

# REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

SÉBASTIAN-B. LITTAUER

## Les applications du contrôle statistique à l'industrie électrique

*Revue de statistique appliquée*, tome 2, n° 4 (1954), p. 113-115

[http://www.numdam.org/item?id=RSA\\_1954\\_\\_2\\_4\\_113\\_0](http://www.numdam.org/item?id=RSA_1954__2_4_113_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/>

# LES APPLICATIONS DU CONTROLE STATISTIQUE A L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE

par

**Sébastien-B. LITTAUER**

*Professeur à Columbia University (New-York)*

Les principes du contrôle statistique de la qualité sont tout à fait généraux et peuvent s'appliquer à n'importe quelle production industrielle. Il est néanmoins exact que des procédés de fabrication différents exigent de mettre l'accent sur des techniques différentes, bien qu'à un moment ou à un autre toutes les techniques puissent être utilisées dans n'importe quelle industrie particulière. Toutefois, le problème principal qui se pose pour une utilisation efficace du contrôle statistique de la qualité est plutôt celui du choix de mesures pertinentes et économiques que celui du choix entre diverses techniques statistiques.

Par exemple, dans la fabrication des tubes à vide, de nombreux éléments tels que plaques, grilles, cathodes, doivent en premier lieu satisfaire aux spécifications statiques du projet; ces éléments, et d'autres, sont ensuite assemblés, et le montage ainsi constitué doit également satisfaire aux spécifications statiques du projet; le montage en question est finalement soudé à l'intérieur d'une ampoule de verre, où l'on fait le vide, et qui subit une formation électrique soumise évidemment à un contrôle précis. On ne sait pas encore, à ce stade, si le tube à vide donne satisfaction, et on ne peut l'accepter qu'après épreuve de son fonctionnement dans un circuit électrique. Le produit fini doit ici satisfaire à des spécifications de fonctionnement, qui figurent dans les spécifications du projet. Il peut néanmoins être avantageux, du point de vue de l'efficacité du contrôle statistique, de séparer les spécifications statiques et les spécifications de fonctionnement.

Il est peut-être bon de remarquer ici qu'il existe encore d'autres spécifications, à savoir les prescriptions pour réception, que toute fabrication bien comprise doit utiliser. Les spécifications du projet sont l'objectif de l'ingénieur d'études; les prescriptions pour réception définissent les épreuves sur lesquelles on juge si un produit est ou non conforme aux spécifications du projet. Tous ces concepts ont été analysés à fond par Shewart. L'existence des spécifications de fonctionnement est un fait avéré, mais on ne leur a pas encore accordé une attention particulière.

A beaucoup d'égards, les difficultés qui se présentent dans l'industrie électrique diffèrent de celles que l'on rencontre dans les industries mécaniques par exemple, en ce qu'un fonctionnement électrique satisfaisant peut manquer de stabilité même lorsque les spécifications statiques du projet sont parfaitement remplies. L'origine de cette difficulté peut être attribuée aux problèmes de mesures, qui semblent particulièrement épineux. L'industrie électrique n'en utilise pas moins, dans une large mesure, une combinaison de méthodes de fabrication utilisées dans diverses industries, et une étude systématique de ses problèmes propres apporte des simplifications et des économies, comme nous allons le montrer par un exemple. Dans le cas en question, un tube à vide d'un type courant était fabriqué en vue de répondre à un ensemble de spécifications « serrées ». Le pourcentage de tubes terminés ne satisfaisant pas à l'épreuve finale de fonctionnement était très élevé. (En vue d'éviter toute possibilité d'identification de l'origine de ce problème, nous nous abstenons de donner des chiffres et des détails techniques précis.)

On enregistra les défauts, les pourcentages défectueux et tous autres renseignements du même ordre, et l'on essaya en fait de procéder à un certain contrôle de la fabrication. On n'appliqua cependant aucune méthode systématique de contrôle statistique, et l'on n'entreprit aucune analyse statistique approfondie. On se préoccupait fortement des défauts de fonctionnement, et l'on ouvrait chaque jour un certain nombre de tubes en vue de rechercher les causes de ces défauts. Néanmoins, les ingénieurs eurent beau essayer de retrouver l'origine du fonctionnement défectueux dans des défauts aux premiers stades de la fabrication, on ne fit aucun progrès sensible en ce qui concerne la diminution du nombre des défauts. Et la raison de ce piétinement était en fait l'absence d'une méthode systématique de recherche.

Le premier stade de l'étude systématique du problème commença par l'examen des diagrammes de la chaîne de fabrication, se poursuivit par l'examen des opérations d'inspection et se termina par une division très simple du problème en trois catégories :

- 1) Opérations mécaniques et opérations d'assemblage;
- 2) Travail du verre et opérations de soudure;
- 3) Toutes les opérations de formation électrique.

Les défauts furent de même répartis en défauts mécaniques, de verre et électriques. Cette simple analyse préliminaire clarifia la situation. On s'aperçut immédiatement que l'on ne possédait pas de chiffres permettant d'analyser les défauts électriques, et qu'il n'existait pas de mesures adéquates de la qualité des éléments.

Le second stade de l'étude était dès lors clairement indiqué, à savoir : un examen de chacune des catégories séparément, en vue de rechercher les causes des défauts; une analyse par carte de contrôle de l'état du contrôle dans la fabrication des éléments, et une analyse statistique assez serrée des deux caractéristiques électriques sources d'ennuis, courant plaque et émission.

