A. N. KIMBALL

Erreurs de troisième espèce. Coopération entre statisticiens-conseils et chercheurs

Revue de statistique appliquée, tome 6, nº 1 (1958), p. 7-16
<http://www.numdam.org/item?id=RSA_1958__6_1_7_0>

ERREURS DE TROISIÈME ESPÈCE COOPÉRATION ENTRE STATISTICIENS-CONSEILS ET CHERCHEURS [1]

par

A. N. KIMBALL

Oak Ridge National Laboratory

Les étudiants diplômés en statistique sont souvent peu préparés à leur rôle de statisticien-conseil. Ils risquent de commettre ce que l'auteur nomme des erreurs de troisième espèce, dont beaucoup pourraient être évitées si les étudiants étaient correctement entraînés à leurs tâches futures.

L'objet de cet article est de définir ce troisième risque d'erreur : traiter correctement au point de vue méthode statistique un problème tel qu'il est présenté par un chercheur d'une technique spécialisée mais qui ne correspond pas au vrai problème que ce chercheur veut résoudre.

Cette définition des erreurs de troisième espèce est précisée à l'aide de quelques exemples réels correspondant à des situations qui risquent de se présenter fréquemment en pratique.

L'auteur estime qu'il doit être possible d'éviter de telles erreurs et il propose, pour la mise au point de l'enseignement statistique, des solutions basées sur l'expérience acquise dans d'autres domaines d'enseignement et qu'il conviendrait d'appliquer aussi pour permettre aux futurs statisticiens-conseils d'éviter de telles erreurs.

INTRODUCTION

Relativement tôt, au cours de leurs études, les étudiants en statistique se familiarisent avec les risques d'erreurs de 1ère et 2e espèces introduits dans la théorie des tests d'hypothèses. Ils apprennent ensuite que pour de nombreux tests statistiques largement utilisés, il est aisé de connaître le risque d'erreur de 1ère espèce, tandis que celui de 2e espèce est difficile à calculer et souvent négligé. La théorie des tests uniformément les plus puissants et celle des tests progressifs leur en rappellent l'importance. Récemment, la théorie des "décisions" a élevé la notion de risque à un échelon supérieur dans la hiérarchie des enseignements transmis du professeur à l'étudiant.

Les statisticiens diplômés passent ensuite du chaud confort de l'Université à la froide réalité du monde. Ils sont imbus de l'idée (probablement exacte) que le seul rôle du statisticien dans ce monde est de calculer les risques d'erreurs pour des personnes qui ont à prendre des décisions. Ils disposent de nombreux procédés (relatifs aux plans d'expérience, aux données manquantes, aux observations anormales) dont l'utilisation est essentielle au statisticien pour estimer les ris-

(1) Traduction d'un article publié dans "Journal of the American Statistical Association" Juin 1957, Vol. 52, n° 278, pages 133-142.

ques. La plupart des étudiants sont familiarisés avec ces méthodes avant la fin de leur 1er semestre d'études spécialisées.

Considérons alors ce statisticien débutant, doté d'un grade nouveau et brillant, qui aborde sa mission de "calculateur de risques". Il possède tous les instruments de travail nécessaires et a toutes les possibilités intellectuelles pour les utiliser. Supposons que pendant les premières années de son apprentissage, le statisticien-conseil ait de la chance : du point de vue statistique mathématique, il a pu calculer correctement les risques d'erreurs pour tous les problèmes qui lui ont été posés. Nous disons qu'alors il a autant, sinon plus de chances que n'importe quel autre de commettre l'erreur de 3e espèce. En effet, totalement absorbé par la notion d'erreurs de 1ère et 2e espèces, il ne s'est jamais méfié de l'existence d'une troisième sorte d'erreur.

