une partie du cycle de vie du produit allant du cahier des charges (performances souhaitées par le commanditaire) jusqu'à la matérialisation du produit sous forme de maquette ou de prototype... La conception et la modélisation des solutions, permettant de simuler tout ou partie du fonctionnement du produit et la réalisation d'un prototype permettant de mesurer expérimentalement les performances du produit constituent deux phases intermédiaires majeures.*

On serait donc en droit de s'attendre, quand il est question de *cycle de vie*, à ce que soit abordée la fiabilité ; ou bien, quand il est question de *simuler le fonctionnement*, à ce que soient dans certains cas introduits des modèles aléatoires. La seule voie d'accès que nous ayons relevée dans ce programme tient en l'expression (qu'on trouve aussi dans le programme commun aux voies PCSI et TSI, mais non en MPSI-MP) : *Variabilité des paramètres du modèle de simulation*. Plus généralement, c'est dans le cadre de la hiérarchie des niveaux d'appréhension des systèmes industriels que l'on peut envisager, à terme, une part croissante dévolue à l'aléatoire : niveau des composants (sur lesquels mettre des modèles d'usure ou de défaillance), niveau des systèmes (d'où des calculs de fiabilité à partir des modèles mis sur les composants), niveau des interactions avec l'environnement (lequel ne peut souvent n'être abordé que par l'observation statistique). La réflexion méthodologique peut s'appuyer là sur des démarches qui, au travers de l'observation de la variabilité du comportement d'un système donné, dans un environnement donné, peuvent éclairer l'origine de cette variabilité. Mais encore faut-il, là encore, que les enseignants, dont la formation est en général fondée sur des études de physique appliquée (mécanique, électricité), soient aidés à élargir leur compétence pour traiter les modèles aléatoires.

Une timide allusion aux « caractéristiques statistiques » figure dans le programme de SII de la voie MPSI (puis MP), ainsi que dans celui de la voie PCSI (puis PSI) dont l'esprit est différent, organisé qu'il est autour de la distinction entre « système souhaité », « système réel » et « système simulé », et mettant l'accent sur les écarts entre eux. On y lit, dans une

---

<sup>21</sup> Au Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale du 30 mai 2013 ont été publiés les programmes des premières années entrant en application en 2013, plus, pour SII, ceux de seconde année (en fait la rédaction de ces programmes est globale sur les deux années) :

[http://www.education.gouv.fr/pid25535/bulletin\\_officiel.html?pid\\_bo=29620](http://www.education.gouv.fr/pid25535/bulletin_officiel.html?pid_bo=29620)

Pour les disciplines autres que SII, des projets de programmes de seconde année ont été mis en consultation par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche au printemps 2013, la publication des programmes définitifs étant prévue pour l'automne 2013 pour entrer en application en 2014 ; c'est donc sur ces projets que nous nous appuyons ici s'agissant des mathématiques.

section intitulée « Analyser », sous-section « Caractériser des écarts », sous-sous-section « Identification des écarts » : *Extraire du cahier des charges les grandeurs pertinentes. Exploiter et interpréter les résultats d'un calcul ou d'une simulation* et (en MPSI uniquement pour les élèves choisissant l'option SII) *Traiter des données de mesures et en extraire les caractéristiques statistiques*. Rien sur l'aléatoire en revanche, ni au titre des sous-sous-sections suivantes (« Quantification des écarts », « Interprétation des écarts obtenus ») ni dans la section « Modéliser ». On peut s'interroger sur le fait que les auteurs du programme de MPSI aient placé en option la seule évocation d'un traitement statistique : l'ont-ils jugé non fondamental ? trop difficile ? trop chronophage ?

