

F. BASTENAIRE

**Quelques exemples concrets d'application des méthodes statistiques au contrôle des fabrications et à la recherche aux États-Unis**

*Revue de statistique appliquée*, tome 4, n° 3 (1956), p. 67-99

[http://www.numdam.org/item?id=RSA\\_1956\\_\\_4\\_3\\_67\\_0](http://www.numdam.org/item?id=RSA_1956__4_3_67_0)

© Société française de statistique, 1956, 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/>

# QUELQUES EXEMPLES CONCRETS D'APPLICATION DES MÉTHODES STATISTIQUES AU CONTRÔLE DES FABRICATIONS ET A LA RECHERCHE AUX ÉTATS-UNIS

par

**F. BASTENAIRE**

*Ingénieur à l'Institut de Recherches de la Sidérurgie*

*En 1953, l'Association Française pour l'Accroissement de la Productivité a envoyé aux Etats-Unis une équipe de techniciens dont la tâche a été d'étudier les méthodes et surtout les réalisations américaines en matière de contrôle statistique des fabrications.*

*Elle fut intentionnellement composée d'ingénieurs venant de secteurs industriels variés, les applications des méthodes statistiques n'étant limitées par nature à aucune industrie déterminée; néanmoins, il fallut la partager en trois groupes : mécanique, chimie, textile, certains membres ayant parfois des préoccupations particulières. Cette division sommaire, nullement rigide, ne porta pas atteinte au caractère interprofessionnel de la mission et permit aux missionnaires de s'appesantir sur les secteurs industriels auxquels ils s'intéressaient le plus.*

*Nous présentons ici un compte rendu de visites effectuées dans des usines par le groupe mécanique qui se composait de : MM. DELAPORTE, Sous-Directeur adjoint de la Compagnie l'Urbaine et la Seine; FERIGNAC, Professeur et Ingénieur-conseil; POMMIER, Directeur du groupe Moteurs et Boîtes de Vitesse à la Régie Nationale Renault; PRULIERES, Ingénieur-conseil; et de l'auteur.*

*Nous devons à nos collègues de mission plusieurs renseignements et de nombreux avis.*

*Un compte rendu de visites effectuées par le groupe Chimie fera suite à cet exposé et paraîtra dans un prochain numéro de la Revue de Statistique Appliquée. Il a été rédigé par M. LEGROS, Ingénieur attaché à la Direction de la Société de Saint-Gobain, qui nous fait honneur en nous priant de l'annoncer ici.*

*Nous devons signaler qu'aucune visite d'usine sidérurgique n'était prévue au programme officiel. Nous devons à la Direction de l'Institut de Recherches de la Sidérurgie, que nous tenons à remercier, d'avoir établi les contacts nécessaires, et les observations que nous rapportons, ont donc été relevés tant à titre professionnel que de missionnaire de l'AFAP.*

*Nous adressons également nos remerciements aux organisateurs de cette mission, à l'AFAP, et à tous ceux qui, aux Etats-Unis, nous ont aimablement accueillis ou aidés.*

## VISITE AUX LABORATOIRES DE L'UNITED STATES STEEL COMPANY

L'United States Steel Company occupe par ordre d'importance le cinquième rang parmi l'ensemble des entreprises américaines, et le premier parmi les producteurs d'acier. Son laboratoire de recherche technique est situé à Pittsburgh, au centre d'une région très industrialisée dans laquelle se trouvent plusieurs des usines de l'U.S. Steel Cy.

Il existe aussi un laboratoire moins important, orienté vers des recherches scientifiques, à Kearny près de New York et les différentes usines de la société possèdent en outre chacune leur propre laboratoire pour l'exécution des nombreux contrôles nécessaires dans une usine sidérurgique. Elles y poursuivent parfois des recherches particulières.

Le laboratoire de Pittsburgh occupait en 1953 trois cents personnes environ et était installé dans un local de construction sommaire. Il a été depuis lors déplacé, et installé dans des bâtiments modernes conçus spécialement.

Il y a au laboratoire de Pittsburgh plusieurs ingénieurs connaissant les méthodes statistiques, mais, il n'y avait en 1953 aucun spécialiste. Pour les travaux exigeant la collaboration d'un statisticien ou l'utilisation des machines mécanographiques, on s'adressait au service statistique de la société, installé également à Pittsburgh dans quelques-uns des bureaux du building de 40 étages, récemment terminé, où se trouvent centralisés les services administratifs.

## QUELQUES EXEMPLES DE RECHERCHES

On nous a cité de nombreux domaines de recherche dans lesquels les méthodes statistiques ont été appliquées : études sur la corrosion, l'usinabilité, la résistance des aciers, étude des rendements thermiques de fours Martin.