Le but de cet article est d'attirer l'attention sur ce troisième risque d'erreur à l'aide d'exemples concrets où l'erreur a été commise puis corrigée. Je pense que cet article servira simultanément à avertir et modérer les jeunes statisticiens-conseils qui sont enclins à se lancer dans des études théoriques avec la fougue et la confiance d'un jeune sportif à son premier match de football. J'espère qu'il contribuera à obliger les éducateurs responsables à combler rapidement cette grave lacune lors de leur enseignement de la statistique. Les professeurs les plus consciencieux en reconnaissent la nécessité, mais aucun progrès réel n'a été fait jusqu'alors.

A ce propos, il y a une analogie intéressante entre la formation des statisticiens diplômés et celle des médecins. Lorsqu'il termine ses études, le médecin d'aujourd'hui est bien exercé à la médecine pratique mais l'est moins pour la recherche. Ce fait est reconnu par de nombreuses écoles de médecine dans lesquelles le docteur en médecine (M.D) qui désire faire quelques recherches en physiologie doit obtenir un doctorat (Ph.D) dans cette discipline après avoir terminé ses études médicales. L'enseignement de la médecine est essentiellement pratique (1) puisque la plupart des étudiants diplômés ne verront jamais l'intérieur d'un laboratoire de recherches. Par contre, le statisticien est généralement bien formé pour des études théoriques dans son domaine mais n'est pas préparé à une utilisation pratique des méthodes statistiques. Or, chaque année, plus de la moitié des statisticiens se dirigent vers l'industrie où leur principale occupation consiste à jouer un rôle de conseil. Egalement, ceux qui restent à l'université sont sollicités pour ce genre de travail qui leur absorbe tout le temps qu'ils ne consacrent pas à l'enseignement. Il est donc primordial de mettre en évidence cette troisième espèce d'erreur.

L'ERREUR DE TROISIÈME ESPÈCE

Une définition simple et presque grotesque de l'erreur de troisième espèce est la suivante : c'est l'erreur commise en donnant une réponse exacte à un problème faux, c'est-à-dire à un problème posé qui n'est pas le problème qu'il conviendrait de traiter.

En donnant cette définition, nous admettons que le statisticien-conseil possède pleinement sa propre science et nous éliminons le cas où il donnerait une réponse inexacte au problème tel qu'il lui a été posé et qui n'est pas le problème réel auquel voudrait effectivement l'intéresser le chercheur qui fait appel à ses connaissances.

De même, nous laissons de côté les cas où une réponse inexacte à un problème mal posé pourrait se trouver être la réponse correcte à un vrai problème.

(1) Il s'agit de l'enseignement médical aux Etats-Unis (N. de la R.)

Au point où nous en sommes, le lecteur qui termine cette introduction sans succomber à la tentation de chercher plus loin une autre définition peut éprouver les mêmes impressions que le lecteur du récit d'un meurtre mystérieux qui, à la dernière page, découvre que la victime s'est suicidée. Pourquoi se demande-t-il, nous intéresserions-nous à un statisticien-conseil qui serait assez stupide pour commettre une telle erreur ?

Il existe peut-être de nombreux statisticiens d'âge mûr qui préfèrent adopter cette attitude au lieu de prendre le problème en considération. S'il en est ainsi, la situation est grave.

Il est difficile de savoir combien d'entre nous ont commis cette erreur, particulièrement au début de notre carrière. Mais il est presque certain que peu ont dû échapper à l'occasion de la commettre. La raison en est simple : Nous avons presque tous aidé des chercheurs à faire des tests de Student, des analyses de la variance, à étudier des plans d'expérience en pensant que nous donnions une réponse exacte à un problème correctement posé ; habituellement, nous avons répondu correctement à la question posée. Malheureusement, il arrive souvent que la question posée ait peu de rapport avec le problème réel et nous sommes conduits à commettre l'erreur de 3e degré.