En nous étonnant ainsi de la place restreinte faite, au sein de ces programmes de SII, aux usages du calcul des probabilités et de la statistique, pourtant bien présents dans les processus de conception et de production industrielles, nous n'entendons pas remettre en cause les priorités adoptées quant aux démarches fondamentales de préconisation, de simulation et de réalisation des systèmes ; nous émettons seulement le souhait qu'à terme soit reconnue l'utilité de leur adjoindre plus d'aléatoire. Et cet aléatoire ne peut être l'objet d'un « entrisme » dans les programmes de SII du fait des mathématiques surtout compte tenu de la faiblesse actuelle, ou prévisible, en ce domaine des programmes de mathématiques que nous allons analyser maintenant. C'est avec leurs cultures propres que mathématiques et sciences de l'ingénieur devraient, espérons-nous, évoluer en classes préparatoires en ce qui concerne l'aléatoire et le traitement des données, ce qui n'interdit bien sûr pas de penser que les deux disciplines pourraient y trouver des occasions de coopération fructueuses.

En ce qui concerne les programmes de mathématiques, rappelons tout d'abord que, jusqu'en 2013, le calcul des probabilités et la statistique en étaient totalement absents<sup>22</sup>. Sous l'effet de la croissance de ces disciplines dans les programmes de lycée, elles font leur entrée dans les nouveaux programmes.

En première année (textes mis en application en 2013) le choix a été fait, au sein d'un programme de mathématiques dont un des objectifs essentiels est de reprendre et prolonger, en leur assurant plus de cohérence, les bases d'algèbre et d'analyse abordées au lycée, de se limiter aux probabilités sur univers fini, en y traitant les notions de probabilité conditionnelle et d'indépendance et, pour les variables aléatoires usuelles, les propriétés élémentaires de l'espérance mathématique et de la variance. Ainsi modeste, ce programme peut être quasi-identique dans les cinq voies (MPSI, PCSI, PTSI, TSII, TPC1).

On reproduit ici son préambule dans le programme de MPSI : *Ce chapitre a pour objectif de consolider les connaissances relatives aux probabilités sur un univers fini et aux variables aléatoires définies sur un tel univers présentées dans les classes antérieures. Il s'appuie sur le chapitre consacré au dénombrement. Ce chapitre a pour vocation à interagir avec l'ensemble du programme. Il se prête également à des activités de modélisation issues de la vie courante ou d'autres disciplines.*

Les « activités de modélisation » ayant rapport avec le travail de l'ingénieur nous paraissent dans ce cadre fort réduites, si ce n'est dans des procédures de contrôle de la qualité où intervient la loi binomiale ; mais ceci suppose d'aborder une problématique de test statistique, à laquelle les élèves ont été un peu initiés au lycée, et à condition de se limiter aux « petits échantillons » (sans quoi il faut recourir à l'approximation gaussienne, non dans ce programme).

<sup>22</sup> La situation était bien sûr tout à fait différente pour les filières à vocation biologique ou agronomique.

J.-P. Raoult

La possibilité, évoquée dans ce texte officiel, *d'interagir avec l'ensemble du programme*, importante pour valoriser le calcul des probabilités aux yeux des étudiants, est elle aussi très limitée ; il en aurait été autrement si, en MPSI, PCSI et PTSI, où les séries numériques figurent au programme, on avait introduit les probabilités sur univers dénombrable ; pour un faible coût théorique, on aurait pu traiter les lois géométriques ou de Poisson dont l'usage technologique va bien au-delà de ce qui est proposé actuellement.

Il est donc important de voir quelle sera l'ambition des programmes de seconde année devant entrer en application en 2014. Or, sur la base des projets connus à la date de rédaction de cet article (août 2013), celle-ci nous paraît assez décevante, tant du point de vue du contenu mathématique que de celui des applications, l'idée centrale étant de continuer à se limiter à des modèles discrets (univers dénombrable).