Alors que l'on connaissait le pourcentage des tubes dont le courant plaque était défectueux, on ne savait pas si la dispersion du courant plaque entre tubes ou entre séries était stable. Il n'existait en fait aucun enregistrement du courant plaque réel. On décida alors de prélever de temps en temps des échantillons de 50 observations chacun et d'étudier leur histogramme. Les résultats immédiats furent extrêmement révélateurs. Les étendues d'une dizaine d'échantillons, chacun d'effectif 50, étaient très voisines les unes des autres, les histogrammes bien symétriques, mais les moyennes variaient considérablement d'un échantillon à l'autre.

L'intervalle de tolérance pour le courant plaque était de 20 milliampères environ, alors que la dispersion naturelle était de 22 milliampères. Il en résultait qu'un pourcentage de tubes présentait un courant plaque défectueux lorsque le courant plaque moyen n'était pas à sa valeur nominale. Par contre, lorsque la fabrication était bien centrée, moins de 3 % des courants plaque observés étaient hors tolérances, ce qui était acceptable du point de vue économique. Ce résultat était en liaison étroite avec l'absence de contrôle dans la fabrication des éléments, et montrait la nécessité d'une action énergique sur ce point.

Le comportement de l'émission était analogue à celui du courant plaque. Ici, la spécification était unilatérale, à savoir une limite inférieure de tolérance. Les distributions des observations pour les divers échantillons étaient également raisonnablement semblables les unes aux autres, avec occasionnellement des valeurs excentriques, et une légère dissymétrie du côté des basses valeurs. Mais la moyenne se déplaçait considérablement, et variait visiblement suivant les lots de revêtements cathodiques, et suivant les bancs de mise sous vide. Ce résultat confirmait le point de vue soutenu de longue date par les ingénieurs d'études, à savoir que la couche cathodique n'était pas étalée sous contrôle, et que la mise sous vide et le stade de formation n'étaient pas conformes d'une série à l'autre. Le comportement de l'émission montrait qu'il fallait réviser la donnée des spécifications. En effet, la donnée de la seule tolérance inférieure était une directive insuffisante pour les ingénieurs de fabrication. La dispersion de l'émission étant de 120 unités, il était en conséquence nécessaire de fixer la valeur moyenne à plus de 60 unités au-dessus de la tolérance inférieure pour réduire au maximum les défectuosités dues à l'émission.

Finalement, on décida d'effectuer une étude technique complète en se plaçant dans les conditions de la fabrication, avec comme objectif la mise sur pied du contrôle statistique dans chacune des principales catégories, et à chaque stade important de la fabrication. On s'aperçut alors que si les spécifications statiques étaient strictement observées, la fabrication devrait s'arrêter par suite du manque de pièces détachées. Il était dès lors clair qu'on ne pourrait ni faire les essais de fonctionnement du tube terminé, ni déterminer avec précision les causes de fonctionnement défectueux, tant que les éléments ne seraient pas fabriqués sous contrôle statistique. Le prix de revient des éléments était très faible, mais l'excessive dispersion tant de ces éléments que de leurs assemblages avait pour conséquence des défauts coûteux au stade du produit fini.

Un nouvel examen de la préparation de la cathode montra là aussi l'absence de tout contrôle statistique élémentaire. Les cotes de la cathode devaient être conformes aux spécifications, et la couche cathodique devait être homogène, et uniformément répartie. Pour mener à bien ce travail, il fallait résoudre quelques problèmes délicats de mesures, mais on ne rencontrait aucune difficulté de principe dès lors qu'existait la volonté d'appliquer les méthodes de contrôle statistique.

Quand on eut mené à bien l'étude statistique dans les différents secteurs, à savoir pour la fabrication des éléments, pour l'assemblage, pour la soudure et pour la mise sous vide, on s'aperçut que les techniques statistiques mises en œuvre pour le contrôle n'étaient pas tellement différentes de celles que l'on utilisait dans les industries mécaniques.

En outre, en travaillant comme il a été indiqué ci-dessus, on réduisit de moitié, en deux mois de temps, le pourcentage défectueux, et on en apprit beaucoup sur les causes de fonctionnement défectueux imputables aux opérations de fabrication précédant la soudure.

Il restait encore à étudier le stade de formation, pendant lequel le tube est soumis aux « épreuves de luminescence », au « bombardement » et au « conditionnement », termes familiers aux travailleurs de cette industrie.

On avait l'impression qu'il était possible de réduire encore le pourcentage défectueux pour le courant plaque par un choix judicieux des courants et des potentiels utilisés pendant le stade de formation. On connaissait le champ utile pour les trois phases du stade de formation, et l'on décida d'expérimenter avec deux variantes pour chacune des phases — de sorte qu'un plan factoriel à trois dimensions et deux variantes était tout à fait indiqué. On l'appliqua tout d'abord à des tubes sélectionnés, mais l'on s'aperçut que lorsqu'on utilisait les résultats tirés de cette expérience dans les conditions de la fabrication, on n'obtenait pas les effets prévus. On refit alors la même expérience avec des tubes provenant d'une série pour laquelle les premiers stades de la fabrication avaient été contrôlés d'une manière aussi bonne que possible et la mise en application des résultats de cette étude permit d'accroître encore le pourcentage de tubes de fonctionnement électrique satisfaisant.

Au bout de trois mois d'études, la proportion de tubes défectueux fut réduite au tiers de ce qu'elle était auparavant, et les économies réalisées au cours des trois mois suivants couvrirent et au-delà le prix des études effectuées.