

REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

W. EDWARDS DEMING

De l'enseignement des principes et des techniques de la statistique aux personnels des entreprises

Revue de statistique appliquée, tome 2, n° 1 (1954), p. 5-23

http://www.numdam.org/item?id=RSA_1954__2_1_5_0

© Société française de statistique, 1954, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « *Revue de statistique appliquée* » (<http://www.sfds.asso.fr/publicat/rsa.htm>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

DE L'ENSEIGNEMENT DES PRINCIPES ET DES TECHNIQUES DE LA STATISTIQUE AUX PERSONNELS DES ENTREPRISES

par

W. Edwards DEMING

*Professeur "The Graduate School of Business Administration"
New-York University*

Ingénieur électricien de l'Université de Wyoming, Docteur (Ph. D) de l'Université de Yale, M. W. E. DEMING a été, à diverses reprises, professeur de statistique dans de nombreuses universités américaines, mais aussi l'un des grands spécialistes de la mise au point des techniques et enquêtes par sondage couramment employées par les services statistiques fédéraux.

Depuis plusieurs années, il s'est spécialement intéressé aux applications industrielles des méthodes statistiques. Appelé comme expert en 1947 par le gouvernement de l'Inde, puis en 1950, 1951, 1952 par le gouvernement du Japon, il a été l'un des promoteurs du développement des méthodes statistiques dans ces deux pays.

Fréquemment appelé comme ingénieur consultant par des entreprises privées, M. E. W. Deming a pu se rendre compte sur place des besoins statistiques exprimés ou potentiels des divers services de ces entreprises. Sa double expérience de technicien et d'enseignant lui a permis de préciser ses conceptions d'un enseignement statistique correspondant à ces divers besoins.

L'article ci-après, rédigé spécialement pour la Revue de Statistique Appliquée, résume les idées essentielles développées sur ce problème par le Professeur Deming dans une communication présentée en Septembre 1953 au Congrès de Rome de l'Institut International de Statistique.

I. LES QUATRE DOMAINES D'ENSEIGNEMENT NÉCESSAIRES DANS LES ENTREPRISES

L'enseignement des principes et des techniques de la statistique aux personnels des entreprises se présente sous quatre aspects :

- 1° Direction ;
- 2° Administration statistique (chef du service statistique de l'entreprise) ;
- 3° Recherche ;
- 4° Travailleurs des installations de fabrication (production, surveillance, essai des matériels).

Dans cette note, on se propose d'exposer quelques principes relatifs à l'enseignement des principes et techniques statistiques aux quatre groupes cités.

Chacun de ces groupes a un rôle important dans l'industrie. Chacun d'eux, accomplissant un travail différent, présente ses problèmes propres du point de vue de l'éducation statistique. D'ailleurs, l'éducation de base reçue variera d'un groupe à l'autre.

Pour décider de la nature et de la forme de l'enseignement à assurer à chaque groupe, il nous faut d'abord rechercher le travail qui est demandé à chacun d'eux, et la base de connaissances éventuelles des personnes qui composent le groupe.

Le personnel de direction doit connaître les principes et savoir le parti qu'on peut tirer des techniques statistiques sans avoir besoin d'être spécialisé dans ces techniques. D'autre part, l'administrateur statistique (dont la fonction est expliquée plus loin) doit avoir une idée précise des problèmes statistiques et une certaine connaissance des techniques elles-mêmes, une connaissance approfondie des problèmes qui se posent à la direction et la possibilité de mettre en œuvre les techniques statistiques propres à faciliter la solution de ces problèmes. Une partie du personnel des services de recherches, de développement et d'études doit posséder des connaissances approfondies, l'expérience des techniques et être capable d'élaborer au besoin de nouvelles théories. En ce qui concerne la production, le contrôle et les essais sur les matières reçues et l'inspection des produits aux divers stades de la fabrication, la compréhension de techniques simples, telles que la carte de contrôle et l'échantillonnage à la réception, s'avèrera extrêmement efficace et pourra être acquise en un court laps de temps (par exemple en huit jours de cours intensifs).

Pour les quatre catégories de personnel, la méthode statistique constitue davantage qu'un déploiement de techniques. C'est un mode de pensée affiné : c'est une force. Elle aide n'importe qui dans les quatre groupes, qu'il actionne une machine ou qu'il appartienne au personnel de direction, à prendre des décisions plus valables et à mieux faire son travail qu'il ne pourrait le faire autrement.

II. PRINCIPES DE STATISTIQUE NÉCESSAIRES AU PERSONNEL DE DIRECTION

LE TRAVAIL DE LA DIRECTION.

Le personnel de direction des affaires constitue encore aujourd'hui le plus important et aussi le plus négligé des quatre groupes. En ce qui concerne l'importance qu'il faut attacher à la formation statistique du personnel de direction, je crois pouvoir avancer l'opinion que les progrès rapides qui ont caractérisé l'industrie japonaise depuis 1950 — aussi bien en ce qui concerne la qualité que la quantité de la production — doivent être attribués principalement à ce que les industriels japonais ont clairement compris et apprécié l'importance d'une amélioration de la qualité, d'une augmentation de la production et d'une diminution des fabrications défectueuses, à la suite des conférences qui furent faites à ce sujet pendant les années 1950 et 1951 (1).

Dès que la direction comprend combien peut être efficace l'aide des techniciens statistiques à tous les stades de la production et qu'elle admet que ce travail statistique ne peut être fait convenablement que par des spécialistes convenablement formés à cet effet, les problèmes d'organisation de services statistiques et d'embauche de statisticiens compétents sont rapidement résolus. Mais il ne suffit pas que la direction se contente d'admettre passivement l'emploi des techniques statistiques,

Mon expérience personnelle, tant dans des entreprises que dans l'enseignement, en Europe, au Japon, aux Indes aussi bien qu'aux Etats-Unis, me conduit à insister près du personnel de direction sur certaines observations que je considère comme d'autant plus importantes que certaines vont à l'encontre d'hypothèses préconçues mais non fondées.

1° Les méthodes statistiques sont aussi efficaces ou même plus efficaces dans les petites entreprises que dans les grandes et donnent plus rapidement des résultats (voir référence à une opinion du Professeur Holbrook Working, paragraphe II in fine). Dans une très grande entreprise, une idée nouvelle exige davantage de temps pour faire son chemin et être mise à exécution (ce fait souligne d'ailleurs l'importance des services d'organisation de l'entreprise) ;

2° Les méthodes statistiques sont souvent plus efficaces dans des usines qui impliquent une part importante de travail manuel que dans des usines très mécanisées ;

3° Les méthodes statistiques sont efficaces même dans des usines exécutant de petites séries (10 d'un modèle, 5 d'un autre, etc...). La production en grande série n'est pas nécessaire pour un emploi efficace des méthodes statistiques ;

(1) Ces conférences faites par l'auteur avaient été organisées par MM. ISHIKAWA et KENICHI KOYANAGI respectivement Président et Directeur de l'Union des Ingénieurs et Hommes de Science Japonais.

4° Les méthodes statistiques sont d'autant plus efficaces que les matières premières sont rares et coûteuses (le Japon en est un exemple notoire) ;

5° Les méthodes statistiques sont aussi essentielles :

- a) pour tester et comparer les matériaux et les machines ;
- b) pour étudier le marché de la production que pour le contrôle et l'inspection de la production en cours de réalisation.

Ainsi, en ce qui me concerne, j'ai contribué à organiser des essais pour déterminer laquelle de deux techniques permettant de mener à bien une certaine opération était la meilleure alors qu'on présumait qu'elles ne différaient pas de plus de 2 %, mais que cette économie de 2 % était d'une importance vitale : un rapport erroné entraînant une décision erronée aurait pu être ruineux.

Pour s'adresser au personnel de direction, il nous faut réfléchir à ce qu'est son travail, et montrer ensuite comment les principes et techniques statistiques peuvent le faciliter.

Le travail des dirigeants consiste à :

Prévoir les problèmes qui se présenteront et s'y préparer par une information, d'ordre statistique et autre, propre à entraîner des décisions aussi correctes que possible.

Prendre des décisions de temps à autre.

Pour atteindre ces objectifs, il est possible, à présent, grâce aux techniques et à la méthode statistiques, de spécifier en termes valables ce que la direction entend par une qualité, un résultat, une régularité, un taux particulier, ou toute autre caractéristique requise. Les mêmes techniques apporteront à la mesure de ces caractéristiques une signification, une sûreté calculable et contrôlable, une économie, une utilité et une rapidité qu'on ne pourrait obtenir autrement.

En d'autres termes, grâce aux techniques statistiques, l'information requise par la direction perdra beaucoup de son caractère subjectif et la possibilité d'une science de la direction pourra se faire jour. Les techniques statistiques ne se substituent pas à la direction, elles lui permettent de faire du meilleur travail.

Les décisions de la direction touchent les projets et la standardisation, la distribution, les études de marché, la publicité, la production, le contrôle, l'approvisionnement en matières premières et en produits semi-finis, les prix, et le service à assurer aux distributeurs et aux acheteurs finaux. La direction doit résoudre aussi des problèmes de relations avec la main d'œuvre, de salaires, de normes standards de production, de méthodes de formation des ouvriers, d'investissements en nouveau matériel, de politique d'entretien des machines. Il y a encore d'autres problèmes, mais je ne signale que ceux pour lesquels les principes et techniques statistiques ont apporté une importante contribution.