Pratiquement, les erreurs de 3e espèce ont pour cause une liaison insuffisante entre le statisticien conseil et le chercheur. Dans certains cas, c'est le chercheur qui répugne à discuter complètement de son problème. Il a l'impression que le statisticien ne connaît pas le domaine technique où se pose le problème et qu'un essai d'explication complète serait une perte de temps; ou bien il se peut que son problème ne soit pas encore suffisamment précisé dans son esprit et il ne veut pas risquer de se trouver en mauvaise posture devant le mathématicien; ou bien il a lui-même quelques connaissances en statistique et il pense pouvoir poser le problème correctement de manière schématisée ; ou enfin il craint d'importuner le statisticien en lui donnant trop de détails.

De son côté, le statisticien a le tort de ne pas se familiariser suffisamment avec le problème réel pour le traiter intelligemment. Avec une préparation plus adéquate, de la patience et le souci de faire préciser le problème par l'expérimentateur, le statisticien-conseil doit être capable d'éviter la plupart des erreurs de 3e espèce. (Au paragraphe suivant, on essaiera de montrer que de telles erreurs sont possibles et dans des circonstances qui ne sont pas exceptionnelles).

EXEMPLES D'ERREURS DE TROISIÈME ESPÈCE

La matière de ces exemples est tirée en grande partie de la propre expérience de l'auteur ; c'est pourquoi ils sont presque tous empruntés à la biologie. Mais il ne faut pas oublier que l'article est d'ordre général. On ne doit pas conclure que les erreurs citées sont nécessairement celles de l'auteur, bien que celui-ci n'en refuse pas la possibilité.

EXEMPLE I

Un ingénieur était en train d'étudier des dimensions de particules dans des études de corrosion. Il désirait estimer la distribution de ces dimensions mais la méthode employée ne lui permettait pas d'observer des dimensions inférieures à un certain diamètre. Il ne connaissait pas grand-chose en statistique, mais il savait qu'il était possible d'estimer une distribution à l'aide d'échantillons constitués d'observations limitées (distributions tronquées). Il n'y avait pas de statisticien parmi les personnes avec lesquelles il travaillait, mais il en connaissait un qui, malgré ses occupations, pouvait au moins lui donner une référence.

Ainsi, il alla voir le statisticien et lui présenta l'échantillon suivant de dimensions de particules : 25,6 - 7,1 - 5,1 - 4,2 - 3,7 - 3,0 - 2,6 - 2,0 - 1,8 - 1,6 - 1,5 - 1,4 - 1,3 - 1,2 - 1,1 - 1,0 - 0,9 - 0,8 - 0,7, en spécifiant que la méthode employée ne lui permettait pas de déterminer les dimensions de particules inférieures à 0,7. Faisant l'hypothèse d'une distribution normale, il voulut savoir comment en estimer la moyenne et la variance.

Le statisticien était très ennuyé et ne voulait pas passer beaucoup de temps sur un problème qu'il ne connaissait guère. D'autre part, il lui paraissait difficile de n'accorder aucune aide, aussi trouva-t-il plus simple de donner à l'ingénieur des références relatives à la distribution normale tronquée (après tout, c'est ce que demandait l'ingénieur). Les deux participants de cette petite conférence se quittèrent satisfaits : l'ingénieur parce qu'il pensait avoir obtenu une réponse à sa question, le statisticien parce qu'il s'était débarrassé d'un problème qui ne le concernait pas. Cependant, comme le constatera tout lecteur qui examinera attentivement l'échantillon, une erreur de troisième espèce avait été commise.

L'ingénieur retourna à son bureau muni des reproductions d'articles donnés en référence et commença à appliquer la méthode en exécutant les calculs indiqués. Il obtint des valeurs qu'il lui était impossible de faire rentrer dans les tables dont il disposait. Après avoir vérifié ses calculs, il constata leur exactitude. Il retourna voir le statisticien qui, lui non plus, n'était pas très heureux de revoir l'ingénieur. Cette deuxième conférence dura plus longtemps que la première. A la fin, le statisticien s'aperçut qu'il avait fait une faute stupide.