### Usinabilité :

On a depuis longtemps remarqué qu'indépendamment de leurs caractéristiques mécaniques les aciers possèdent des aptitudes variées à l'usinage, mais lorsqu'on se propose de mesurer cette aptitude on éprouve d'abord des difficultés à définir la méthode de mesure parce qu'aucune ne s'impose a priori plus qu'une autre, et parce que cette mesure elle-même est toujours sujette à des erreurs accidentelles importantes.

A caractéristiques mécaniques égales l'usinabilité est une propriété importante d'un matériau. Les durées d'usinage, et le rythme d'usure des outils, donc une part importante du prix de revient d'une pièce mécanique, en dépendent.

On a cherché à la mesurer par diverses méthodes : par l'usure d'outils de référence, par l'énergie absorbée par la coupe, par la chaleur dégagée etc ...

En collaboration avec le Battelle Memorial Institute, l'U.S. Steel s'est orientée vers une méthode empirique, d'application facile, imitant les conditions de l'usinage.

L'acier à étudier, fourni sous forme de rond, est usiné sur un tour dont le chariot porte-outil est soumis à une force parallèle au banc et d'intensité constante. Ce résultat est obtenu simplement en tirant sur le chariot avec un contre-poids au moyen d'un câble souple passant sur deux poulies de renvoi. La profondeur de passe est évidemment maintenue constante et dans ces conditions l'avance de l'outil est fonction de la matière usinée.

Un acier déterminé a été choisi comme étalon et son indice d'usinabilité fixé à 100 par définition. Un autre acier étant soumis au même test, on détermine son indice par la formule :

$$100 \times \frac{\text{Avance pour l'acier étudié}}{\text{Avance pour l'acier étalon}}$$

La mesure exige certaines précautions : le chariot est monté sur roulements à billes et l'on doit éviter toutes chutes de copeaux sur le banc. L'affûtage des outils doit être très soigné.

Les résultats d'essais présentent une dispersion mais celle-ci n'est pas excessive : d'après 285 essais sur l'acier étalon échelonnés sur une durée de trois mois, le coefficient de variation des mesures a été de 4,14 %.

La carte de contrôle établie avec ces données a permis de vérifier la reproductibilité des essais au cours du temps.

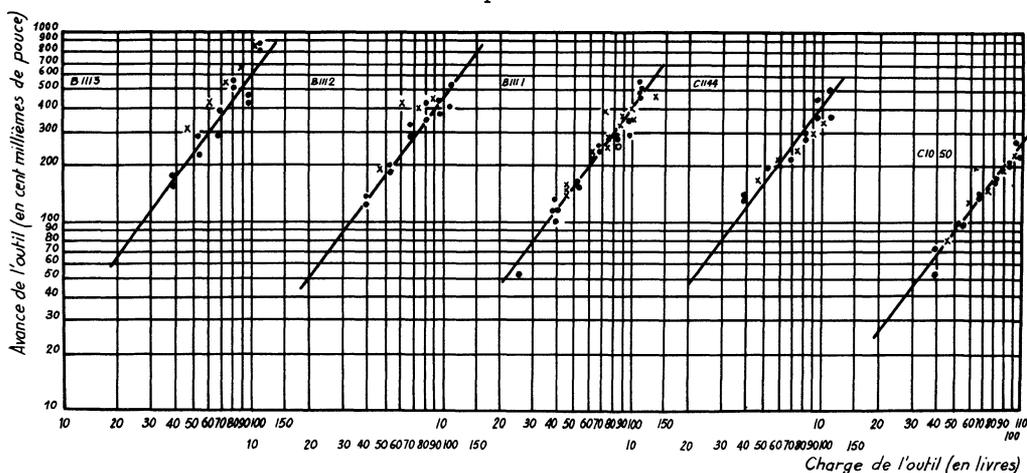


Fig. 1 - Variation de l'avance de l'outil en fonction de la charge. En coordonnées logarithmiques cette variation est linéaire et la pente de la droite pratiquement indépendante de l'acier étudié.

