

L'ENSEIGNEMENT DE LA STATISTIQUE EN INTERDISCIPLINARITÉ CONTRIBUTION AUX DÉBATS

Jeanne FINE¹

TITLE

Statistics teaching in interdisciplinarity. A contribution to the debates

RÉSUMÉ

Ce texte est une contribution aux trois débats ouverts par ce numéro spécial sur l'enseignement de la statistique en interdisciplinarité : 1) sur la notion (très interdisciplinaire) de *preuve statistique*, utilisée tant dans les sciences expérimentales que dans les sciences humaines ; 2) sur la statistique en tant que discipline scolaire et comme entrée dans des activités interdisciplinaires en milieu scolaire ; 3) sur la question : quelle(s) discipline(s) devrai(en)t être en charge de l'enseignement de la statistique dans l'enseignement secondaire ?

Mots-clés : enseignement de la statistique, interdisciplinarité, disciplines scolaires, disciplines scientifiques, pratiques scolaires, formation des professeurs, preuve par les chiffres, test statistique.

ABSTRACT

This text is a contribution to the three debates open by this special issue on the statistics teaching in interdisciplinarity: 1) the *evidence-based* concept which is very interdisciplinary, used in experimental sciences as well as in humanities; 2) statistics as a school subject and as an entrance to interdisciplinary activities in schools; 3) the question: what school subject(s) should be in charge of statistics teaching in secondary education?

Keywords: teaching statistics, interdisciplinarity, school subjects, disciplines, school practices, teachers formation, evidence-based, statistical test.

1. Introduction

Tout d'abord, il semble important de préciser que l'on s'intéresse essentiellement à l'enseignement de la statistique dans le secondaire ou, dans le supérieur, dans des disciplines utilisatrices de la statistique. Il est alors entendu que l'enseignement de la statistique inclut l'enseignement des probabilités (au moins jusqu'aux théorèmes limites). On se réfèrera à ce propos à l'éditorial d'un numéro de la revue (Fine *et al.*, 2011).

Nous apportons dans ce texte notre contribution aux trois débats ouverts par ce numéro spécial sur l'enseignement de la statistique en interdisciplinarité : dans le paragraphe 2, le débat sur la notion (très interdisciplinaire) de preuve statistique, utilisée tant dans les sciences expérimentales que dans les sciences humaines ; dans le paragraphe 3, le débat sur la statistique en tant que discipline scolaire et comme entrée dans des activités interdisciplinaires en milieu scolaire ; enfin, dans le paragraphe 4, le débat sur la question « quelle(s)

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

discipline(s) devrai(en)t être en charge de l'enseignement de la statistique dans l'enseignement secondaire ? »

2. La preuve par les chiffres (*evidence-based*), de quoi s'agit-il ? (Claudine Schwartz)

Le premier débat porte sur la notion (très interdisciplinaire) de *preuve statistique*, utilisée tant dans les sciences expérimentales que dans les sciences humaines, ainsi que sur *les images et le vocabulaire* à employer pour l'approche de la notion de test.

1) Traduction en français de « *evidence-based* » ?

Il n'est pas facile de traduire en français « *evidence-based* » au point que l'expression en anglais est souvent ajoutée à la proposition de traduction. Si l'on consulte des dictionnaires ou Internet, « *evidence-based decision making* » peut être traduit par « *prise de décision fondée sur des preuves* », où les *preuves* sont à prendre dans le sens commun, c'est-à-dire, des *faits avérés* ou des *données probantes*.

L'origine de cette expression vient de la médecine avant de se diffuser à bien d'autres disciplines. Dans toutes les disciplines, l'expression renvoie à l'utilisation de données et de méthodes relevant de la statistique, que ce soit dans le recueil (randomisation) ou dans le traitement (intervalles de confiance, tests d'hypothèse). Il est à ce titre justifié de traduire « *evidence-based* » par « *preuve par les chiffres* » ou « *preuve statistique* » comme le propose Claudine Schwartz dans cet article.

2) Lente construction d'une preuve scientifique

Il n'en demeure pas moins que, comme en médecine, c'est la convergence de nombreux éléments de preuves qui permettra de *consolider une connaissance*. L'auteure utilise de nombreux exemples historiques et contemporains pour insister sur ce point et montrer la *lente construction d'une preuve scientifique*.