La direction a en outre la charge de réunir un bon personnel scientifique et d'appliquer les techniques, statistiques ou autres, les plus efficaces sur toute la chaîne de production (figure 2).

On peut certainement poser comme premier principe que la fonction de la direction est d'introduire toute technique ou tout procédé susceptible d'augmenter la production et de diminuer les coûts et d'employer la connaissance de la statistique partout où une telle connaissance peut s'avérer utile.

Quelques idées sur l'objet et les méthodes de l'enseignement destiné au personnel de direction.

Le personnel de direction ne s'intéresse pas aux techniques, ni au langage technique probabiliste. Son intérêt porte sur les moyens d'atteindre une meilleure position concurrentielle, et de fournir un produit et un service qui assureront cette position.

On doit dire au personnel de direction que les techniques statistiques peuvent l'aider à atteindre ces buts. Comment ? Grâce à une qualité et à une régularité améliorées, **à un coût réduit** ; grâce à un plan de production et de distribution mieux adapté aux demandes du marché ; grâce à une production accrue par machine, par heure de main d'œuvre et par tonne de matière première ; grâce à un contrôle plus efficace **à un coût réduit** ; grâce à une meilleure utilisation de matériaux moins chers, à une meilleure connaissance des matériaux ; grâce à une amélioration des techniques d'échantillonnage et des méthodes de jugement sur échantillons ; grâce à une meilleure utilisation des machines et de la main d'œuvre, grâce à une meilleure utilisation des études sur les consommations et des statistiques officielles sur la population, la production agricole et industrielle et la distribution.

La théorie statistique représente une puissance. Elle peut aider à résoudre les problèmes de direction. Elle offre, en fait, la seule solution possible à beaucoup de ces problèmes. Il est possible

d'expliquer aux dirigeants, au cours d'une conférence, de quel secours peuvent être les techniques statistiques pour certains de leurs problèmes. Ils n'ont pas besoin d'apprendre les techniques elles-mêmes, pas plus qu'ils n'ont besoin d'apprendre l'analyse vectorielle ou la théorie des quanta pour utiliser des concepts de physique moderne ou de chimie organique dans la fabrication d'un produit nouveau ou amélioré.

J'ai constaté, d'après ma propre expérience, que les conférences aux directeurs pourraient se limiter à des thèmes du genre de ceux-ci :

a) Avantages d'une qualité sûre et uniforme. Le commerce, intérieur et international, dépend davantage de la régularité et de la garantie qui s'attachent à la fabrication d'un industriel que de niveaux élevés de qualité non assortis de régularité ;

b) Principes de la méthode statistique et brèves illustrations de leur mise en œuvre ;

c) Exposé des résultats obtenus précédemment ;

d) Genres et niveaux du travail statistique ; éducation et qualification du personnel des services statistiques ;

e) Organisation particulière. Nécessité d'un large arsenal statistique pour obtenir les plus grands avantages au point de vue service, réduction des coûts, etc...

Il est possible de passer en revue ces points essentiels en une conférence d'une heure et demie environ.

APPLICATION DES PRINCIPES STATISTIQUES A LA PRODUCTION DU POINT DE VUE DE LA DIRECTION.

On peut envisager à titre d'exemple les problèmes de production. Il faudrait une étude de tous les instants pour déterminer en quoi les problèmes de production sont des sources de perturbations, ou en quoi on peut améliorer la production. La première réaction de directeurs face à une telle assertion est parfois de dire qu'ils n'ont pas de problèmes. En fait, l'expérience montre pourtant qu'une étude serrée relèvera toujours des conditions de gaspillage : temps morts excessifs des machines, gaspillage de matières, mauvaise information sur les défauts dans la qualité et le service. On a obtenu des gains importants dans des circonstances où l'on n'avait pas reconnu de difficultés.

Les principes et la pratique statistiques, appliqués au contrôle d'un procédé, à la recherche ou au développement, ont pour but la découverte des causes de variabilité contrôlables (ou significatives). Leur découverte est masquée par des causes aléatoires. L'élimination, une à une, des causes contrôlables permet d'atteindre à une plus grande régularité, à un gaspillage moindre, et à une réduction des coûts. En premier lieu, il y a deux sortes de variabilités, la variabilité aléatoire, et la variabilité non aléatoire. L'existence universelle d'une variabilité, de l'une ou l'autre sorte, constitue la première leçon. Quel que soit le soin apporté à la production, les dimensions, les poids et toutes les autres caractéristiques du produit fabriqué varieront. Les normes de production, pour un nombre donné d'ouvriers, ou pour le même groupe d'ouvriers, varieront d'une heure à l'autre, fût-ce avec le maintien apparent des conditions essentielles. Pour chaque opération, la production variera aussi d'un service à l'autre, même si les conditions physiques semblent être identiques. C'est là la leçon la plus difficile à enseigner : que la nature ne connaît rien de constant ; que toutes choses varient et que la marge de variabilité, étroite ou large, ne permet pas de déterminer s'il s'agit ou non de causes aléatoires.

Variabilité aléatoire. — C'est la variabilité naturelle d'une opération, qu'elle soit effectuée à la machine ou à la main. L'expérience montre que toute tentative visant à « corriger » une variation aléatoire entraîne à peu près sûrement un accroissement de la variabilité et la démoralisation des ouvriers. Par conséquent :

Il importe absolument, du point de vue de la direction, de savoir si la variabilité relative à une dimension particulière ou à une autre caractéristique provient de causes aléatoires ou non aléatoires. Il importe également de ne pas essayer de trouver les causes des variations aléatoires.

Variabilité non aléatoire — C'est la variabilité qui est statistiquement significative et qui ne doit pas être laissée au hasard.

La variabilité non aléatoire doit faire l'objet de recherches ; elle provient d'une cause déterminable qu'on doit découvrir et aussi supprimer si cette suppression s'avère rentable du fait d'un accroissement de la production ou d'une amélioration de la qualité ou de la régularité.

La méthode statistique fournit un critère standard pour discriminer variabilité aléatoire et non aléatoire, comme le montre la figure 1.

Il importe de distinguer clairement ce qui relève de la statistique de ce qui n'en relève pas. Déterminer si une variabilité particulière est ou non aléatoire constitue un problème statistique (ce n'est pas simplement un problème technique, sauf dans des cas extrêmes où les conditions sont si mauvaises que la réponse est évidente). La découverte d'une cause contrôlable de variabilité **non aléatoire**, une fois celle-ci décelée par les techniques statistiques, requiert du jugement et de l'expérience. Quant à décider s'il y a lieu de supprimer une cause contrôlable qu'on a découverte, ce n'est pas sous une forme statistique, mais sous une forme économique que le problème se pose à la direction : sera-t-il payant de supprimer la cause ?

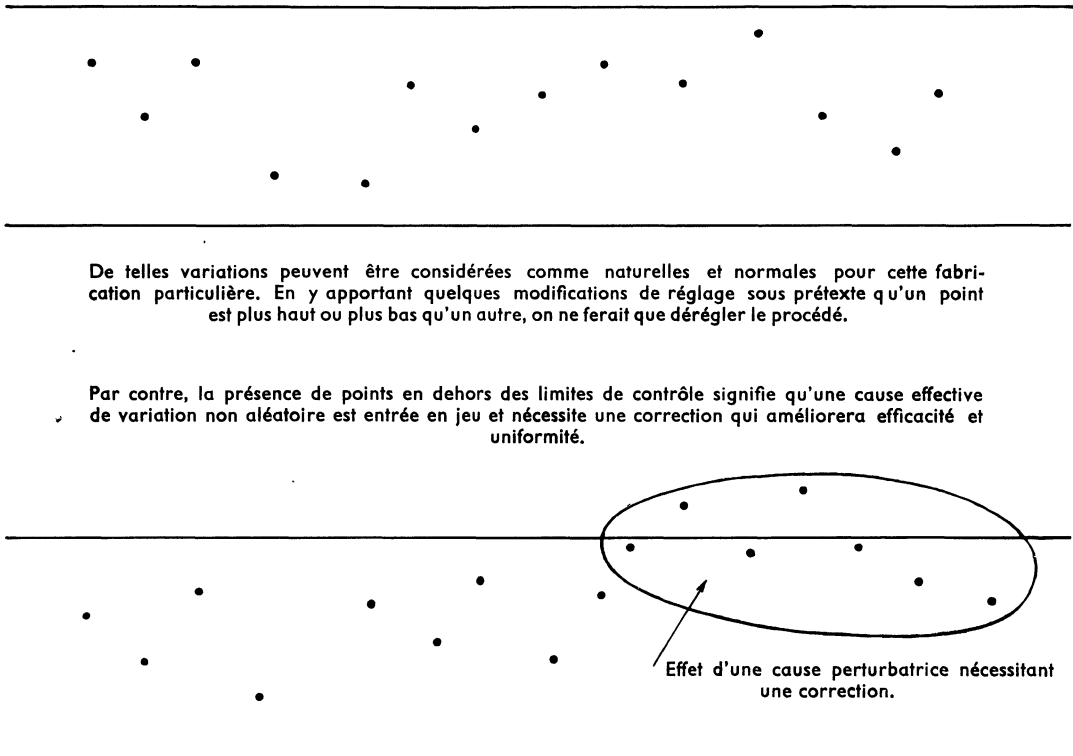


Fig. 1. — Illustration d'un critère pour distinguer la variabilité aléatoire d'une variation due à une cause sur laquelle on doit essayer d'agir.