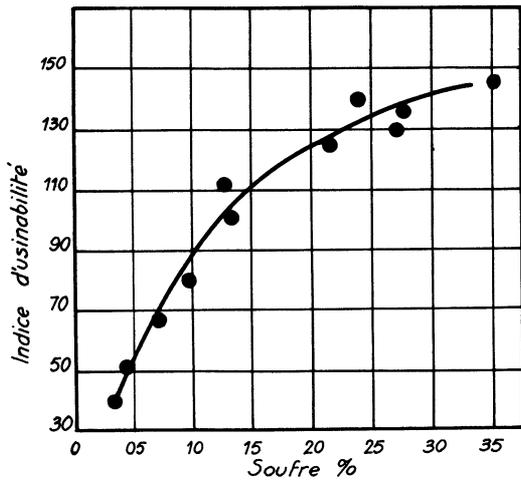


Fig. 2 - Effet du soufre sur l'usinabilité d'aciers élaborés dans un four à induction de laboratoire.

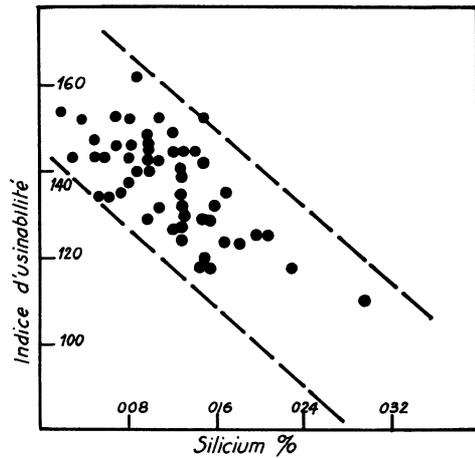


Fig. 3 - Effet du silicium sur l'indice d'usinabilité

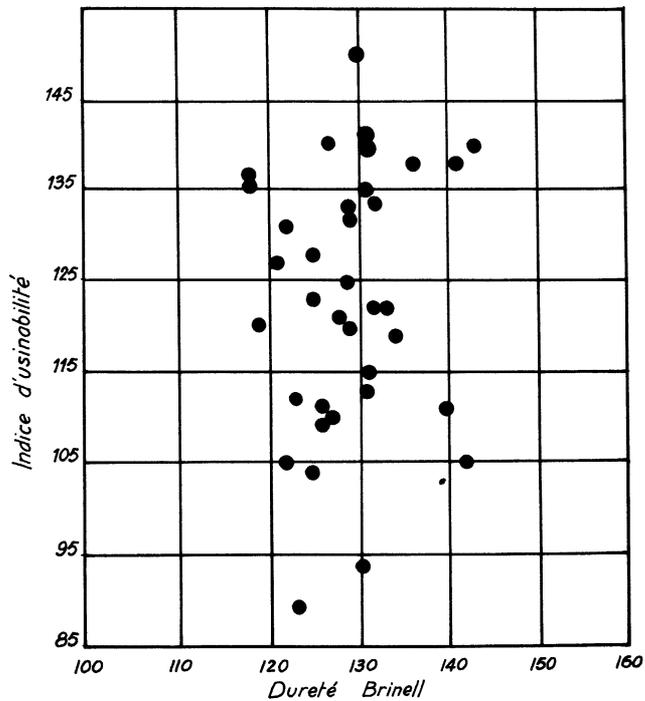


Fig. 4 - Diagramme de corrélation de la dureté Brinell et de l'indice d'usinabilité.

Il a fallu également étudier l'influence de la vitesse de rotation du tour et de la charge appliquée sur l'outil.

La variation de la vitesse de rotation ne semble pas modifier le classement des aciers et l'avance de l'outil est une puissance constante de la charge. Quel que soit l'acier, la relation entre l'avance et la charge est en effet représentée par une droite d'inclinaison constante dans un diagramme doublement logarithmique (fig. 1).

Certaines caractéristiques de l'acier sont en corrélation avec l'usinabilité : les teneurs en soufre, et silicium principalement (fig. 2 et 3). L'influence du carbone est assez faible, et l'usinabilité est pratiquement indépendante de la dureté Brinell (fig. 4).

#### Résilience :

Les essais de choc ont connu ces dernières années un regain de faveur depuis que l'on s'est aperçu d'une corrélation entre la température de transition de la résilience et la tenue en service de certaines constructions.

Alors que dans certains types d'accidents, il avait été impossible de déceler des différences entre les caractéristiques mécaniques usuelles des tôles avariées et celles des tôles saines, on a pu constater, par des études statistiques, des différences notables des températures de transition.

Les accidents qui ont retenu l'attention des métallurgistes ont consisté en de brusques ruptures, sans déformation ou presque, à des contraintes bien inférieures aux contraintes normales d'utilisation. Elles sont survenues pour la plupart par temps très froid et toujours en hiver. Enfin, elles n'ont été qu'exceptionnelles sur les constructions rivées mais au contraire fréquentes sur les constructions soudées, en raison de l'absence de discontinuité susceptible d'arrêter la propagation de la fissure.