« Schématiquement, la preuve statistique confronte des objets de nature distincte, à savoir une question théorique et des faits expérimentaux en lien avec celle-ci. Elle œuvre dans les chantiers de la connaissance et produit une parcelle de savoir qui vient d'abord s'inscrire en marge d'un savoir existant et stabilisé. Ou alors elle s'insère dans l'évaluation d'une politique, ou dans l'élaboration d'outils de pilotage. » (p. 4)

« La notion de preuve *par les chiffres* repose sur un consensus fort : les données expérimentales y ont le dessus sur l'hypothèse théorique. Autrement dit, si les chiffres peuvent contredire l'hypothèse théorique, l'inverse est exclu. » (p. 5)

Elle développe ensuite en détail les trois étapes de la procédure de test statistique : une mise en forme de la question, l'usage d'un test statistique et l'argumentation en explicitant le rôle de la rareté dans la procédure de test et ce qui relève d'un consensus social.

3) Une procédure de tests statistiques unifiée ?

Claudine Schwartz revient sur l'histoire de la théorie des tests, les *tests de signification* de Fisher et les *tests d'hypothèses* de Neyman et Pearson et ajoute :

« La preuve statistique étant un élément de validation ou de rejet d'une hypothèse théorique, plus ou moins puissant suivant le nombre des données dont on dispose, les positions de

J. Fine

Neyman et Fisher ne s'opposent plus. Il est temps de les unifier et de dire dans toutes les situations : « les données sont (resp. ne sont pas) compatibles avec l'hypothèse nulle », ou « au vu des données, on accepte (resp. on rejette) l'hypothèse nulle. » » (p. 17)

Ce passage est loin de faire l'unanimité dans la communauté statistique. L'auteure nous en donne deux exemples dans son article :

1) la réaction de Fisher à la publication des travaux de Neyman :

« Croyant amender et améliorer mes premiers travaux sur les tests de significativité employés pour « augmenter le savoir venu des faits », Neyman a de fait reformulé ceux-ci en termes d'outils techniques et à visée commerciale, connus sous le nom de procédures d'acceptation. Ces procédures sont d'une grande importance aujourd'hui, dans le monde moderne. Si une grande firme, comme la Royal Navy, réceptionne du matériel venant d'une entreprise industrielle, je conçois qu'il faille en faire une inspection assez soignée et faire des tests afin de pouvoir réduire la fréquence de livraisons contenant du matériel défectueux... Mais les différences logiques entre de telles opérations et les découvertes scientifiques en physique ou en biologie expérimentales me paraissent si énormes que les analogies entre elles n'apportent rien, et les identifier est carrément trompeur. »

2) une référence aux nombreuses publications dénonçant une version « hybride » des tests, celle d'Armatta, 2006, dont je reporte ici un extrait (p. 118) :

« Or ce contre quoi les différents auteurs contemporains mettent en garde, c'est la diffusion massive d'une version hybride de ces deux approches qui confond falsification et décision, qui suppose 2 hypothèses mais n'en spécifie qu'une, qui ne se soucie plus de randomisation, qui prend $\alpha = 5\%$ comme une norme, qui utilise indifféremment la p -value ou la valeur critique, et qui interprète $1 - p$ comme un degré de corroboration de H_1 . Or cette interprétation associée à la règle implicite de ne publier que les effets significatifs provoque de nombreux biais de publication. »

Les critiques sont telles que les normes de publication évoluent. La sixième édition du manuel de publication de l'*American Psychological Association* est parue en 2009 (cf. en référence « What's new in the Sixth Edition of the Publication Manual? », chapitre 4). Il est aujourd'hui demandé de publier les p -valeurs avec deux ou trois décimales ($p < 0.001$ le cas échéant), mais aussi de publier non seulement la valeur de la statistique de test mais aussi l'*importance de l'effet* (effect-sizes) et les *intervalles de confiance*.

En effet, le test de signification statistique n'est pas suffisant pour apporter une réponse scientifique utile au chercheur :

- une différence significative ne veut pas dire qu'il y a un effet notable ;
- une différence non significative ne veut pas dire que l'effet est négligeable.

Plutôt que positionner la valeur de la statistique de test (par exemple, la différence de deux fréquences ou de deux moyennes) à la valeur critique, l'évolution des normes conduit à positionner un intervalle de confiance de cette statistique par rapport à la valeur nulle et à la valeur critique.