L'expérience montre que le simple jugement réduit à ses seules ressources, sans aide statistique, peut conduire à commettre des erreurs de deux sortes.

Erreur A. — Il conduit à une action « corrective » dans des cas où les différences proviennent de variations purement aléatoires, non significatives. Une telle erreur cause un tort important, comme on l'a dit plus haut.

Erreur B. — Il n'arrive pas à discerner que certaines différences ne doivent **pas** être laissées au hasard, mais doivent faire l'objet d'une étude. Manquer de le faire, lorsqu'une différence est statistiquement significative, entraîne une perte par défaut d'une amélioration possible.

Il est impossible d'éviter les deux erreurs à la fois, mais des techniques statistiques simples (telles que la carte de contrôle) conduisent directeurs et ouvriers aux **pertes économiques nettes minimum**. Une expérience déjà riche montre que sans l'aide des techniques statistiques, les pertes causées par les erreurs des deux sortes atteignent presque à coup sûr une grande ampleur. Même avec des méthodes statistiques, les erreurs A et B sont possibles l'une et l'autre, et il faut s'y attendre de temps en temps.

A ce sujet, il est intéressant d'entreprendre une courte expérience pour illustrer la variabilité aléatoire. On peut prendre un récipient contenant des petites boules noires et blanches, avec par exemple 20 % de noires, les mélanger à fond, et en tirer de petites poignées d'environ 50 à la fois, en les mélangeant bien entre deux tirages. On peut d'abord demander aux gens à quelle variation ils s'attendent, pour un échantillon de 50 et quelles limites indiquent la présence d'une cause déterminable impliquant la nécessité d'une action. Les estimations seront généralement très en deçà des trois écarts types effectifs. En fait, on pourra prédire en toute confiance que le nombre de noires variera, et qu'il variera entre 3 et 17 avec une très faible probabilité d'apparition de 2 ou 18. L'expérience montrera que la variation a bien lieu, qu'elle joue surtout entre 6 et 15, et que le nombre de boules noires observé à chaque tirage est complètement indépendant du tirage précédent. On voit quel serait le résultat sur une machine ou sur du personnel spécialisé, si la direction décrétait que quelque chose ne marchait pas bien chaque fois qu'un nombre observé tombait : a) hors des limites qu'elle avait prévues ; b) ou au-dessus de la moyenne. Et pourtant, c'est ce que font les gens sans l'aide du raisonnement statistique.

La même expérience peut servir de base à une brève description de l'échantillonnage pour acceptation : risques du producteur, risques du consommateur et leur contrôle par un plan d'échantillonnage.

Là, encore, il y a deux sortes d'erreurs possibles dans un plan d'échantillonnage :

A. — Dépenser trop peu d'argent sur le plan d'échantillonnage et encourir des pertes par le rejet de trop de matériel de bonne qualité et davantage encore par l'acceptation de trop de matériel de mauvaise qualité ;

B. — Dépenser trop pour le plan d'échantillonnage et assurer une protection qui coûte plus qu'elle ne vaut.

Grâce à l'emploi de techniques statistiques, nous pouvons **rendre minimum les pertes économiques nettes** du point de vue de ces deux erreurs.

Qu'est-ce que le contrôle statistique de qualité ?

Du point de vue de la direction, le contrôle statistique de qualité doit s'exercer sur tout le parcours qui va des matières au consommateur, et en sens inverse (figure 2). L'omission de toute application qui pourrait en être faite entraîne d'une façon ou d'une autre une perte économique. Etant donné qu'il incombe aux dirigeants de veiller à éviter les pertes, il est de leur devoir d'utiliser les techniques statistiques partout où elles peuvent rendre service. Du point de vue de la direction, on peut adopter la définition suivante :

Les méthodes statistiques dans l'industrie sont constituées par l'application des principes et techniques statistiques à tous les stades de la production, de la distribution et de l'administration, en vue d'assurer la production la plus économique du produit le plus pratique et assuré d'un marché.

Voyons ce que signifie cette définition. Tout d'abord, qu'est-ce que la qualité ? La qualité n'a pas de sens si elle n'est pas rapportée aux demandes des consommateurs. Par conséquent, la première chose à faire en matière de contrôle statistique de qualité, c'est d'apprendre quelque chose sur les besoins du marché. S'il ne l'envisage ainsi, un fabricant peut fort bien se trouver utiliser les techniques statistiques les plus élaborées pour la production et le contrôle, sortir un beau produit d'une façon tout à fait économique, pour un marché sur lequel il s'est trompé d'une façon ou d'une autre. Ou encore, il peut produire trop ou pas assez, en vue de satisfaire le marché tel qu'il existera six mois plus tard. D'une manière ou de l'autre, il en résultera une perte.

Occupons-nous du prix. Le prix, comme toute fraction, a à la fois un numérateur et un dénominateur. Il n'a pas de signification s'il n'est rapporté à la qualité. Le prix s'exprime en nombre de litres aux 100 kilomètres, ou en francs par kilo de matière utilisable. Le prix n'a pas de sens sans la qualité. En outre, on doit pouvoir exprimer la qualité en un langage compréhensible pour l'acheteur et pour le vendeur. Les techniques statistiques fournissent des méthodes permettant de déterminer si un jugement particulier de qualité est valable, et elles fournissent les résultats d'un test en un langage connu et compris partout dans le monde. Aussi sont-elles essentielles à l'expression du prix aussi bien que de la qualité.

Non seulement les méthodes statistiques concourent à produire une qualité uniforme et sûre, mais elles fournissent aussi un **langage international d'expression de la qualité** dans lequel peuvent être menées des négociations, même entre un acheteur et un vendeur situés en des points différents du globe.

La solution statistique des problèmes qui se posent aux dirigeants prend quelquefois le nom de « recherche opérationnelle ». Ce n'est pas le nom qui importe, ce sont les problèmes et leurs solutions.

Effet de la théorie statistique sur la production et la distribution.

Pour montrer l'usage des techniques statistiques dans l'industrie, du point de vue de la direction, j'ai jugé bon de considérer une chaîne de production (figure 2) commençant par la gauche avec les fournisseurs de matières premières A, B, C.

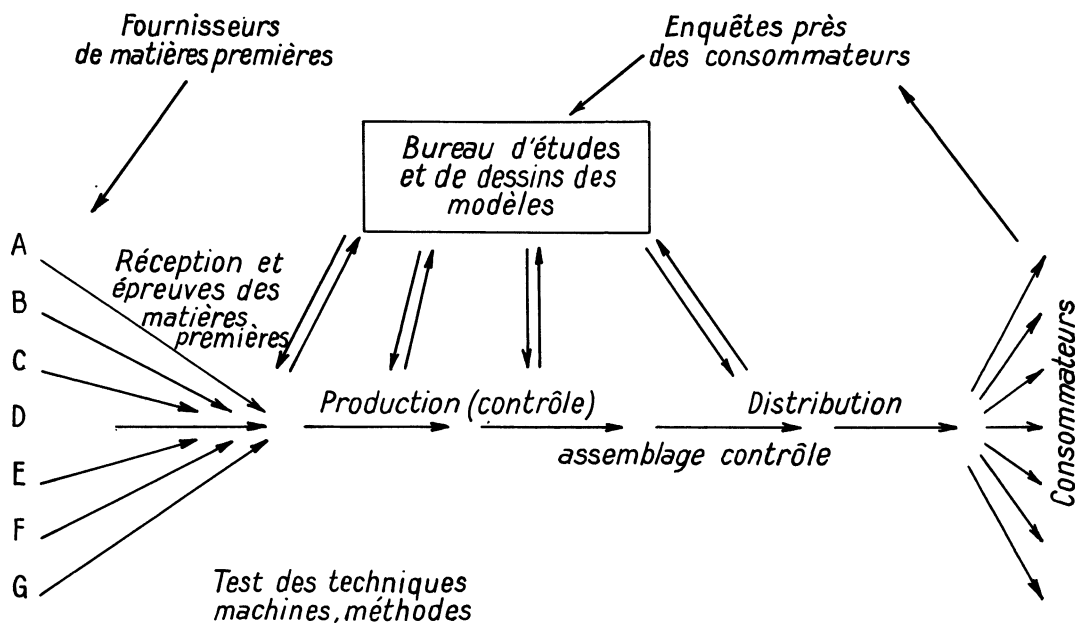


Fig. 2. — La chaîne de production des matières premières au consommateur. Les techniques statistiques, sous une forme ou sous une autre, sont indispensables en chaque point de toute la chaîne de production. A chaque stade de la production de même que dans les enquêtes près des consommateurs, l'information statistique nourrira un courant continu de données permettant de mettre au point la fabrication, compte tenu des changements de la demande en ce qui concerne la qualité, l'homogénéité et la quantité de la production.

Les matières doivent être reçues, testées, acceptées, rejetées, réglées et triées en vue de leur utilisation. L'échantillonnage et les tests doivent avoir un sens statistique, sinon l'acheteur peut se trouver accepter une qualité médiocre ou une grande variabilité et l'acheteur ou le vendeur peut s'exposer à un paiement systématiquement faussé dans un sens ou dans l'autre. Une bonne partie du meilleur travail des méthodes statistiques dans la production est due à leur emploi dans les usines ou entreprises fournissant les matières premières, en vertu du fait qu'un certain degré de régularité et de sûreté dans l'approvisionnement est nécessaire à un fabricant qui souhaite produire lui-même de la bonne qualité. Mais il doit définir « bon » et « uniforme » statistiquement, en termes conformes à la demande du consommateur.