Ici encore, les libellés de cette portion des programmes sont très proches dans les cinq voies. Voici un extrait du préambule du programme de MP : *Ce chapitre, dont l'objectif est d'aborder l'étude des variables aléatoires discrètes, généralise celle qui a été effectuée en première année et fournit des outils permettant d'aborder, sur des exemples simples, l'étude de processus stochastiques à temps discret. La mise en place de ces outils nécessite d'introduire des notions générales de théorie des probabilités. Ces dernières font l'objet d'un exposé à minima... Les diverses notions de convergence des suites de variables aléatoires (presque sûre, en probabilité, en loi) sont hors programme. Les résultats vus en première année s'étendent de manière très naturelle au cas des variables aléatoires discrètes. Cette extension doit être effectuée rapidement, de manière à libérer du temps pour des activités pratiques. La notion de variable à densité est hors programme.*

L'accent mis sur les processus stochastiques est intéressant du point de vue des applications industrielles. L'étude des processus de Markov peut ainsi à la fois permettre de présenter un outil que les ingénieurs peuvent employer dans des processus de fabrication ou de contrôle et d'établir un lien très riche avec le cours d'algèbre linéaire.

Mais le refus de traiter des variables à densité nous paraît, s'il est maintenu dans les programmes définitifs, très dommageable. En fiabilité, cadre privilégié d'emploi industriel des probabilités, on travaille essentiellement sur des durées de vie, modélisées principalement par des lois de Weibull (dont les lois exponentielles sont un cas particulier). Surtout l'approximation gaussienne est absolument centrale dans un très grand nombre de situations aléatoires, industrielles ou non ; on ne peut, nous semble-t-il, en laisser le maniement à l'empirisme, surtout s'agissant d'activités scientifiques comme celles des ingénieurs. Avoir conscience de la qualité des approximations que l'on utilise est toujours capital et, au niveau de capacités mathématiques qui est celui des élèves des classes préparatoires aux grandes écoles, le maniement du théorème central limite nous paraît ici une voie naturelle pour cette prise de conscience ; précisons que « maniement », en l'occurrence, ne veut pas nécessairement dire démonstration mais plutôt manipulation d'exemples numériques multiples mettant en évidence le rôle, dans la vitesse de convergence de la loi binomiale de paramètres  $n$  et  $p$ , centrée et réduite, vers la loi normale centrée réduite, de la quantité  $np(1-p)$  (ce que la démonstration présente aussi). Cette impasse sur la loi gaussienne nous paraît d'autant plus regrettable que celle-ci est fort malmenée dans les nouveaux programmes de classes terminales des lycées, où on parle des paramètres de la loi normale sans avoir la possibilité de leur donner leur statut d'espérance mathématique et de variance, faute de définition de ces notions pour les lois à densité ; le cours d'intégration figurant dans les programmes de classes préparatoires permettrait de combler cette lacune.

Il y a peut-être plus grave dans cet état de choses : pour bon nombre de cadres scientifiques et techniques en France, les mathématiques qu'ils ont apprises en « prépas » sont l'archétype du fondement mathématique de la culture scientifique utile ; c'est ainsi qu'y ont droit de cité, par exemple, les équations différentielles, qui prolongent naturellement le cours sur les fondements de calcul différentiel et intégral<sup>23</sup>. Dans le panorama de la science mathématique depuis maintenant un siècle, les probabilités ont connu une place régulièrement croissante et elles aussi pourraient, au niveau qui nous intéresse ici, et à condition bien sûr de ne pas se cantonner aux modèles discrets, s'harmoniser avec les cours d'intégration et d'algèbre tout en leur fournissant des champs d'application stimulants ; c'est d'ailleurs ce que proclame le préambule du projet de programme, au titre de « l'unité de la formation scientifique » sans s'en donner véritablement les moyens (*A titre d'exemples, la géométrie apparaît comme un champ d'application des concepts développés en algèbre linéaire et euclidienne ; les probabilités utilisent le vocabulaire ensembliste et illustrent certains résultats d'analyse*). Ainsi, en se limitant au projet de programme de PC, le calcul différentiel et intégral unidimensionnel pourrait servir pour établir le lien entre densité et fonction de répartition, les intégrales « généralisées » (c'est-à-dire non limitées à des domaines bornés de la droite réelle) pour les calculs de l'espérance mathématique et de la variance des lois à densité les plus communes ou encore la diagonalisation des matrices carrées pour l'analyse des lois gaussiennes multidimensionnelles<sup>24</sup>.