Ces nouvelles normes de publication remettent peu à peu en question le cadre conceptuel classique (i.e., fréquentiste) de la théorie des tests. C'est en tout cas le point de vue des bayésiens qui proposent une méthodologie, dite objective ou fiducio-bayésienne, reposant sur des distributions initiales non-informatives (cf. les sites de Lecoutre et de Rouanet ; cf., en particulier, Lecoutre (2005) pour une introduction à cette approche).

4) *A propos de la vraie valeur du paramètre et du changement de paradigme que constitue la modélisation*

La deuxième partie du résumé annonce un autre objectif de l'article :

« Nous nous penchons sur la terminologie, notamment celle de « la vraie valeur d'une probabilité (ou d'un paramètre) », et la rhétorique employée au 20^e siècle qui, en dépit de sa commodité pédagogique, conduisent à une perte de sens de la notion de preuve par les chiffres. D'où une proposition de changement de rhétorique, pour l'adapter à notre époque où la notion de modèle est explicitement présente dans la plupart des démarches scientifiques. »

« Aujourd'hui, le cadre scientifique est celui de la manipulation de modèles et non plus celui de l'axiome d'existence d'une *vraie valeur* d'une probabilité. » (p. 15)

« La démarche jusque-là impensée de quantification, celle des probabilités ou celle de la taille de l'homme *idéal* d'Adolphe Quetelet (Desrosières, 2002), introduite largement au 19^e siècle avec la notion de *vraie valeur*, a cependant ouvert la voie au changement de paradigme que constitue la modélisation. » (p. 16)

« Si les métaphores des urnes restent pertinentes dans le chapitre des sondages et de certaines études de population, l'usage systématique de *populations fictives* et l'axiome de l'existence d'une « *vraie valeur* » n'ont pas lieu de perdurer. » (p. 17)

Cette deuxième partie s'oppose à la proposition que nous avons défendue (Fine, 2010) de ne pas ramener toute la statistique à l'« approche modèle » :

« En conclusion : il ne s'agit pas de proposer de remplacer l'approche modèle par l'approche sondage mais de proposer différentes approches en fonction des données. Les deux approches sont complémentaires. » (p. 19)

Nous donnons ici une illustration de ces deux approches à partir de l'énoncé d'un exercice :

Approche modèle

« Un jour donné, une machine produit N objets, chacun pouvant être bon ou mauvais. Les qualités des N objets produits sont supposées indépendantes et de même loi caractérisée par la probabilité p pour chacun des objets d'être bon. En fin de journée, on tire au hasard un échantillon de n objets dans l'ensemble des objets produits et on observe k bons et $n - k$ mauvais ; n étant petit devant N , on admettra que les n observations sont indépendantes. Estimez par intervalle de confiance à 95% la probabilité p . »

Approche sondage

« Un jour donné, une machine produit N objets, chacun pouvant être bon ou mauvais. En fin de journée, on tire à probabilités égales et sans remise un échantillon de n objets (n négligeable devant N) dans l'ensemble des objets produits et on observe k objets bons et $n - k$ mauvais. Estimez par intervalle de confiance à 95% la proportion p d'objets bons dans la production de la journée. »

C'est dans l'énoncé de l'approche modèle qu'il y a perte de sens : comment passe-t-on d'une situation où « chaque objet peut être bon ou mauvais » à « la probabilité p pour chacun des objets d'être bon » ?

Dans l'approche sondage, l'aléatoire vient de la procédure d'échantillonnage et il n'est pas nécessaire de faire des hypothèses sur la distribution de probabilité. « La probabilité p d'observer un objet bon » lors d'un tirage a une « vraie valeur » : « la proportion » d'objets bons dans la production.