Vient ensuite la chaîne de production avec ses diverses opérations, montages, tests et inspections finales. Le produit gagne alors le marché par plusieurs canaux de distribution. Le consommateur ne sera parfois qu'un autre service de la même entreprise, de l'autre côté du couloir. Parfois, ce sera un autre industriel ; parfois, ce sera la grande masse des individus ou des familles du pays ou d'autres pays.

Les techniques statistiques sont nécessaires tout le long de la chaîne de production qui va des matières premières au consommateur. L'industriel averti reconnaît que ces lacunes dans le travail statistique, n'importe où dans la chaîne, entraînent des pertes dans la production, des pertes de matières, une baisse relative de la qualité et de la régularité, des coûts excessifs et en fin de compte, un rétrécissement du marché.

Résumé de l'action de la statistique pendant les douze dernières années.

Il est intéressant pour les directeurs d'observer que l'effet de la théorie statistique pendant les douze dernières années a été si net qu'il a affecté et modifié à peu près toutes les activités humaines, non seulement dans la production, mais dans les affaires, le Gouvernement et dans toutes sortes de recherches. Une brève classification de quelques activités parmi les plus courantes de celles touchées par la statistique attire généralement l'intérêt des dirigeants.

I. PRODUCTION.

a) Accroissement de la production :

La littérature relative au sujet mentionne des accroissements de 10 à 230 % (1). Il importe de se représenter que ces accroissements interviennent **sans accroître les machines** ni l'espace utilisé.

De quelle manière ? Grâce à une utilisation plus efficiente des matières et des machines ; à une amélioration de la qualité ; à une diminution des déchets et du travail à recommencer. Une grande entreprise de produits pharmaceutiques signalait qu'elle pouvait fabriquer un certain antibiotique avec 30 % seulement des matières premières qu'elle utilisait six mois avant d'introduire les techniques de la carte de contrôle. Une grande entreprise sidérurgique signalait une économie de combustible d'un tiers par rapport à l'année précédente. De tels résultats ne sont pas rares : ils ont simplement une valeur d'exemple ;

b) Amélioration de la qualité à moindre coût ;

c) Accroissement de la régularité à moindre coût ;

d) Amélioration de la position concurrentielle grâce à une production accrue, à une meilleure qualité, à une meilleure régularité, à un meilleur plan, à des coûts réduits ;

e) Un langage international précis :

- permettant d'exprimer les normes et tolérances de la qualité requise ;
- permettant de décrire la qualité d'un produit déjà fabriqué.

2. DIRECTION.

Spécifications et tolérances précises.

Par exemple, compte tenu de l'uniformité des dimensions ou de la qualité de la vitesse de production, des qualités des produits finis :

- mesure correcte de la qualité et des résultats effectivement atteints dans la production (de nouveau impossible sans les techniques statistiques) ;
- meilleure connaissance des pièces fabriquées.

Les méthodes statistiques fournissent des nombres sûrs quant à la qualité et l'uniformité du matériel produit ; de sorte que la direction peut souscrire des engagements pour des qualités déterminées, avec confiance et de manière à satisfaire le client.

Essai et comparaison de procédés et de matériaux.

Il s'agit de comparer deux procédés ou deux matériaux quant au coût, à la régularité et au niveau de qualité de la fabrication. Les techniques statistiques fournissent des tests économiques et des conclusions sûres pour aider les dirigeants à prendre la bonne décision.

Mesure des coûts et des normes de production.

Le plan statistique des observations sur les coûts et les normes donnera le maximum de garantie pour le coût unitaire, et fournira en même temps un outil efficace pour accroître le rendement d'une opération.

Inventaires faits de la façon la plus économique des stocks de vente au détail et en gros et du service.

(1) On peut trouver de tels exemples dans presque tous les articles du "Industrial quality control", voir par exemple l'article de George ver Beke : Statistical Quality control in the foundry, vol. VII Mai 1951, pp. 82-86, et aussi : Cuyler P. Hawkes : The quality problem on purchased material, ibid, pp 66-70. L'une des meilleures documentations est constituée par l'art. de K. KOYANAGI : Statistical quality control in Japanese Industry (Union of Japanese Scientists and Engineers, Tokyo, Mai 1942) p. 42, par exemple.

3. ÉTUDE DES CONSOMMATEURS (avec les procédés statistiques modernes, c'est un élément essentiel de la production économique ; voir plus loin).

4. VÉRIFICATION ET TENUE DES COMPTES.

Révision et harmonisation des inventaires et des registres de comptes, avec une certitude accrue et un coût moindre.

Vérification avec une certitude accrue à un coût moindre.

Vérification des factures payables avec rapidité, certitude accrue et à un coût moindre.

Détermination rapide des recettes non perçues (paiements internes ; billets non utilisés ; dépôts non utilisés).

5. DÉTERMINATION DES CONDITIONS MATÉRIELLES DES INSTALLATIONS.

Évaluation de l'entretien nécessaire, selon le genre d'entretien (entreprise de téléphone, chemin de fer, distribution d'électricité, de gaz, etc...).

6. MESURES ET EXPÉRIENCES D'ORDRE PHYSIQUE ET CHIMIQUE.

Les plans statistiques fournissent une précision accrue et une plus grande exactitude à un moindre coût.

7. STANDARDISATION ET TOLÉRANCES.

C'est, en grande partie, un problème statistique.

Un standard et une limite de tolérance doivent servir à de multiples fins, qui ne peuvent être déterminées que par des examens sûrs et par des tests sûrs.

En outre, ni standard ni limite de tolérance n'ont de sens s'ils ne sont écrits en termes de tests pouvant être soumis à un contrôle statistique sans dépense ni difficulté excessives.

8. STANDARDISATION DES PRODUITS PHARMACEUTIQUES.

Le contrôle statistique permet avec la meilleure garantie la mesure de la force des produits pharmaceutiques et des vitamines. Des essais de cette force doivent montrer au contrôle statistique si le dosage a une valeur quelconque.

9. CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES OPÉRATIONS DE BUREAU (résultats meilleurs et plus précis à un coût réduit).

10. SÉCURITÉ (meilleure organisation administrative d'un programme de sécurité, rendu possible par la définition statistique de taux significativement élevés et faibles).

Il est difficile de mettre un terme à cette liste, mais les points cités sont peut-être les plus intéressants pour les cadres dirigeants. On pourrait peut-être aussi mentionner brièvement les résultats obtenus par la théorie statistique dans les domaines de la production agricole, de la médecine et de la biométrie. Ce furent les premières applications des théories modernes. Quelques-unes parmi les meilleures applications ont renforcé le caractère utile et économique des programmes statistiques gouvernementaux qui fournissent une information d'une importance vitale pour l'industrie.

Qu'est-ce que l'étude des consommateurs ?

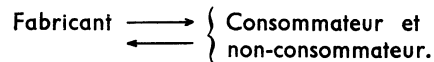
C'est une partie intégrante de la production. Sans elle, le produit a peu de chances d'avoir le maximum d'utilité, ou d'être fabriqué selon les quantités les plus économiques. En fait, une entreprise de production peut difficilement espérer aujourd'hui se maintenir dans les affaires sans une sérieuse étude du marché.

L'étude des consommations prend le pouls des réactions et des demandes du consommateur et transforme les résultats en prévisions à l'usage de la direction. La principale utilité de cette recherche est de permettre les réactions du consommateur sur les projets de production, de sorte que la direction peut raisonnablement anticiper sur les changements dans les demandes et **établir des niveaux économiques de production** dès à présent, pour la demande des mois à venir. C'est là un des

aspects les plus importants de la production : régulariser la **quantité** aussi bien que la qualité et l'uniformité.

L'étude des consommations n'a pas pour simple but de vendre. L'étude véritable, axée sur les projets et la production, est un outil moderne indispensable à la solution des problèmes de l'ère industrielle. Une étude convenable, combinée à d'autres techniques statistiques, peut contribuer à établir une base solide pour l'entreprise privée.

L'étude des consommations, c'est la démocratie dans l'industrie ; elle donne la parole au consommateur et au non-consommateur pour la définition et le prix du produit. C'est un **lien** entre le fabricant et les utilisateurs réels et potentiels de son produit, lien figuré comme suit :



Lorsque les utilisateurs réels et potentiels se comptent par milliers et par millions, comme c'est le cas dans l'industrie moderne, ce lien doit être assuré par des procédés d'échantillonnage. Grâce à ce lien, le fabricant est capable de refaire le plan de son produit, de le rendre meilleur, meilleur au sens d'aller au devant des besoins des acheteurs éventuels, et de produire la qualité et la régularité les plus conformes aux utilisations finales et aux prix que les gens sont disposés à payer.

L'étude des consommations agit comme un pilote ou un servo-mécanisme qui, sondant les raisons des préférences des consommateurs, fait des prévisions pour aider la direction à regarder devant elle et à voir quel type, quelle qualité et quelle uniformité demande le consommateur.

L'étude de marché permet également à la direction de lisser la production pour l'ajuster à la demande dans le futur immédiat, avec le minimum de pertes nettes par sous-production ou sur-production. Une telle circonstance contribue puissamment à assurer une production ordonnée et économique et à mieux satisfaire à la fois le consommateur et le producteur.

Liaison entre la direction et les statisticiens.