Parmi les méthodes utilisées pour déterminer la dimension de particules, il existe celle dite méthode de sédimentation. Brièvement, elle consiste à préparer un liquide de suspension pour le matériau analysé et à mesurer la décroissance de la concentration en particules au-dessus d'un niveau particulier au fur et à mesure de la sédimentation. Dans certaines conditions, on peut utiliser la loi de Stoks pour calculer le pourcentage de particules en suspension qui ont un diamètre supérieur à une valeur particulière d dont la valeur est déterminée à l'aide du temps qui s'est écoulé depuis le début de la sédimentation. Ainsi, les variables aléatoires sont des pourcentages et d est une variable fixée prise comme variable indépendante.

C'est précisément cette technique que l'ingénieur avait utilisée. La méthode correcte d'estimation est évidemment la méthode des probits ou l'une de ses variantes, et alors, le fait d'avoir une distribution tronquée ne pose pas de problème si ce n'est dans la mesure où il augmente les erreurs d'estimation.

Si le statisticien avait été préalablement familiarisé avec la méthode expérimentale utilisée ou même s'il avait soigneusement étudié l'échantillon qu'on lui avait présenté, l'erreur ne se serait jamais produite. Dans des cas de ce genre, on peut dire que les deux parties sont les victimes des circonstances et ne sont pas réellement responsables. Mais, en toute honnêteté, on doit admettre que le devoir du statisticien est d'être plus soucieux qu'aucun autre d'éviter cette sorte d'erreur. Lorsqu'il la commet, il est tout autant dans son tort que le médecin qui administre de l'arsenic au lieu d'aspirine.

EXEMPLE II

En génétique, un chercheur étudiait les effets de certaines radiations. Il voulait comparer les effets d'une radiation gamma et d'un flux de neutrons ; pour cela, il exposait séparément deux groupes d'organismes à des doses graduées de chaque espèce de radiations puis déterminait la fréquence des mutations pour chaque dose. Comme au cours des espériences précédentes, on avait trouvé que les fréquences de mutations croissaient linéairement avec la dose, il ne restait plus qu'à comparer les pentes correspondant aux deux types de radiation.

Quand l'expérience fut terminée, il alla trouver un statisticien récemment diplômé ; il lui demanda d'estimer les deux pentes en question et d'étudier statistiquement leur différence. Il expliqua que la source gamma utilisée était du cobalt radioactif qui est une source extrêmement pure de radiation gamma ; par contre, l'expérience relative aux neutrons avait été réalisée à l'aide d'un cyclotron et l'expérimentateur avait été obligé de corriger les doses de neutrons, compte tenu d'une contamination connue de rayons gamma d'environ 7 %. Le jeune statisticien qui avait peu ou point d'expérience en matière d'expérimentation sur les radiations et qui n'avait pas tellement envie de se familiariser avec cette science, se mit rapidement au travail et commença témérairement son analyse. Il avait reçu du biologiste les données suivantes :

Expérience sur les rayons gamma ($i = 1, \ldots, n$) :

y_i = proportion des mutations

x_i = dose de radiation gamma

Expérience sur les neutrons ($j = 1, \ldots, m$) :

u_j = proportion de mutations

v_j = dose "corrigée" des neutrons.

On disposait de plusieurs répétitions des expériences pour chaque dose et le statisticien put ainsi vérifier l'homogénéité des mesures. Ne trouvant aucun écart significatif entre la répartition des observations et une loi binomiale, il groupa les mesures correspondant à une même dose et étudia une régression linéaire pondérée pour chaque expérience. Il obtint alors les deux équations

$$\hat{y} = a + b_\gamma x$$

$$\hat{u} = a + b_n v$$

relatives aux résultats obtenus respectivement à l'aide des radiations gamma et des neutrons. Enfin, il étudia à l'aide de tests appropriés la différence entre les valeurs de b_γ et b_n qu'il venait de calculer ; il pensa avoir ainsi complètement épuisé la question.