J. Fine

C'est effectivement A. Quetelet qui a transposé le traitement statistique des sciences exactes dans le champ des sciences humaines et nous rejoignons la conclusion de M. Armatte (2004) :

« Les tentatives faites dans l'après-guerre pour fusionner ces deux approches (traitement de l'erreur dans les sciences exactes et traitement de la variabilité dans les sciences de l'homme) au sein d'un même corpus rebaptisé « statistique mathématique » montrent alors leurs limites : l'utilité de ces synthèses à des fins d'unification des sciences, ou à des fins pédagogiques cache mal que les hybrides produits, cohérents d'un point de vue syntaxique, sont parfois totalement inconsistants d'un point de vue sémantique et pragmatique. »

Les recherches des mensurations de l'homme idéal d'A. Quetelet ont été vouées à l'échec. Cela ne justifie pas le rejet de la terminologie de *vraie valeur*. Dans l'approche sondage, il existe bien une *vraie valeur* du paramètre : il s'agit, par exemple, de la *proportion* ou *moyenne* de la distribution de fréquences du caractère sur la population. En revanche, dans le cas de la comparaison d'un traitement et d'un placebo sur des échantillons de patients randomisés, parler de *vraie valeur* du paramètre pour des populations « fictives » n'a effectivement pas de sens.

5) Proposition pour l'enseignement de la statistique

Face à un tableau initial de données *individus* × *variables*, il s'agit de se poser des questions sur le mode de sélection des individus statistiques et sur la définition et/ou construction des variables.

Du côté des individus statistiques

Les données peuvent être :

- des données observées sur des unités statistiques sélectionnées selon une procédure aléatoire dans une base de sondage (la liste des unités statistiques de la population) ;
- des données issues d'une expérimentation aléatoire (dans sa forme la plus simple : répétition dans les mêmes conditions d'une même expérience ; dans une forme plus complexe : plans d'expérience avec assignation aléatoire des unités statistiques dans les différentes conditions d'expérience) ;
- des données dites d'observation, qui ne relèvent pas des deux types précédents (enquêtes auprès de populations, fichiers administratifs, bases de données d'entreprises...).

Dans les deux premiers cas, l'échantillonnage est aléatoire et il est légitime d'utiliser des procédures inférentielles. Dans le premier cas, approche sondage, il n'y a pas d'hypothèse sur les distributions de probabilités des variables, ces distributions ne sont autres que les distributions de fréquences des caractères sur la population (on notera en passant que « l'indépendance » de deux variables sur une population finie assez vaste est un vœu pieu). Dans l'approche modèle, il est possible de spécifier les distributions de probabilités des variables. Bien des techniques statistiques, autres qu'inférentielles, peuvent être utilisées pour obtenir de l'information et faire des prévisions à partir du troisième type de données, données dites d'observation.

Du côté des variables

Les variables peuvent être qualitatives ou quantitatives, dépendre du temps ; ce peut être des indicateurs (i.e., des variables fonctions d'autres variables)... Il est important de réaliser

que les catégories et les variables sont des objets construits à partir de conventions. Il en résulte que les paramètres de la population peuvent être plus ou moins bien définis, plus ou moins précis. Les enregistrements des résultats au baccalauréat par le rectorat de l'académie sont plus précis que les opinions demandées à une population sur telle ou telle mesure politique (si tant est que ces opinions existent !). Même si l'on est dans le cadre de l'expérimentation, s'il s'agit de mesures répétées d'une même grandeur, cette grandeur peut être plus ou moins bien définie, plus ou moins précise.

En conclusion, plutôt qu'unifier les procédures, il vaut mieux diversifier les situations, les recueils et types de données, les contextes d'utilisation de la statistique, les méthodes statistiques, en particulier les explorations graphiques et géométriques. Que le modèle utilisé soit aléatoire ou déterministe, il s'agit d'en mesurer la qualité et d'en voir les limites compte tenu des hypothèses et des conventions utilisées.

3. La statistique est-elle une discipline scolaire ? (Dominique Lahanier-Reuter)

Le deuxième débat pourrait être posé comme suit. La statistique en tant que *discipline scolaire*, la statistique comme *entrée dans des activités interdisciplinaires* en milieu scolaire : qu'en pensent les professeurs ?

Dominique Lahanier-Reuter recense dans son article les « faits » qui participent à ce qui semble bien être une « *disciplinarisation scolaire de la statistique* » : les finalités qui lui sont attribuées par l'institution et par certains des acteurs interrogés, les formes des contenus identifiés (de nouveau par l'institution et par certains des acteurs interrogés), les places occupées par les enseignements et par certaines pratiques langagières.

Cette « *disciplinarisation scolaire de la statistique* » est-elle ressentie par les professeurs ? Est-elle voulue par l'institution ? Par les professeurs ? La représentation que se font les élèves de la statistique (resp. des mathématiques) correspond-elle à la représentation qu'en a l'institution ? Qu'en ont les professeurs ?