La direction ne doit pas seulement manifester sa compréhension à l'égard des responsabilités des statisticiens dans les divers secteurs de l'entreprise, mais aussi, dans une certaine mesure, au sujet des conditions dans lesquelles ils peuvent obtenir les meilleurs résultats. Par conséquent, il est souhaitable d'exposer succinctement aux dirigeants, au cours de conversations avec eux :

— quelques principes d'organisation des divers travaux statistiques, leurs liaisons entre eux et avec l'ensemble de l'affaire.

Quelques remarques sur ces divers points seront examinées dans les paragraphes suivants.

Suggestions relatives aux principes d'organisation.

Il n'est pas donné à tous les dirigeants d'espérer se spécialiser dans les techniques statistiques, ni de consacrer du temps à en étudier les applications. La direction doit se reposer sur un spécialiste qui pourrait être désigné comme un « administrateur statistique », ou un « vice-président » chargé des méthodes statistiques (voir III^e partie). Il importe que la direction perçoive la nécessité d'une organisation tenant compte de cette fonction.

Nul schéma d'organisation particulier ne s'adaptera exactement sans modification à chaque besoin particulier, mais on peut poser quelques principes généraux auxquels doit se conformer tout schéma d'organisation. En premier lieu, l'application des méthodes statistiques dans une entreprise ne consiste **pas** en une simple utilisation de cartes en $\bar{x}$ et en R ou d'un échantillonnage en des points isolés de la chaîne de production, ni en une simple étude de marché, ni en toute autre technique spécialisée,

Une entreprise ne peut pas se permettre de faire d'un côté de l'excellent travail avec des cartes de contrôle, pendant qu'elle laisserait l'échantillonnage et l'essai du matériel, des machines ou des procédés, ou bien l'étude du marché tomber à un niveau moins élevé.

En second lieu, si les techniques statistiques conduisent à des économies et à une meilleure qualité à un coût réduit, elles doivent être employées partout où on les trouve utiles, et non point seulement là où elles se trouvent se développer accidentellement.

En troisième lieu, les techniques statistiques ne doivent pas être administrativement subordonnées à l'essai des matériaux, à la production, à l'inspection, à l'étude de marché ou à toute autre chose ; elles doivent cependant être au service de toutes ces fonctions. Le travail statistique ne peut pas être bien conduit sans la connaissance des principes statistiques, pas plus que des recherches en thermodynamique ne pourraient être dirigées par un comptable. L'administrateur statisticien

doit bénéficier d'une position semblable à celle du chef des services de comptabilité, dont le travail est de diriger les méthodes et les techniques comptables dans toute la compagnie, partout où l'on fait de la comptabilité, et d'être responsable de la direction technique d'un tel travail.

Ces idées rejoignent un principe posé dans l'étude de Hotelling (1) sur l'enseignement de la statistique, principe selon lequel cet enseignement ne doit pas être subordonné au Département économique, ni au Département des Mathématiques, ni au Département de l'Education, ni à rien d'autre. L'enseignement et le travail statistiques dans le gouvernement et dans l'industrie constituent par eux-mêmes des travaux professionnels à plein temps.

En quatrième lieu, l'emploi des méthodes statistiques n'est pas une simple « application ». En fait, il ne peut y avoir application d'une théorie (ou d'une « règle » quelconque) sans théorie à appliquer. Il ne peut y avoir de théorie sans connaissance et il ne peut y avoir de connaissance sans recherche, quelque humble qu'elle soit.

L'absence d'une organisation convenable visant à une large utilisation des possibilités de la statistique conduit à un gaspillage continu en matières, à un gaspillage en main d'œuvre et en machines, à un gaspillage du fait de tests inefficaces pour l'achat de matières et la vente du produit, à une information statistique erronée sur les réactions du consommateur et sur les résultats obtenus par les produits, à une information erronée et tardive sur les ventes, à des données incorrectes concernant les services fournis par la compagnie, à des analyses inefficaces et des utilisations incorrectes des rapports statistiques officiels et au manque de renseignements permettant de saisir l'ensemble de l'activité de l'entreprise, faute de résumés facilement intelligibles de ses propres rapports et comptes ; toutes choses qui pourraient être améliorées par l'utilisation de la théorie moderne.

La direction doit percevoir le besoin d'améliorer l'organisation traditionnelle et d'introduire le service statistique à un niveau suffisamment élevé pour qu'il soit efficace.

Le Professeur Holbrook Working m'a fait observer, en 1942 et 1943, que c'étaient les petites entreprises qui semblaient faire les progrès les plus rapides dans l'utilisation des enseignements donnés au cours des stages de formation accélérée de 8 jours. Mon explication de ce fait n'est pas que les gens y sont plus actifs, mais que le mouvement horizontal des moyens statistiques d'un point à un autre d'une usine est généralement plus aisé dans les petites entreprises : les bonnes idées ont plus de chances de faire leur chemin dans les petites entreprises. Dans trop de grandes entreprises, on trouve ça et là des moyens statistiques remarquables rendus complètement inutilisables et liés par une organisation verticale inflexible, sans coordination statistique à partir du sommet, les problèmes statistiques d'une réelle importance n'étant pour ainsi dire pas touchés par des gens dépourvus de connaissances statistiques.

Il arrive incidemment que le service statistique ne soit **pas** organisé. On entend parfois parler d'une compagnie qui est sur le point d'introduire l'emploi des méthodes statistiques, comme on ferait d'un nouveau système de conditionnement de l'air, d'un nouveau linoléum, d'un nouveau système de classement, ou même d'un nouveau président. Les principes et techniques statistiques doivent être enracinés et nourris avec la patience, l'aide et la considération des cadres supérieurs. On ne peut s'attendre à les voir porter leurs fruits dès qu'ils sont employés, bien que les résultats viennent quelquefois à une vitesse étonnante.

III. SERVICE STATISTIQUE DE L'ENTREPRISE

ATTRIBUTIONS DU CHEF DU SERVICE STATISTIQUE.

La direction générale de l'entreprise ne pouvant pénétrer l'enchevêtrement des problèmes techniques statistiques relatifs aux achats, à la production et à la distribution, doit faire confiance à un chef de service responsable ayant les qualifications nécessaires. Ce service est le service statistique de l'entreprise.

Le service statistique doit coordonner l'emploi des méthodes statistiques tout au long de la chaîne de production (figure 2) allant des matières premières aux consommateurs, partout où de telles méthodes peuvent être efficaces. Cette organisation et cette coordination ne peuvent pas être l'attribution d'une section ou d'un département isolés de l'entreprise : chaque département parti-

(1) Harold HOTELLING et un comité : The Teaching of statistics « The annals of Mathematical statistics » Vol. XIX, 1948, pp. 95-115.

culier a son propre travail à faire et on ne peut lui reprocher d'y spécialiser son activité. Le chef du service statistique doit être capable de voir et prévoir quels sont, parmi les problèmes qui se posent ou se poseront à la direction, ceux qui sont partiellement statistiques et il doit employer les possibilités statistiques de son service de la manière la plus efficace partout où le besoin s'en présente. Telle organisation qui était satisfaisante il y a 10 ans est maintenant complètement démodée.

Le chef du service statistique doit dépendre directement de la direction générale et n'être responsable que devant elle. Il doit connaître les usines, les buts et les problèmes du Conseil d'administration et des directeurs techniques de l'affaire ainsi que ceux de la distribution du produit. Il diffère des autres personnes de même qualification hiérarchique :

a) En ce qu'il connaît **en outre** les principes de la statistique et l'efficacité des techniques statistiques ;

b) En ce qu'il est apte à reconnaître les problèmes statistiques lorsqu'il les rencontre où qu'ils se trouvent, présents ou futurs, qu'il s'agisse de la non uniformité des matières premières, de l'essai ou de l'échantillonnage des pièces, de coûts élevés ou d'une proportion élevée de pièces défectueuses dans certaines opérations, de variations de la productivité, de variations dans les résultats des ventes, de la nécessité de fournir à la direction une information statistique à partir des documents de l'entreprise ou des publications officielles, du besoin et de l'interprétation des études de marché, des modèles de produits à fabriquer, de normalisation, etc...

Il n'est pas nécessaire que ce chef de service soit un statisticien en renom, ni même qu'il soit particulièrement compétent en statistique théorique. Quelques souhaitables que puissent être ces qualifications, entre autres qualités requises de sa part, elles sont pratiquement irréalisables à cause de leur rareté. Le travail exige que le titulaire soit apte à adapter les théories aux problèmes concrets, qu'il possède des qualités de commandement et des qualités d'exposition.

Le chef du service statistique doit guider la recherche statistique dans l'entreprise avec un œil tourné vers les problèmes qui se présenteront dans l'avenir. Il doit travailler dans chacun des services de l'entreprise et y diriger l'emploi des méthodes statistiques aux endroits où elles s'avèrent nécessaires, dans le but d'améliorer chaque procédé ou chaque méthode. Son travail, comme tout travail statistique, dépend dans une large mesure d'un travail de coopération avec les services chargés des expériences et des mises au point. Les employés de l'entreprise chargés d'un travail d'ordre statistique doivent être responsables devant lui pour ce qui concerne les techniques statistiques qu'ils utilisent.

L'absence d'un service statistique central dans une entreprise conduit trop souvent à gaspiller, à propos de sujets sans importance, les moyens statistiques ou à les rendre inefficients, ou à les enterrer dans quelque point particulier de l'entreprise, si bien qu'on peut voir simultanément, dans une même entreprise, des exemples, aussi bien parmi les meilleurs que parmi les plus horribles, des applications de la statistique. C'est alors du gaspillage.