En écrivant dans ce projet *La notion de variable à densité est hors programme*, on refuse au calcul des probabilités, aux yeux des étudiants, le statut de branche essentielle des mathématiques qu'il a acquis parmi les mathématiciens. Perdurerait alors le manque de considération à son égard, chez les responsables de la culture technologique en France, que nous déplorions dans la première section de cet article ; et ceci serait a fortiori vrai pour la statistique inférentielle, esquissée en classe terminale des lycées pour le modèle binomial (intervalles de confiance, modeste approche des tests d'hypothèse) mais totalement absente des programmes de classes préparatoires, alors que, outre son utilité industrielle, elle comporte elle aussi des développements mathématiques tout à fait substantiels. Qu'on songe par exemple (toujours en se limitant à des outils figurant au projet de programme de PC) à l'estimation par maximum de vraisemblance (recherche d'extrema de fonctions réelles de plusieurs variables réelles) ou, dans le cadre des lois gaussiennes multidimensionnelles cité plus haut, au test du chi carré (qui avait fait durant quelques années son apparition au programme de terminale scientifique dans un cadre très simplifié et bien sûr de manière tout à fait empirique)<sup>25</sup>.

## 4 Les écoles d'ingénieurs

Dans un livre blanc publié en 1990, intitulé *L'enseignement de la Statistique en France*, l'Association pour la Statistique et ses Utilisations (ASU, qui s'est fondue depuis dans la

<sup>23</sup> Les séries de Fourier, qui figuraient dans les programmes précédents, ont été retirées, « faute de place », dans les projets actuels.

<sup>24</sup> Il ne s'agit pas ici d'esquisser un programme, mais seulement d'évoquer des possibilités dont nous regrettons qu'aucune ne puisse être exploitée dans ces projets de programmes. Il serait peut-être intéressant de ne pas isoler une section « probabilités à densité » mais de donner des exemples probabilistes au fil du cours, chaque fois que les outils à cette fin sont établis ; ainsi l'appartenance des probabilités à l'ensemble du corpus mathématique serait-elle bien établie.

<sup>25</sup> On peut faire ici une remarque analogue à celle qui a fait l'objet de la note 17 ci-dessus.

J.-P. Raoult

Société Française de Statistique<sup>26</sup>) écrivait, à propos des écoles d'ingénieurs : *Mises à part quelques écoles de pointe déjà citées<sup>27</sup>, la situation actuelle est assez préoccupante : absence d'enseignement moderne, voire d'enseignement tout cours (il paraît anormal qu'aucun enseignement de statistique digne de ce nom n'existe dans les Ecoles d'Arts et Métiers (ENSAM)), peu de participation de statisticiens professionnels (enseignants, chercheurs ou praticiens). Un sérieux dépoussiérage s'impose et il semble urgent que les directeurs d'école ou la conférence des grandes écoles réalisent à quel point la formation aux méthodes statistiques est indispensable dans presque tous les métiers d'ingénieurs.*

La situation a considérablement évolué depuis lors. Il est impossible (sauf création d'une mission ad hoc) d'effectuer un bilan des enseignements de probabilités et de statistique dans les grandes écoles, tant elles sont nombreuses et diverses dans leurs vocations, leurs exigences et leurs modes de recrutement : la « Conférence des Grandes Ecoles » (CGE) regroupe actuellement (en 2013) 218 établissements, dont 157 délivrant le titre d'ingénieur. Mais une investigation par sondage sur les sites de quelques-unes d'entre elles a fait apparaître dans tous les cursus des unités de statistique, soit autonomes, soit intégrées dans un ensemble de cours d'outils mathématiques, soit reliées à des enseignements technologiques. Ainsi les ENSAM, pointées comme particulièrement rétrogrades dans le livre blanc de l'ASU il y a près de vingt-cinq ans, ont dans leur cursus un ensemble de cours de *Systèmes informatiques et outils mathématiques pour l'ingénieur*, dont l'un des objectifs est libellé *Maîtriser les concepts et outils de base de l'analyse statistique* et qui comporte, en son sein, une section *Techniques quantitatives appliquées aux sciences de l'ingénieur* qui est un cours classique de processus stochastiques, de statistique inférentielle et d'analyse des données multidimensionnelles.