Ces questions sont liées à celle soulevée dans le troisième débat : ne faudrait-il pas enseigner la statistique en physique, en biologie ou en sciences économiques et sociales plutôt qu'en mathématiques ? Cette question fait suite au constat que la statistique serait mal traitée en mathématiques.

Dans le dernier numéro de la revue *Statistique et Enseignement* (Vol. 4, N°1, 2013), qui propose une comparaison internationale de programmes de statistique dans le secondaire, j'apporte quelques éléments de réponse à ces questions (Fine, 2013).

Voici tout d'abord une critique du programme français de statistique en collège et lycée qui, d'une certaine façon, montre qu'il ne s'agit ni de statistique ni de mathématiques :

« En statistique et probabilités, le curriculum français est assez limité au niveau du collège et, au contraire, très détaillé au niveau du lycée mais sur un nombre restreint de notions. De plus ces notions sont déconnectées entre elles et l'aspect calculatoire l'emporte sur le sens et l'interprétation.

En effet, c'est en troisième qu'il est fait, pour la première fois, référence à la statistique et qu'une initiation aux probabilités est proposée. Avant ce niveau d'enseignement, il est question de traitement de données sans se préoccuper de l'origine ou du recueil des données, il

J. Fine

est proposé de travailler la mise en forme de tableaux et de graphiques sans en préciser le contenu : s'agit-il d'effectifs ? de données brutes ? de données agrégées ? On introduit le vocabulaire de la statistique, effectifs, fréquences, catégories, ... sans définir ces notions. Aussi, dans les manuels scolaires ou les épreuves d'évaluation, l'utilisation du vocabulaire est parfois faite à contresens et les questions sont souvent mal posées. Les exigences en collège sont très faibles, surtout en regard des objectifs affichés dans l'introduction aux programmes.

Au lycée, dans la série scientifique, l'enseignement des probabilités est assez déconnecté de l'enseignement de la statistique : l'indépendance de deux événements et les exercices s'y référant est déconnectée de la notion d'échantillon (un échantillon de taille n est constitué des résultats de n répétitions indépendantes de la même expérience). La notion de probabilité conditionnelle est déconnectée de la notion de fréquence conditionnelle, puisque le traitement statistique d'un couple de variables catégorielles n'est pas au programme.

Par manque de temps, l'initiation à la statistique inférentielle est centrée sur l'estimation et le test pour une « proportion » ...

Il est vrai que se restreindre à la proportion permet d'introduire la loi binomiale et de mieux justifier, dans ce cas particulier, les théorèmes limites (loi des grands nombres et théorème central limite).

L'exigence d'un programme linéaire et cumulatif, reposant sur des définitions mathématiques et admettant le moins possible de résultats non démontrés, aboutit à travailler des notions inutiles pour une formation à la statistique. Prenons, par exemple, en première, la définition de l'intervalle de fluctuation de la fréquence d'échantillonnage, à un niveau de confiance fixé, à partir d'une distribution binomiale), voire même nuisibles (loi géométrique tronquée et son espérance mathématique alors que tout ce qui est tronqué est codé 0).

L'image de la statistique en fin de curriculum est surtout bien étroite : pas de vue d'ensemble des différents types de données et des différents objectifs de la statistique (en particulier la comparaison de deux groupes ou l'association entre deux variables), pas de formation à la démarche scientifique (formuler la question, recueillir des données, analyser les données, interpréter les résultats). »

L'objectif de cet article (Fine, 2013) est de faire connaître une proposition de curriculum statistique éditée par l'ASA (American Statistical Association) dans le rapport GAISE (Franklin *et al.*, 2007) et de montrer l'intérêt de prendre en compte cette proposition pour améliorer le curriculum statistique français. Le programme français, présenté ci-dessus, est comparé au curriculum proposé dans le rapport GAISE :

« À l'opposé, le curriculum proposé dans le rapport GAISE est rédigé sans pratiquement aucun formalisme. Le contexte, le recueil et l'interprétation des données ainsi que le repérage du type de variabilité forment le cadre du curriculum. C'est une vision synthétique de la statistique qui est ainsi proposée. Il s'agit ensuite d'approfondir tel ou tel aspect et de revenir en boucle sur les apprentissages.