L'erreur de 3e espèce commise par le statisticien était dans ce cas celle qu'il était le plus facile d'éviter. Le statisticien aurait dû interroger le chercheur sur la nature de la correction apportée aux doses de neutrons et, sans avoir beaucoup à apprendre sur la manière d'effectuer un dosage de radiations, il aurait découvert son erreur. Le statisticien-conseil, particulièrement dans les domaines physiques et techniques prend rapidement l'habitude de s'informer des "corrections" faites par l'expérimentateur avant d'entreprendre une analyse des observations.

Dans le problème en question, il était évident que le généticien avait simplement réduit les doses initiales de neutrons de 7 % ; il espérait de cette manière évaluer seulement l'effet des neutrons non contaminés par les radiations gamma mais on avait négligé le fait que l'effet biologique correspondant incluait encore la composante gamma. Lorsque l'erreur fut découverte, on modifia la manière d'analyser les résultats.

Les deux expériences furent considérées simultanément en minimisant

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i (y_i - \hat{y}_i)^2 + \sum_{j=1}^{n} v_j (u_j - \hat{u}_j)^2$$

où

$$\hat{y}_i = a' + b'_\gamma x_i$$

$$\hat{u}_j = a' + b'_\gamma (0{,}07\ \omega_j) + b'_n (0{,}93\ \omega_j)$$

Les doses non corrigées ω_j des neutrons étaient calculées à l'aide de la relation

$$v_j = 0{,}93$$

λ_i et v_γ étant des coefficients appropriés.

Il est bien évident que la deuxième méthode donna des estimations quelque peu différentes de celles obtenues dans la première étude, le test de signification de la différence entre b'_γ et b'_n devant tenir compte de la covariance entre b'_n et b'_γ.

Une fois de plus, la personne à blâmer était le statisticien.

EXEMPLE III

Cet exemple illustre un cas qui se présente fréquemment à chaque statisticien-conseil. On pourrait l'appeler : "Consultation par commande à distance" ou "communication sans explication".

Au cours de son travail, un chercheur qui avait acquis quelque expérience livresque en statistique, rencontrait un problème qui lui était nouveau et qui n'était pas traité dans les manuels élémentaires qu'il possédait. Avec raison, il pensait que le test t de Student ne convenait pas, mais il avait la conviction qu'il y avait certainement un moyen d'effectuer ce test. Le centre de recherches auquel il appartenait n'employait pas de statisticien, mais le chercheur en question avait, dans la même ville, un ami qui était statisticien et dont il était sûr d'obtenir une solution. Le chercheur, ne voulant pas se déranger pour un problème si peu important téléphona au statisticien.

Ce dernier ne crut pas devoir provoquer un rendez-vous pour étudier la question de manière plus précise, et, allergique aux longues conversations téléphoniques, il indiqua rapidement à son ami la transformation en z, ainsi que des références à des articles où il pourrait en trouver des exemples d'applications.

Quelque temps plus tard, les deux hommes se rencontraient à un séminaire Voyant son ami, le chercheur s'empressa de le remercier. Mais au cours de la conversation, le statisticien s'aperçut avec horreur que l'expérimentateur avait pris N observations simultanées de trois variables aléatoires X, Y, Z, mutuellement corrélées; les deux coefficients de corrélation en question concernaient la corrélation entre X et Z et entre Y et Z.

Avec beaucoup d'embarras, le statisticien s'aperçut qu'il avait recommandé un test t pour la comparaison de deux corrélations transformées Z relatives à deux coefficients de corrélation qui n'étaient pas indépendants.