ÉTUDE DES CAUSES CONTRÔLABLES.

Pour les quatre groupes considérés, l'application des techniques statistiques consiste pour une grande part en l'étude des causes.

La variabilité est-elle significative, et pourquoi ?

Pourquoi une matière première est-elle meilleure qu'une autre, et quelle est la différence dans le prix, dans le coût de son élaboration, etc... ?

Pour quelles raisons un traitement, ou une machine ou un type de machine, est-il meilleur qu'un autre ?

Les différences sont quelquefois très petites, de l'ordre de 1 %, 2 % ou 5 %. Il convient d'établir convenablement le test permettant de découvrir ce qui est le meilleur, sinon la réponse peut être fausse, ou bien l'expérience qui sert à l'obtenir peut être coûteuse, plus qu'il n'est nécessaire.

Le chef du service statistique concentrera ses efforts sur les moyens d'obtenir des améliorations partout où c'est possible. Il n'y a pas lieu d'étudier sans nécessité des causes sur lesquelles on ne peut pas agir. Si, par exemple, une humidité excessive constitue une cause possible de perturbation dans la production, alors que la direction sait parfaitement qu'il n'y a rien à faire à ce sujet, compte tenu des frais d'installation d'un nouveau matériel de conditionnement dans un vieux bâtiment qui sera bientôt abandonné pour un autre nouvellement aménagé, il serait absurde d'essayer de découvrir par des essais, établis convenablement ou non, si l'humidité a quelque responsabilité dans les difficultés rencontrées.

La première chose à faire dans une étude statistique est de dresser un inventaire des difficultés qui peuvent se rencontrer dans la production et de celles de leurs causes sur lesquelles on peut éventuellement agir. Cette étude préalable révèle les points auxquels les techniques statistiques sont susceptibles de s'appliquer ; elles doivent être appliquées là où le jugement indique qu'elles peuvent aider à découvrir lesquelles des causes soupçonnées et contrôlables de variations systématiques sont présentement en jeu. La suppression d'une cause systématique de variabilité améliore la régularité et l'efficacité. Une bonne connaissance des causes qui peuvent agir dans certaines opérations pourra quelquefois conduire à des solutions évidentes sans l'aide des techniciens statistiques : il n'y a évidemment pas lieu d'appliquer des techniques statistiques pour résoudre des questions dont la réponse est évidente.

Cette première étude peut ne pas paraître un problème statistique ; d'autre part, les techniques statistiques peuvent éventuellement ne pas toujours trouver les voies du succès, mais cette approche est absolument nécessaire à la réussite du travail statistique.

En ce qui concerne les problèmes de recherche théorique et appliquée, la direction doit avant tout apprécier l'importance de la recherche et connaître les contributions de la théorie statistique pour assurer la réussite et la rapidité de ces deux branches.

LA FORMATION STATISTIQUE DU CHEF DU SERVICE STATISTIQUE.

Le chef du service statistique doit connaître tout d'abord les problèmes actuels de la direction, mais il doit aussi deviner les problèmes qui se présenteront à elle d'ici un an et y être préparé. La théorie statistique est pour lui un outil lui permettant de trouver aux problèmes qu'affrontera la direction le mois prochain ou l'année prochaine des réponses meilleures qu'il n'aurait été possible autrement.

Le chef du service statistique a besoin de savoir à quel moment les techniques statistiques peuvent être utiles pour ces problèmes et doit avoir quelque idée des principes qu'ils impliquent, de façon à pouvoir trouver un statisticien ayant les connaissances statistiques nécessaires pour les appliquer à ces problèmes.

Pour quelques années encore, l'industrie et les services gouvernementaux devront se contenter de gens ayant une connaissance imparfaite de la théorie statistique moderne mais connaissant bien les principes statistiques et leur portée.

La principale condition requise, c'est une **organisation nouvelle** : celle d'une méthode permettant de réviser les procédés statistiques d'une entreprise et de faire cesser les pratiques défectueuses ; c'est la mise en place de responsabilités et de capacités là où c'est nécessaire pour suggérer de nouveaux procédés et contribuer à en mettre au point de meilleurs ; c'est l'organisation statistique théorique pour élaborer les techniques requises.

NÉCESSITÉ D'UNE NOUVELLE ORIENTATION DANS L'ENSEIGNEMENT DE LA STATISTIQUE.

Nous disposons à présent de centres d'enseignement de la statistique mathématique et nous avons les moyens de former des statisticiens accomplis dans plusieurs centres d'enseignement renommés. Ces centres constituent la pépinière de nos futurs professeurs et directeurs de recherches statistiques. Mais pour chaque chercheur d'un grade élevé, l'industrie et le gouvernement ont besoin de centaines d'hommes ayant l'esprit statistique, qui sachent à quel moment utiliser les techniques et quand une technique est valable ou non. Le besoin se fait particulièrement sentir pour les postes de direction, car c'est là que réside le pouvoir de placer, au bon endroit, les compétences statistiques, de reconnaître et protéger les compétences statistiques véritables.

Ce n'est point là une chose ni rapide, ni simple.

Nos écoles d'ingénieurs, de commerce et d'administration des affaires n'ont pas encore pu organiser les enseignements statistiques dont ont besoin les directeurs d'entreprises. Dans la plupart de nos écoles supérieures, l'enseignement statistique est en retard de 15 à 20 ans, sans vie propre, ignorant de la force vive contenue dans les méthodes et la tournure d'esprit statistiques. Il sera encore périmé lorsque nos actuels étudiants s'apercevront ce dont ils ont besoin. Certaines choses doivent disparaître des programmes d'études surchargés pour faire place à l'enseignement de la méthode statistique.

Il résulte de ma propre expérience que des hommes qui ont suivi pendant huit jours les enseignements de stages accélérés bien organisés, portant sur les techniques statistiques élémentaires, ont

une meilleure appréciation des possibilités des techniques statistiques que ceux qui ont étudié dans des cours ou des ouvrages périmés.

Nos écoles d'ingénieurs, de commerce et d'administration des affaires devraient enseigner la théorie statistique non pas comme une fin en soi, mais d'un point de vue fonctionnel comme une force capable de **résoudre des problèmes**, illustrée par l'étude par sondages de populations humaines, le jugement sur échantillons des matériaux, les essais de matériaux, de procédés et de rendement des machines, les problèmes statistiques de normalisation, de contrôle, de fabrication ou d'acceptation sur échantillons, d'études de consommation, de conception de modèles, d'inventaires, etc...

Le but à atteindre n'est pas seulement d'étudier des problèmes théoriques, tels que l'analyse de la variance, la technique de sondage, les plans d'expérimentation, les tests d'hypothèses, l'analyse discriminante, etc...

La théorie fondamentale et l'établissement des principes sont les mêmes pour les diverses applications.

C'est pourquoi une petite part de théorie, bien assimilée, constitue un outil si puissant. Aucun sujet appris à l'école n'est susceptible d'une application aussi universelle ni ne peut contribuer autant à l'acquisition de la connaissance empirique tellement nécessaire dans l'industrie moderne.

Etant donné que les compétences statistiques resteront encore rares pendant quelques années, il est absolument nécessaire que les entreprises se rendent compte de la nécessité, pour leurs propres services statistiques, de faire le meilleur usage possible de ces compétences actuellement disponibles.

INGÉNIEURS-CONSEILS STATISTICIENS.

Une solution partielle du problème posé par l'actuelle pénurie de compétences statistiques consiste à faire davantage appel aux ingénieurs-conseils statistiques. Un ingénieur-conseil présente certains avantages :

- 1° Il possède des connaissances spécialisées ;
- 2° Sa connaissance limitée des traditions de l'entreprise et de ses affaires, au lieu d'être un inconvénient, peut contribuer à constituer un argument important en faveur de l'ingénieur-conseil. Il peut lui arriver de trouver des solutions que des gens depuis trop longtemps dans l'entreprise n'auraient pas été capables d'entrevoir.
- 3° Il met l'entreprise à l'épreuve : s'il n'obtient pas de résultats, il cessera ses services pour les réserver à des clients chez lesquels son rôle sera plus efficace. L'ingénieur-conseil statisticien imprime ainsi une action stimulante en vue d'obtenir de meilleurs résultats.

IV. RECHERCHE

LE TRAVAIL DE RECHERCHE.

La recherche est essentiellement la découverte de ce que l'on aura besoin de connaître plus tard. Le travail des services de recherche est extrêmement varié. Les chercheurs participent à de vastes tâches, telles que la reconception du modèle d'un ancien produit, la création d'un nouveau, la possibilité d'utiliser des matières premières moins chères, les essais de machines, de procédés et traitements en vue d'une décision de choix, l'interprétation des données fournies par les statistiques officielles et bien d'autres problèmes. Ils travaillent à des problèmes de moindre envergure au fur et à mesure des besoins. Leur recherche vise parfois, par exemple, à régler un différent entre ingénieurs de fabrication et ingénieurs créateurs des modèles. La théorie statistique s'avère particulièrement utile pour la mise au point d'expériences en vue de choix entre deux machines, deux procédés, deux matériaux, ou pour la mise au point d'un nouveau produit, surtout lorsqu'il s'agit de faibles différences. On peut obtenir la solution par tâtonnement, à la bonne vieille manière, mais les réponses ainsi obtenues peuvent être erronées « elles pourraient être exactes une fois sur deux si on les jouait à pile ou face ». Il est nécessaire d'obtenir mieux que cela. Dans la concurrence actuelle, en ce qui concerne la quantité et la qualité de la production aussi bien que pour le lancement et le développement du marché de nouveaux produits, il faut résoudre ces problèmes de façon prompte et sûre avec un coût d'expérimentation modéré. De petites économies atteignant 2 %, d'un côté, 5 %, d'un autre, etc..., contribuent à créer une position concurrentielle plus avantageuse et un rendement amélioré.