Les ruptures ont été particulièrement fréquentes sur les "liberty ships" et l'on comprend que de très gros efforts aient été accomplis pour les supprimer.

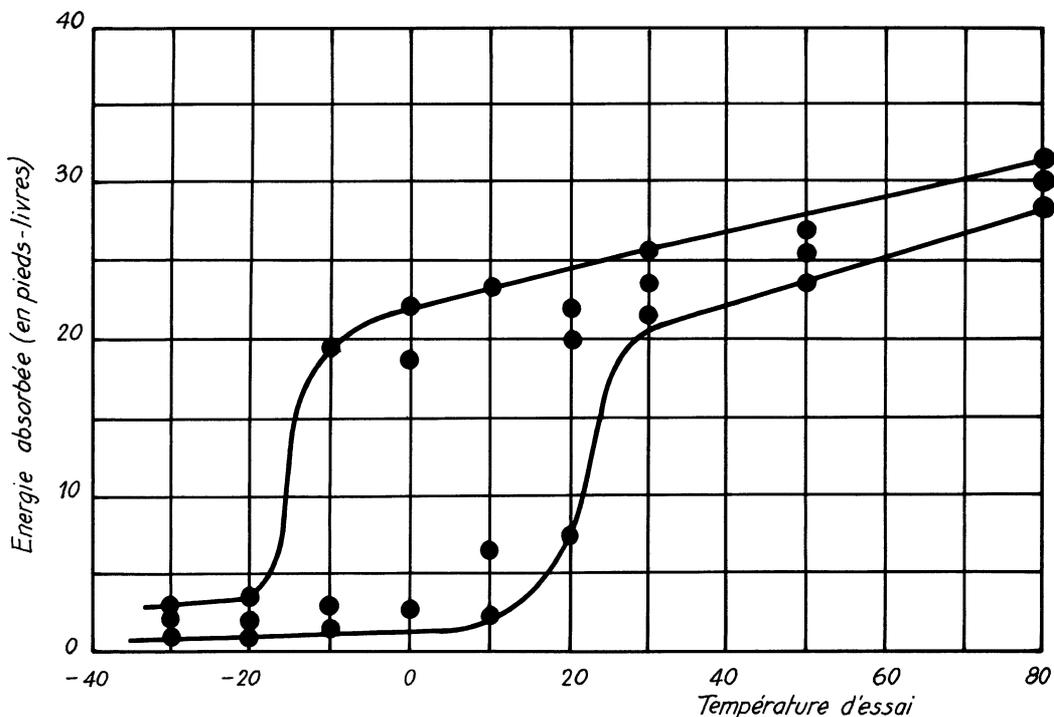


Fig. 5

L'United States Steel Cy a procédé, seule ou en collaboration avec d'autres organismes, à l'étude de ce problème. Le service Statistique y a beaucoup participé et cette entreprise a même fait appel à la collaboration d'un ingénieur Conseil de New York, spécialisé dans les méthodes statistiques appliquées à la chimie.

On sait que la résistance au choc, mesurée par l'absorption d'énergie due à une rupture brusque croît, pour les aciers, avec la température. La croissance d'abord lente aux basses températures devient très rapide à une température dite de transition, pour ralentir ensuite.

En fait, si la courbe moyenne possède bien cette forme générale, les observations individuelles sont très dispersées, particulièrement à la température de transition, ce qui a pour effet de rendre la mesure de cette température très peu précise.

Les études statistiques effectuées à l'U.S. Steel ont permis de montrer que la distribution statistique des valeurs de la résilience est bimodale au voisinage de la température de transition (fig. 5), et que les proportions représentées par ses deux parties sont des fonctions de la température qui peuvent s'exprimer au moyen de l'intégrale de la courbe de Laplace-Gauss (1) (fig. 6). Cette représen-

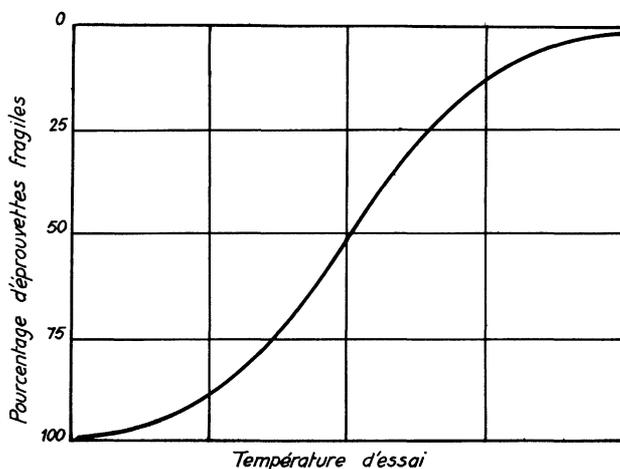


Fig: 6

tation statistique permet une définition précise de la température de transition par la moyenne de la courbe de Laplace-Gauss. L'estimation de cette moyenne et de la dispersion peut se faire par les méthodes connues pour estimer les paramètres d'une courbe sigmoïde (2).