Le curriculum proposé répond à trois objectifs de niveau d'exigence croissant :

- une initiation aux concepts, idées, terminologie et techniques de base de la statistique,
- une formation du futur citoyen à la littératie statistique (comprendre l'information quantitative, en avoir une lecture critique, savoir argumenter et communiquer à partir de données),
- une initiation à la démarche scientifique. »

Pour les auteurs du rapport GAISE, la statistique est la *discipline méthodologique de la recherche scientifique*. Ils reprennent les arguments de Moore et Cobb (1997) tentant de séparer la statistique des mathématiques :

« La statistique est une discipline méthodologique. Elle n'existe pas pour elle-même, mais plutôt pour offrir à d'autres domaines d'étude un ensemble cohérent d'idées et d'outils pour traiter des données. Le besoin d'une telle discipline résulte de *l'omniprésence de variabilité*. » (Moore et Cobb, 1997)

« L'accent mis sur la variabilité naturelle donne à la statistique un contenu particulier qui la distingue des mathématiques elles-mêmes et d'autres sciences mathématiques, mais il y a davantage que le contenu qui distingue la pensée statistique des mathématiques. La statistique exige un mode de pensée différent parce que *les données ne sont pas simplement des nombres, elles sont des nombres dans un contexte*. En mathématiques, le contexte obscurcit la structure. Dans l'analyse des données, le contexte fournit du sens. » (Moore and Cobb, 1997)

La statistique étant présentée comme la *discipline méthodologique de la recherche scientifique*, le curriculum proposé reprend, à chacun des trois niveaux (A, B, C) de développement de l'apprentissage de la statistique, les quatre étapes de la démarche scientifique (formuler une question, collecter des données, analyser les données, interpréter les résultats).

Les auteurs reviennent sur les rapports entre « statistique » et « mathématiques » :

« Le fait que la statistique est différente des mathématiques n'est pas avancé pour faire valoir que les mathématiques ne sont pas importantes pour la formation statistique ou que la formation statistique ne devrait pas être une partie de la formation mathématique. Tout au contraire, la formation statistique devient de plus en plus mathématique au fur et à mesure que le niveau de compréhension s'élève. Mais on doit insister sur les plans de recueil de données, sur l'exploration des données et sur l'interprétation des résultats dans la formation statistique pour la littératie statistique. Ces éléments sont fortement dépendants du contexte et, à un niveau introductif, incluent peu de mathématiques formelles. »

Nous reviendrons sur ces références dans le troisième débat.

4. Statistique, informatique, mathématiques et interdisciplinarité (Jeanne Fine)

La question ouvrant le troisième débat est la suivante : quelle(s) discipline(s) devrai(en)t être en charge de l'enseignement de la statistique dans l'enseignement secondaire ? Pour certains, cet enseignement doit être introduit en mathématiques, pour d'autres, les notions telles que *intervalle de confiance* et *différence significative*, *lien statistique significatif*, pourraient être introduites en physique par le biais de la mesure, en biologie par le biais de l'influence des niveaux d'un facteur, en sciences économiques et sociales avec l'étude de déterminants sociaux, ...

Ma réponse est déjà en partie donnée dans l'article :

« Les auteurs du rapport GAISE annoncent en introduction que les trois niveaux de développement peuvent ne pas correspondre au primaire, collège et lycée et que le but essentiel est la « littératie statistique ». Or, la littératie est souvent définie comme l'ensemble des connaissances et des compétences que l'ensemble des élèves doivent connaître à la fin de l'école obligatoire pour leur vie personnelle, professionnelle et de citoyen. C'est donc ce qui correspondrait, en France, au socle commun des connaissances et des compétences de la fin du collège.

Bien que faisant peu appel à une écriture formalisée, il paraît ambitieux de traiter les trois niveaux au collège. Le contenu semble en fait bien adapté à une formation continue d'adultes,

J. Fine

non scientifiques et rétifs à toute formalisation. Mais il est dommage de ne pas profiter de l'enseignement de la statistique pour mieux former les élèves à un minimum de formalisation mathématique.