Rassemblant son courage, il confessa son erreur et renvoya l'expérimentateur à l'article d'Hotelling (1) où l'on montre que,dans le cas de l'hypothèse nulle $\rho_{xz} = \rho_{yz}$, la variable

$$t = \frac{\sqrt{N-3}\,(r_{xz} - r_{yz})\sqrt{1 + r_{xy}}}{\sqrt{2D}}$$

(1) Hotelling Harold "The selection of variates for use in prediction with some comments on the general problem of nuisance parameters" Annals of Mathematical Statistics, 11 (1940), 271-83.

suit approximativement une loi de "Student" avec N - 3 degrés de liberté, avec

$$\text{où } D = \begin{vmatrix} 1 & r_{xz} & r_{xy} \\ r_{xz} & 1 & r_{yz} \\ r_{xy} & r_{yz} & 1 \end{vmatrix}$$

L'expérimentateur s'excusa de ne pas avoir expliqué le problème plus complètement.

Dans cet exemple, les deux parties étaient dans leur tort et pour la même raison : ni l'un ni l'autre n'avait voulu prendre le temps de chercher à comprendre ce que l'autre voulait réellement faire.

EXEMPLE IV

Comme dernière catégorie d'erreurs de troisième espèce, il semble désirable d'inclure les erreurs par omission. Ces erreurs se produisent principalement lorsque le statisticien ne prend pas la peine de faire son travail aussi bien que possible en tenant compte de tous les résultats obtenus par l'expérimentateur. Les solutions fournies sont en général des réponses correctes au problème réellement posé ; mais elles ne constituent pas toujours la meilleure solution.

Un généticien poursuivait une série d'expériences de recombinaison sur les bactériophages T . Il voulait tester l'indépendance de l'arrivée de deux types des descendants, r et tu.

Dans l'hypothèse de l'indépendance dans une expérience dans laquelle les quatre types de descendants sont comptés sur les plaques, les effectifs observés et théoriques ainsi comptés peuvent être représentés par le tableau suivant :

EFFECTIFS SUR LES PLAQUES

Effectif	Type de descendance				Total
	Parental	r^+	tu^+	$r^+ tu^+$	
observés	a_1	a_2	a_3	a_4	M
théoriques	$Mq_1 q_2$	$Mp_1 q_2$	$Mq_1 p_2$	$Mp_1 p_2$	M

Dans ce problème, p_1 et p_2 sont les probabilités d'événements amenant respectivement les combinants r^+ et tu^+, avec

$$q_1 = 1 - p_1 \qquad q_2 = 1 - p_2$$

Des expériences de ce type donnent environ 90% de descendants du type parental et 10% de recombinaisons.

Le généticien qui avait réalisé ces expériences avait déjà utilisé le test de χ^2 en tant que test d'indépendance des fréquences ; mais comme il avait deux paramètres à estimer, il n'était pas tout à fait sûr de la manière de procéder. Aussi, il alla voir un jeune biométricien avec des données analogues à celles indiquées dans la table ci-dessus.

Après avoir expliqué l'expérience, il mentionna incidemment qu'il disposait en réalité de beaucoup plus de données provenant d'une expérience analogue ; mais que probablement elles étaient de peu d'utilité puisque les dénombrements n'avaient pas été faits pour les quatre classes de descendants.

Peut-être l'entrevue avait-elle lieu de bonne heure le matin ou le biométricien avait-il l'esprit préoccupé par autre chose, toujours est-il qu'il ne fit pas attention aux données supplémentaires signalées par l'expérimentateur. Il chercha simplement à estimer les valeurs des paramètres p_1 et p_2 par la méthode du maximum de vraisemblance à l'aide des données de la première expérience et calcula correctement le χ^2 correspondant, pour un degré de liberté, en vue de tester l'indépendance.

Les résultats de ce test étaient peu concluants au moins dans l'esprit de l'expérimentateur et il commença à réfléchir aux raisons qui l'avaient conduit à faire une seconde expérience et à noter partiellement les résultats.