FORMATION STATISTIQUE NÉCESSAIRE POUR LA RECHERCHE.

Il n'y a pas de limites aux applications statistiques que peut entreprendre le service de recherche. Les spécialistes de ces services doivent faire quotidiennement appel à la théorie de l'échantillonnage, à la mise au point de plans d'expérimentation, aux tests d'hypothèses, à l'analyse de la variance, à d'autres techniques encore. A de nouveaux problèmes, ils doivent appliquer des théories nouvelles. Ils doivent posséder la compétence voulue pour mener des recherches dans de nouveaux domaines. Certaines de ces recherches peuvent entraîner l'étude de nouvelles théories statistiques ou de nouvelles adaptations d'une théorie existante.

Quelques années dans un centre d'enseignement de statistique mathématique du premier degré constitueront pour les chercheurs une formation statistique idéale. Cependant, beaucoup de gens qui ont réussi dans la recherche n'ont pas eu l'occasion de profiter de tels enseignements, ayant cherché leur formation statistique dans des études individuelles et des cours spécialisés.

Une partie importante du travail des chercheurs sera consacrée à suivre des réunions et des conférences. Ils devront être encouragés à suivre, dans une université locale, des cours pris sur leur horaire : c'est là un sage placement. Il faut mettre à leur disposition une bonne bibliothèque dans l'entreprise ; leur travail les conduira d'ailleurs à faire appel à des bibliothèques plus importantes, extérieures à l'entreprise. Il faudra les encourager à publier des articles de revues aussi bien que des ouvrages.

Pour la formation systématique des chercheurs aussi bien que celle des spécialistes des autres groupes, nous n'avons point, aux Etats-Unis, de système comparable à celui mis au point par M. Koyanagi à « l'Union des Savants et Ingénieurs Japonais » à Tokyo. Cet « Institut », comme on l'appellerait dans notre pays et aussi, je crois, dans les pays européens, assure une formation à tous les niveaux, y compris la direction des entreprises. Il y a des réunions l'après-midi, une fois ou deux par semaine, pour les personnes qui peuvent venir régulièrement à Tokyo. Il y a des cours d'une durée de une, deux ou trois semaines dont certains reprennent après un intervalle d'un mois ou deux, pour permettre aux ingénieurs, aux économistes et autres travailleurs intéressés de venir, de points éloignés du Japon, étudier pendant un certain temps, puis retourner à leur travail.

QUELQUES MOTS SUR LES PLANS D'EXPÉRIMENTATION.

L'idée fondamentale des plans statistiques d'expérimentation est qu'ils permettront de hâter (de 6 mois à 2 ans) la mise au point d'un nouveau produit et qu'ils aideront la direction à faire un choix correct entre deux techniques, deux machines, deux plans. Les plans statistiques d'expérimentation ne peuvent donner leurs pleins résultats que si le statisticien est certain par avance que les résultats de l'expérimentation seront utilisés. Grâce à un examen préliminaire d'un problème proposé :

- 1° Le statisticien envisage à l'avance tous les résultats possibles ;
- 2° Il s'assure à l'avance de l'interprétation ou de l'action qu'on peut raisonnablement associer aux différents résultats susceptibles d'être obtenus.

Ce travail préparatoire accroîtra, dans de larges proportions, l'utilité du programme d'expérimentation et évitera toute confusion, tout désaccord et toute perte de temps ou d'efficacité dans les expériences.

V. PERSONNEL DE FABRICATION

Production - Contrôle - Essai de matériaux

TRAVAIL EFFECTUÉ PAR CE GROUPE.

Le travail accompli par les techniciens de ce groupe est très varié, mais chacun d'eux peut être considéré comme l'administrateur d'un petit domaine : à savoir lui-même et sa machine, ou bien les hommes placés sous sa responsabilité. Il faut que les techniciens connaissent les principes fondamentaux semblables à ceux déjà envisagés pour les dirigeants. (Voir Partie II.)

FORMATION ACCÉLÉRÉE EN HUIT JOURS.

Les techniciens de ce quatrième groupe doivent connaître en outre la façon d'utiliser quelques techniques simples. Ils peuvent apprendre en huit jours :

- les principes fondamentaux (Partie II) ;
- quelques rudiments de la théorie de l'échantillonnage ;
- les techniques des différentes cartes de contrôle ;
- le contrôle de réception sur échantillon.

Ce sont les cours de formation accélérée en huit jours, formulés en un langage simple, inaugurés, sur la suggestion de l'auteur, en juillet 1942 à l'Université de Stanford (1) et bientôt suivis de cours analogues dans les centres industriels à travers tout le pays, qui ont vraiment permis aux méthodes statistiques de démarrer dans l'industrie des Etats-Unis.

Des cours analogues, mais plus courts, organisés par l'« Ordnance Department » dans les usines fabriquant du matériel de guerre y contribuèrent aussi. Une aide, sans laquelle on n'aurait pu obtenir des résultats aussi nets, vint des petites brochures (2) sur l'utilisation de la carte de contrôle de Shewart, publiées par l'American Standard Association en juillet 1942 juste à temps pour le premier stage accéléré de l'Université de Stanford. L'ouvrage de Simon (3) (à présent lieutenant général) venait juste d'être publié à l'usage de ceux qui souhaitaient faire des études plus approfondies. Le premier pas dans toute question nouvelle, c'est la théorie fondamentale et celle-ci était contenue dans les livres de Shewart (4), publiés en 1931 et 1939 et dans les papiers publiés antérieurement par Shewart ainsi que par Dodge et Romig.

Pendant les années 1942 et 1945, ces cycles de huit jours furent suivis par quelque 2.000 personnes. Cette formation se poursuit ; il se tient annuellement une demi-douzaine au moins de cycles de huit jours dans diverses universités des Etats-Unis et de nombreuses usines organisent des cycles d'un type analogue sous la direction de spécialistes.

Une importante caractéristique de ces cycles de huit jours — même en ce qui concerne le premier qui eut lieu en juillet 1942 — fut l'organisation dans chaque ville de groupes d'information permettant aux étudiants de se réunir par la suite chaque mois pour étudier et discuter.

L'« American Society for Quality Control » a réuni, en 1946, ces groupes isolés.

Il importe que la formation statistique de chaque groupe soit poursuivie ultérieurement. Ceci est particulièrement vrai aux niveaux peu élevés.

Un enseignement intensif de techniques statistiques, professé en huit jours seulement, laisse évidemment les gens aux prises avec de nombreuses questions qu'ils ne peuvent tirer au clair qu'en y réfléchissant plus à loisir et en mettant en pratique les techniques étudiées.

Dans de nombreuses villes des Etats-Unis et du Canada, des sections locales de l'« American Society for Quality Control » et de l'« American Statistical Association » assurent, par des réunions mensuelles, les moyens de poursuivre cette formation.

Au Japon, l'Union des Savants et Ingénieurs japonais a mis au point un système de continuation des études, merveilleusement gradué, convenant à tous les besoins (mentionné dans la Partie IV).

PROGRAMME DES CYCLES ACCÉLÉRÉS DE HUIT JOURS.

Le principe essentiel de ces cycles de huit jours consiste à s'en tenir à un contenu simple. On obtient de meilleurs résultats si les professeurs ne tentent pas de développer leur sujet à l'excès.

Bien que la théorie doive être réduite à un minimum rudimentaire, au cours des cycles de huit jours, elle demeure en fait l'élément de base de l'enseignement. La pratique fait fausse route lorsqu'elle ne s'appuie pas sur la théorie, car chaque problème nouveau est différent des précédents.

(1) Les premiers cycles de formation accélérée duraient dix jours, les suivants furent réduits à huit jours.

(2) Les « American War Standards » concernant le contrôle de qualité portent les titres et dates suivants :

1. ZI. 1-1941 Guide for quality control (Avril 1941) ;

2. ZI. 2-1941 Control chart method of analysing data (Avril 1941) ;

3. ZI. 3-1942 Control chart method of controlling quality during production (Mai 1942).

(3) Leslie E. Simon : An Engineer's « Manual of statistical Methods » (Wiley 1941).

(4) Walter A. Shewart : The Economic Control of Quality of Manufactured Products (Van Nostrand 1931) et Statistical Method from the Viewpoint of quality Control (The Graduate School, Department of Agriculture 1939).

Il faut opérer un choix judicieux dans les théories à enseigner et les enseigner sous forme de principes statistiques et non comme des développements mathématiques dérivant d'hypothèses fondamentales.

Les cours doivent ménager une large place aux principes fondamentaux, conformément aux directives mentionnées dans la Partie II, en les illustrant par des exemples et par l'utilisation des diverses cartes de contrôle (p , c , $\bar{x}$, R), avec des données fournies par des tirages au sort de billes et de jetons et ultérieurement par des données réelles provenant d'usines et fournies de préférence par certains des étudiants. (Voir plus loin.)

Dans mes propres cours, j'utilise la carte de contrôle de l'écart type, mais une seule fois au cours d'un cycle, afin de montrer que pour les échantillons de taille $n = 5$, les cartes relatives à R et à σ présentent des structures presque identiques, de sorte que l'une peut remplacer l'autre. La facilité d'étude de l'étendue (R) décide du choix en sa faveur.