Seule une étude plus approfondie permettrait d'étudier la réalisation de ces enseignements ; il est inévitable, compte tenu de la pénurie d'enseignants de statistique en France, que, dans de nombreux cas, ils soient encore assurés par des praticiens qui ne possèdent des techniques de statistique et d'analyse des données que ce qu'ils ont dû acquérir pour leur usage propre et qui donc sont mal armés pour communiquer les principes fondamentaux de la discipline<sup>28</sup>. On trouve là une situation analogue à celle prévalant dans d'autres secteurs ; ainsi, dans le présent numéro de « Statistique et Enseignement », dans un article intitulé *Statistique, informatique, mathématiques et interdisciplinarité*, Jeanne Fine écrit : *Il s'agit pour ces disciplines... 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 « méthodes quantitatives 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 dans la présentation des*

<sup>26</sup> <http://www.sfds.asso.fr/>

<sup>27</sup> Se singularisaient ainsi les écoles d'agronomie ou le Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM, établissement de formation continue).

<sup>28</sup> Ceci peut être vu comme un avantage par certains responsables d'écoles. Il semble que les représentants de la « commission amont » de la CGE au sein des groupes de rédaction des programmes des CPGE n'aient pas poussé à l'introduction de plus de probabilités et de statistique, avec l'argument que ce qui était nécessaire dans ces techniques pouvait fort bien n'être enseigné que dans les écoles en fonction de leurs besoins propres.

*traitements statistiques.* Une réflexion analogue vaudrait pour nombre de formations en écoles d'ingénieurs.

Un autre facteur est intervenu qui, du moins pour les écoles aux plus fortes exigences mathématiques, a conditionné l'enseignement des probabilités et de la statistique : la place prise par les mathématiques financières à la fois dans certains laboratoires de recherche associés à ces écoles et dans les débouchés des élèves ; ceci a conduit à proposer des enseignements de calcul des probabilités à forte difficulté théorique (équations différentielles stochastiques) et a contraint les étudiants à affronter des données réelles ; mais celles-ci sont assez différentes de celles que rencontrent les ingénieurs, sauf dans quelques branches comme la théorie du signal. Quoique l'on puisse penser de la place prise par les mathématiques financières, on doit reconnaître qu'elle a beaucoup favorisé la prise en compte de l'aléatoire dans les formations technologiques de haut niveau.

## 5 Des efforts à poursuivre

Intégré dans un numéro spécial de la revue « Statistique et Enseignement » intitulé *L'enseignement de la statistique en interdisciplinarité*, cet article paraît, à la lecture de la description que nous venons de donner de la situation en France, ne pas y justifier pleinement sa place. En effet nous avons rencontré essentiellement des situations où les enseignements de statistique, s'ils existent (ce qui n'est pas le cas pour les CPGE), existent à côté d'enseignements disciplinaires de sciences de l'ingénieur mais assez peu en symbiose avec eux, sauf dans certaines grandes écoles, avec des inconvénients que nous avons déjà signalés.