Dans ces expériences, le plus gros travail consistait à effectuer les dénombrements sur les plaques puisque 90% des résultats représentent une tendance du type "parental" ; la plus grande partie des observations ne fournit donc que peu d'information sur l'indépendance étudiée. Il avait donc paru raisonnable au généticien de faire une expérience dans laquelle on dénombrerait uniquement les recombinaisons. Ce sont ces derniers résultats dont il avait signalé l'existence au statisticien, et dont le volume était environ deux fois plus important que celui des premiers.

Il retourna donc voir le statisticien et lui demanda explicitement s'il n'y avait pas moyen d'utiliser l'information fournie par cette dernière expérience pour construire un test d'indépendance plus sensible.

Compte tenu de cette nouvelle intervention pour laquelle l'expérimentateur faisait preuve de plus d'esprit critique que notre jeune biométricien, celui-ci rechercha et trouva une nouvelle méthode permettant de tenir compte de toute l'information.

Les résultats de la deuxième expérience pouvaient être groupés dans un tableau du type ci-dessous :

EFFECTIFS SUR LES PLAQUES

Effectifs	Type de descendance				Total
	Parental	r^+	tu^+	r^+tu^+	
observés	—	a_5	a_6	a_7	N
théoriques	—	$\frac{N p_1 q_2}{(1-q_1 q_2)}$	$\frac{N q_1 p_2}{(1-q_1 q_2)}$	$\frac{N p_1 p_2}{(1-q_1 q_2)}$	N

Dans l'hypothèse d'indépendance, la probabilité de réalisation des valeurs observées au cours des deux expériences est :

$$\frac{M!}{a_1!\,a_2!\,a_3!\,a_4!}\,(q_1 q_2)^{a_1}(p_1 q_2)^{a_2}(q_1 p_2)^{a_3}(p_1 p_2)^{a_4}$$

$$\times\,\frac{N!}{a_5!\,a_6!\,a_7!}\,(1-q_1 q_2)^{-N}(p_1 q_2)^{a_5}(q_1 p_2)^{a_6}(p_1 p_2)^{a_7}$$

Les équations fournissant les estimations de p_1 et p_2 par la méthode du maximum de vraisemblance se réduisent à une équation du second degré en p_2 avec une seule racine acceptable et une équation du premier degré donnant p_1 en fonction de p_2. Il reste à calculer facilement le χ^2 à 3 degrés de liberté correspondant.

Dans cette expérience particulière, le fait d'avoir utilisé les résultats des deux séries d'observations suffit à convaincre le généticien qu'il n'avait aucune raison de suspecter la non-indépendance tandis que le test χ^2 relatif à la première série seule ne permettait pas de conclure.

Peut-être existe-t-il peu de jeunes statisticiens susceptibles de commettre une erreur de ce genre ; mais la tentation doit être grande dans beaucoup de cas d'éliminer les observations en surnombre qui donnent au schéma des résultats de l'expérience une allure différente de celle des modèles étudiés dans les cours. Souvent, nous entendons dire que l'expérimentateur vient trouver le statisticien une fois l'expérience terminée de sorte que beaucoup d'observations se prêtent mal à une analyse statistique. Ceci est certainement trop fréquent, mais il est certain qu'un effort de la part du statisticien permettrait, dans bien des cas, de trouver une méthode d'analyse relativement simple. Il lui faut, pour cela, acquérir un peu d'expérience, mais l'étudiant diplômé devrait pouvoir l'acquérir avant de travailler comme statisticien-conseil.

SOLUTION POSSIBLE DU PROBLÈME

De nombreux lecteurs doivent penser que les exemples décrits ci-dessus sont fictifs et qu'il y a peu de chances pour qu'ils se réalisent en pratique. Ils ont raison en partie; en effet, toutes les erreurs signalées ont toujours été corrigées; on ne peut donc plus les qualifier d'erreurs. Mais il est évident que les seules erreurs de troisième espèce qui nous sont connues sont celles qui ont été corrigées. Pour une erreur reconnue, combien y en a-t-il dont on ne s'est pas aperçu? Toute personne qui veut bien admettre que ces erreurs sont fréquentes doit être prête à faire quelque chose pour les prévenir.