Aux Etats-Unis, le programme des cycles de formation accélérée en huit jours varie avec les professeurs et avec le degré de préparation et d'expérience statistique des étudiants. Aussi, toute liste des sujets traités au cours d'un tel cycle ne peut-elle qu'illustrer simplement ce qui a paru réalisable dans un cas particulier. Voici une liste à titre indicatif :

I. — Principes fondamentaux de la variabilité ; variabilité aléatoire et non aléatoire ainsi qu'il a été expliqué à la Partie II ;

II. — Il n'est pas rentable de chercher les causes de variabilité non aléatoire ;

III. — Il est rentable de rechercher une cause identifiable d'une variabilité aléatoire ;

IV. — La carte de contrôle indique quand la variation peut être presque à coup sûr considérée comme non aléatoire et quand il sera rentable de rechercher une cause identifiable ;

V. — Illustration de la variabilité aléatoire par des exemples réels :

a) La carte de contrôle des fréquences p pour l'étude de la fréquence relative des pièces défectueuses (I) :

1. Tirer 25 échantillons de 50 billes d'un ensemble contenant par exemple 3.200 billes blanches et 800 rouges. Remettre chaque échantillon dans l'ensemble et mélanger soigneusement avant de tirer l'échantillon suivant. Cette expérience illustre la variabilité aléatoire. Dans mes propres cours, les étudiants construisent une carte relative à la proportion (p) pour 25 échantillons ;

2. Reporter les 25 points sur la carte ;

3. Calculer et tracer les limites de contrôle et discuter l'aspect de la carte ;

4. Prolonger les limites de contrôle en vue de l'étude de 25 échantillons supplémentaires ;

5. Tirer une deuxième série de 25 échantillons et observer que les points restent à l'intérieur des limites de contrôle prolongées. Ceci illustre la **stabilité** ou l'aptitude de la carte de contrôle à prédire, sur la base de 25 échantillons ou davantage, une distribution future, lorsque les variations proviennent toujours des mêmes causes.

En faisant passer de 4 : 1 à 3 : 1 la proportion des billes rouges, on peut montrer comment une nouvelle série de 25 points se place tout à fait en dehors des 50 points précédents et comment la carte de contrôle permet ainsi de découvrir une cause pouvant être déterminée (à savoir un changement dans la proportion des billes rouges).

b) La carte (C) pour l'étude du nombre c de pièces défectueuses par test standard. Tirer 25 échantillons de 100 billes d'un mélange de 450 billes blanches et 50 rouges. On démontre, comme précédemment, les possibilités de prévision et de détection ;

(1) L'auteur a utilisé un outillage grossier mais satisfaisant pour illustrer la variabilité aléatoire au cours du premier cycle accéléré (qui eut lieu à l'Université de Stanford en juillet 1942). Des améliorations se sont ensuite présentées d'elles-mêmes. M. A. I. Peterson, alors à l'Université de New-York, conçut une palette présentant des rangées de cavités, 5 dans un sens et 10 dans l'autre, pour tirer exactement 50 billes d'un mélange d'environ 4.000 billes blanches et rouges de 10 mm dans la proportion d'à peu près 4 blanches pour une rouge. Quelques professeurs ont établi un appareillage soigné pour illustrer la formation de différentes distributions aléatoires. Ces supports matériels peuvent sans doute constituer le meilleur moyen d'enseigner quelques-unes des parties essentielles de la théorie statistique.

- c) (1) Les cartes des moyennes ($\bar{x}$) et des étendues (R). Tirer 25 échantillons de 5 jetons pris parmi 200 jetons marqués de façon à constituer une distribution allant de -8 à $+8$. La distribution n'a besoin d'être d'aucune forme particulière quoiqu'elle doive peut-être être unimodale pour se conformer à la plupart des conditions contrôlées qu'on rencontre pratiquement. Les nombres peuvent représenter par exemple des écarts, exprimés en unité de 0,001 cm, à partir d'un diamètre nominal de 1 cm. Porter sur la carte les points relatifs aux valeurs de $\bar{x}$ et R. Calculer les limites de contrôle et discuter l'allure des cartes. Tirer 25 autres échantillons et observer que l'extrapolation des premières limites de contrôle permet, à nouveau, de prévoir l'étendue des variations provenant des mêmes causes aléatoires ;
- d) Modifier les jetons en leur attribuant une moyenne nettement différente, plus élevée de 2 unités ; puis un écart-type nettement différent, double du premier, avec la même moyenne. Observer comment la carte des moyennes ($\bar{x}$), puis la carte des étendues (R) décèlent les modifications ;
- e) Une carte des écarts-types (σ) pour 25 échantillons, construite parallèlement à la carte des étendues (R) et juste au-dessous suffira à illustrer le fait que la carte des étendues remplira le même rôle que la carte des écarts-types. Comme son calcul est plus facile, le choix se fait en sa faveur.

Les expériences peuvent être variées à l'infini.

VI. — Effet du mélange de produits de provenances différentes. Si l'on mélange ensemble trois lots de pièces, on observe que les cartes de contrôle des $\bar{x}$ et des R font apparaître une stabilité excellente en ce qui concerne les causes aléatoires. L'expérience montre ;

- a) Qu'avec un mélange de produits de provenances différentes la carte de contrôle devient sans usage pour déceler des causes d'une étendue plus grande qu'il ne faut ;
- b) Qu'une utilisation intelligente des cartes de contrôle exige la connaissance du procédé de fabrication ;
- c) Elle montre aussi comment une série de 7 points consécutifs — ou davantage — situés au-dessus ou au-dessous de la ligne centrale, indique une variation de caractère aléatoire ;

VII. — Cartes établies à partir de données réelles. Il est particulièrement intéressant d'utiliser des données provenant de plusieurs usines et fournies de préférence par des élèves suivant les cours ; plus ces données seront variées, mieux cela vaudra, car elles donneront aux élèves une aisance qui les aidera à « se mettre dans le bain » (will help them to get abroad the train).

VIII. — Distinction entre le contrôle de fabrication et celui de l'assemblage des pièces fabriquées

IX. — Contrôle d'acceptation sur échantillon et utilisation de tables (2) : utilisation des tables de Dodge et Romig (Wiley 1944).

X. — Exercices, exemples et conférences tirés :

- a) des brochures « American Standards » (citées plus haut) ;
- b) de l'ouvrage « Statistical Quality Control » d'Eugène L. Grant (Mc Graw Hill, 1946).

Pendant les huit jours, comme dans tout enseignement, le profit le plus net proviendra des remarques et des petites conférences faites par les professeurs, qui doivent avoir une vue large et de l'expérience. Il est à conseiller de faire appel à plusieurs professeurs. En premier lieu, il est matériellement difficile à une seule personne d'assurer tout l'enseignement, 6 heures par jour pendant 8 jours. Ensuite, un seul professeur a du mal, quelles que soient ses qualités, à retenir l'attention des élèves. Enfin, la variété des points de vue de plusieurs professeurs est profitable aux élèves.

Rien ne remplace un bon enseignement. Ce dernier ne doit pas être un étalage de connaissances supérieures de la part des professeurs, mais bien un échange de théories et de principes, au niveau et selon la diversité qui semblent le mieux convenir aux élèves de chaque groupe particulier.

(1) Ces techniques et les suivantes furent d'abord utilisées par le Professeur Holbrook Working à l'Université de Stanford en 1942.

(2) Voir Deming « Some theory of sampling Ch. 8. John Wiley and Sons 1952.

BASE DES CONNAISSANCES REQUISES POUR CE GROUPE.

Aucun mot ne saurait mieux caractériser la base des connaissances requises pour l'étude des principes fondamentaux et des quelques techniques simples préliminaires au contrôle statistique de qualité que celui-ci, tout simple : **rien**. Il faut surtout exiger un esprit ouvert et de l'ardeur à l'étude. Cependant, les élèves semblent mieux réussir s'ils ont acquis quelque expérience dans une usine, s'ils ont fait des études correctes, s'ils ont un certain goût pour les chiffres et pour les raisonnements basés sur des données numériques. Par ailleurs, ceux qui ont suivi des cours de statistique élémentaire sont nettement avantagés.

QUAND LES TECHNICIENS AINSI FORMÉS COMMENCENT-ILS A OBTENIR DES RÉSULTATS ?

Il serait téméraire de donner une réponse pour telle ou telle industrie ou tel ou tel groupe des techniciens envisagés ci-dessus. Il est possible cependant de tirer quelques enseignements des expériences passées. Si les dirigeants n'entendent rien aux méthodes statistiques et ne s'intéressent pas à une organisation convenable d'un service statistique, c'est seulement au prix d'une persévérance acharnée et avec beaucoup de chance que le statisticien pourra espérer obtenir quelques résultats.

C'était l'état de choses propre à la plus grande partie de l'industrie des Etats-Unis en 1942. Les techniciens statisticiens ont dû livrer une longue lutte. Quelques cas de réussite dans la découverte de causes déterminables de perturbation, en dépit de l'opposition rencontrée, eurent raison ça et là de la résistance. Progressivement, au début, puis rapidement, l'opposition cessa. Maintenant que chaque usine des Etats-Unis et du Canada tire parti peu ou prou, sous une forme ou sous une autre, des techniques statistiques, on se rend difficilement compte ici de la manière rapide dont le développement des techniques statistiques s'est fait au cours des dernières années.