Le programme proposé est bien une initiation à la statistique. Les élèves désirant poursuivre des études universitaires et utiliser des méthodes statistiques de plus en plus répandues (analyses géométriques de données multidimensionnelles, classifications, réseaux bayésiens...) auront besoin d'une meilleure formation en mathématiques : en particulier, logique et ensembles, relations, applications, espaces vectoriels et calcul matriciel. Il s'agit finalement de réintroduire des mathématiques « modernes » revisitées.

Il serait intéressant de mener avec les professeurs de français un travail interdisciplinaire maths-français sur le « non », « et », « ou » de la logique mathématique et l'utilisation de ces mots dans le langage courant. Les opérations sur les ensembles, la notion de partition, de distribution d'effectifs et de fréquences, les propriétés de la proportion (ou fréquence) sont un préalable important pour aborder les probabilités. C'est dès le collège, à partir de l'analyse statistique de données catégorielles que ces outils peuvent être mis en place. Au lycée, une introduction élémentaire aux espaces vectoriels euclidiens et au calcul matriciel peut s'appuyer sur l'analyse statistique multidimensionnelle.

A condition de modifier l'enseignement des mathématiques en France (davantage de mathématiques appliquées, de modélisation, de travail interdisciplinaire, ...) et d'accompagner simultanément de telles modifications par une évolution adaptée dans la formation, initiale et continue, des enseignants, il serait possible de mieux former l'ensemble des élèves de collège et de lycée mais aussi d'augmenter le nombre d'étudiants désirant poursuivre dans des disciplines scientifiques (en y incluant les mathématiques) et capables d'entreprendre de telles études. »

Références

- [1] American Psychological Association. Site : [http://www.apa.org/What's New in the Sixth Edition of the Publication Manual?](http://www.apa.org/What's%20New%20in%20the%20Sixth%20Edition%20of%20the%20Publication%20Manual?http://www.apastyle.org/manual/whats-new.aspx)
<http://www.apastyle.org/manual/whats-new.aspx>
- [2] Armatte, M. (2004), *La théorie des erreurs (1750-1820) : enjeux, problématiques, résultats*. In Barbin, E. et J.-P. Lamarche (Ed.), *Histoires de Probabilités et de Statistiques*, IREM – Histoire des Mathématiques, Ellipses, Paris, 141-160.
- [3] Armatte, M. (2006), Contribution à l'histoire des tests laplaciens, *Mathematics and Social Sciences*, **176**(4), 117-133, <http://www.ehess.fr/revue-msh/pdf/N176R1254.pdf>
- [4] Fine, J. (2010), Probabilités et statistique inférentielle : approche sondage versus approche modèle, *Statistique et Enseignement*, **1**(2), 5-21.
<http://publications-sfds.math.cnrs.fr/ojs/index.php/StatEns/article/view/14/10>
- [5] Fine, J. (2013), Le rapport GAISE (U.S.). Cadre d'un curriculum statistique de la maternelle à la terminale, *Statistique et Enseignement*, **4**(1), 25-54.
<http://publications-sfds.math.cnrs.fr/ojs/index.php/StatEns/article/view/137>
- [6] Fine, J., J.-P. Raoult et C. Vermandele (2011), Vous avez dit « proba-stats » ?, *Statistique et Enseignement*, **2**(1), 1-3.
<http://publications-sfds.math.cnrs.fr/ojs/index.php/StatEns/article/view/70/69>

- [7] Franklin *et al.* (2007), Guidelines for Assessment and Instruction in Statistics Education (GAISE) Report, a pre-K-12 curriculum framework, American Statistical Association (ASA), Alexandria, VA 22314.
<http://www.amstat.org/education/gaise/>
- [8] Lecoutre, B. Site ERIS : *Équipe Raisonnement Induction Statistique*.
<http://www.univ-rouen.fr/LMRS/Persopage/Lecoutre/Eris.html>
- [9] Lecoutre, B. (2005), Former les étudiants et les chercheurs aux méthodes bayésiennes pour l'analyse des données expérimentales, *Revue MODULAD*, 33.
<https://www.rocq.inria.fr/axis/modulad/archives/numero-33/lecoutre-33/lecoutre-33.pdf>
- [10] Moore, D. and G. Cobb (1997), “Mathematics, Statistics, and Teaching”, *American Mathematical Monthly*, 104, 801–823.
- [11] Rouanet, H. Site : <http://www.math-info.univ-paris5.fr/~lerb/rouanet/>