Il peut en particulier difficilement en être autrement dans les STS où cet enseignement est assuré par des professeurs de mathématiques que leur formation « classique » prédispose mal, malgré les rituelles invites dans les préambules des programmes, à harmoniser leurs cours avec ceux de leurs collègues de disciplines techniques. Cette collaboration devrait nous semble-t-il passer d'abord par une réflexion sur la nature des données manipulées par ces disciplines. Il est difficile de proposer en France, à des professeurs qui pour la plupart ont vu les probabilités et la statistique prendre récemment seulement une part croissante dans leur pratique, des rénovations fondamentales de l'approche de la statistique, associée intimement à celle du calcul des probabilités, qui est celle proposée par les programmes de STS<sup>29</sup> ; il serait irréaliste de passer brutalement à des enseignements de type « data based » qui sont ceux pratiqués ou recommandés dans certains pays étrangers (voir le numéro spécial 1 du volume 4 de « Statistique et Enseignement », intitulé *Le curriculum statistique dans le secondaire, comparaisons internationales*). En revanche il paraît essentiel de favoriser le traitement de données à la fois par le professeur de mathématiques et par ceux d'autres disciplines ; l'institution devrait y coopérer en organisant des stages conjoints de formation continue<sup>30</sup>. La documentation, qu'elle soit sur papier ou numérique, ne peut remplacer ici le dialogue encadré par des praticiens exercés ; des perspectives pourraient alors aussi être tracées vers un usage plus ambitieux des données motivant, et non seulement servant d'exemples, aux traitements statistiques. Outre les universités, des organismes technologiques pourraient être activés en ce sens<sup>31</sup>.

<sup>29</sup> Surtout alors que ces programmes viennent juste d'être remaniés !

<sup>30</sup> A l'image de ce qui se pratique par exemple dans l'académie de Créteil, avec le concours de l'IREM de Paris-Nord.

<sup>31</sup> Evoquons par exemple ici l'Institut pour la Maîtrise des Risques déjà cité à la note de page 2.

J.-P. Raoult

La modicité du programme de probabilités, et l'absence totale de statistique, dans les programmes des CPGE crée, nous l'avons vu, une césure difficilement justifiable dans la formation à l'aléatoire des cadres scientifiques et technologiques de la nation. Si les programmes des secondes années actuellement à l'état de projet sont confirmés, il nous semble nécessaire de continuer à plaider pour leur modification. L'essentiel ici, à notre avis, est moins une argumentation de type utilitariste (tout le monde est aujourd'hui convaincu qu'à un moment ou à un autre il faut se confronter à la statistique ; le débat porte sur le moment opportun) qu'un recours au besoin de formation en continu de la pensée scientifique appuyée sur les mathématiques, ce dont la formalisation du raisonnement en contexte aléatoire est devenue une composante essentielle ; la maîtrise du test statistique en est un exemple typique, et nous invitons à cet égard à la lecture, dans ce même numéro de « Statistique et Enseignement », de l'article de Claudine Schwartz : *La preuve par les chiffres (evidence based) : de quoi s'agit-il ?* Là aussi un soutien de l'institution fournissant aux professeurs des classes préparatoires des contacts avec des praticiens de haut niveau des méthodes stochastiques pourrait se révéler utile non seulement pour fournir des outils mais aussi pour faire tomber des préjugés.

Enfin la situation dans les grandes écoles paraît très évolutive. C'est au cas par cas que des contacts, par exemple avec des universités ou des laboratoires de recherche, peuvent continuer à y faire entrer « la raison statistique » que nous évoquions dans la première section de cet article. Il appartient par exemple à la Société Française de Statistique de favoriser ces contacts.

La statistique, en France, n'est plus autant une *discipline émergeant difficilement* que l'affirmait l'Académie des Sciences dans son rapport de 2000. Elle apparaît cependant encore trop souvent comme ayant un statut bâtard, non tout à fait légitimé scientifiquement ; le cas des programmes des CPGE est emblématique à cet égard mais il est surprenant que, dans ce secteur de l'enseignement, un certain ostracisme semble continuer à peser aussi sur tout un pan du calcul des probabilités, pourtant très anciennement reconnu comme une véritable branche des mathématiques en France. La considération des vingt dernières années marque cependant une prise de conscience réelle à la fois de l'utilité de cette discipline, en particulier pour les sciences de l'ingénieur, et de la nécessité de la présenter avec des bases théoriques solides. On peut donc espérer que cette évolution favorable se poursuivra. Il ne manque pas de forces pour y œuvrer.