La première réforme à entreprendre doit avoir lieu dans les écoles où sont formés les jeunes statisticiens-conseils. Un moyen consisterait à prendre exemple sur la profession médicale : le statisticien devrait obtenir une "autorisation d'exercer". Chaque étudiant diplômé en statistique devrait, pendant un an, par exemple, jouer un rôle analogue à celui d'un interne en médecine, au bout de cette période, il passerait un examen pour obtenir cette autorisation.

Une telle méthode pourrait se montrer satisfaisante ou non, mais il faut reconnaître qu'elle présente l'inconvénient de ne pas être réalisable dans un avenir immédiat.

Les méthodes utilisées pour la formation du corps enseignant pourraient fournir un deuxième exemple non dénué d'intérêt.

Les écoles chargées de la formation du corps enseignant ont, en plus de leur programme des cours, une préparation professionnelle basée sur la pratique de l'enseignement, sous la direction d'un professeur expérimenté : le futur professeur apprend à enseigner en enseignant. Dans certaines de ces écoles, la pratique de l'enseignement commence au niveau des études secondaires et de nombreux directeurs de ces écoles estiment que rien ne peut remplacer cette pratique.

Pourquoi ne demanderait-on pas à l'étudiant en statistique d'apprendre à devenir un statisticien-conseil en exerçant cette activité sous la direction d'un statisticien confirmé.

Quelques services ont déjà fait des tentatives dans ce sens en prenant des étudiants stagiaires qui assistaient aux consultations données par les statisticiens en service. Ceci est évidemment une excellente idée mais souvent, ces étudiants participent peu aux discussions. De plus, les statisticiens de ces services ont souvent constaté que leurs clients sont gênés lorsqu'ils doivent parler en présence de ces étudiants. D'ailleurs, la présence de l'étudiant aux consultations lui permet de s'initier aux difficultés des problèmes posés, mais elle ne suffit pas pour lui apprendre à les surmonter quand il sera seul aux prises avec les problèmes réels.

Des deux solutions suggérées, seul "l'internat" semblerait donner satisfaction. Pour commencer, on pourrait donc adopter la méthode suivante : les universités essaieraient d'entrer en rapport avec des industries ou des administrations, de même que les écoles de médecins travaillent en liaison avec les hôpitaux. Les étudiants en statistique apprendraient à exercer leur profession de statisticien comme les futurs médesins le font dans les hôpitaux et les futurs professeurs dans les écoles chargées de leur formation. En échange, les universités fourniraient aux industries une aide importante dans le domaine de la recherche (1).

Les deux parties y trouveraient un avantage dès maintenant, avantage qui ne ferait que s'accentuer dans l'avenir.

Il existe déjà de nombreux cas où cette procédure a été adoptée avec succès, mais ils restent isolés. L'importance du problème impose une action générale, liée à l'obtention des diplômes.

A ceux d'entre nous qui exercent la profession de statisticien-conseil et qui ont quelque fierté de leur travail, un sérieux défi est lancé. Nous avons deux possibilités : la première consiste à ignorer la situation actuelle sans voir les conséquences qu'elle peut entraîner pour l'avenir : à savoir, une perte de prestige, la perte de la confiance publique et peut-être même une disparition de la profession. La deuxième attitude consiste à considérer la situation bien en face, situation qui peut se développer dangereusement dans l'avenir, et à entreprendre, énergiquement et sans délais une action positive pour y porter remède.

Nous avons commencé hier, aujourd'hui nous commençons seulement à penser à ce problème ; demain, nous devons agir.

---

(1) Cette solution, proposée par le Professeur Kimball, est celle que l'Institut de Statistique de l'Université de Paris essaye de développer au maximum, avec l'aide des entreprises privées ou nationalisées qui veulent bien accepter de prendre des étudiants en stage dans leurs services d'études statistiques (N. de la R.)