## ÉTUDES INDUSTRIELLES

L'United States Steel Cy possède plusieurs usines et il lui est facile d'effectuer des comparaisons basées sur de véritables enquêtes. Le service statistique de Pittsburgh possède depuis peu un atelier de mécanographie équipé d'une calculatrice électronique dont l'usage est réservé aux études techniques.

Comme exemple de telles études on peut citer la comparaison des marches de 10 fours Martin.

L'étude de 10 coulées (10 sur chacun des 10 fours) a montré que la consommation de calories par heure de fonctionnement et par tonne d'acier produit, varie considérablement d'un four à un autre.

Les fours ayant été choisis aussi identiques que possible, la recherche des causes de disparité peut conduire à des observations dont les répercussions d'ordre économique soient très importantes.

(1) La même constatation a été faite en France tout à fait indépendamment. Cf. C.R. Acad. Sciences t. 237 p. 59-1953 - et Revue de Statistique Appliquée

(2) Cf. Par exemple D.J. Finney. Probit Analysis. Cambridge University Press.

## BETHLEEM STEEL COMPANY

Une visite très rapide des usines de la Bethlehem Steel Co nous a été accordée. Elle ne nous a permis que de nous faire une idée d'ensemble de ce vaste établissement sans examiner de question particulière.

Longue de 8 kilomètres, occupant 20 000 personnes, l'usine couvre une superficie de 1500 acres. La cokerie compte 296 fours à coke. L'aciérie est équipée de fours Martin dont la capacité varie entre 130 et 230 tonnes.

Le dernier haut fourneau achevé en mars 1953 a été aussitôt mis en marche. Sa construction avait été commencée en octobre 1952.

### Applications des Méthodes Statistiques

Le département "Métallurgie" est divisé en cinq sections dans l'une desquelles se trouve un statisticien (Section expérimentation).

On notera cette position éloignée de la Direction. Les utilisations des méthodes classiques de contrôle statistique : (cartes de contrôle, plans d'échantillonnage) n'ont pas été très nombreuses. On nous a seulement cité l'exemple de la mise sous contrôle de la teneur en alumine des briques réfractaires.

On cherche à réaliser l'exploitation des données d'usine par l'analyse de corrélation. Un atelier mécanographique destiné à ce genre de travail était en cours d'achèvement lors de notre visite.

Une étude a été effectuée en collaboration avec l'U.S. Steel Cy sur la précision des moutons pendules destinés aux essais de choc. Elle a montré que les indications de ces appareils diffèrent souvent significativement les unes des autres.

## WISCONSIN STEEL COMPANY

La fondation de l'International Harvester par la fusion de cinq grandes entreprises fabriquant du matériel agricole (dont Mac Cormick et Deering) remonte à 1902. Elle possède de nombreuses usines à l'étranger : en France, en Angleterre et en Allemagne.

Une entreprise de cette importance est évidemment grosse consommatrice d'acier, aussi possède-t-elle sur les bords du Lac Michigan une usine qui lui fournit les trois quarts de sa consommation la "Wisconsin Steel Co".

L'usine est ravitaillée en minerai par cargos en été, et doit alors constituer un stock suffisant pour faire face à ses besoins en hiver (de novembre à avril) quand les lacs sont gelés.

Elle possède une cokerie, trois haut-fourneaux, onze fours Martin, dont neuf de 100 tonnes, et une importante section de laminoirs. Elle couvre une superficie de 97 acres et emploie 5.000 personnes.

### Applications des Méthodes Statistiques

Le chef du laboratoire d'essais et d'analyses, lui-même au courant des méthodes statistiques, est assisté d'un adjoint sortant de l'université (Master's degree in Mathematics). A noter que dans ce laboratoire, on a supprimé la plupart des analyses par voie chimique et que l'on se sert du spectrographe automatique. Cet appareil, installé dans une salle maintenue à température et humidité constantes, fournit directement les teneurs en manganèse, nickel, chrome, cuivre, etc... L'expédition de l'échantillon et le retour du résultat sont assurés par tube pneumatique, le tout ne demandant que quelques minutes.

Les cartes de contrôle seraient utilisées au laminage, et à la fabrication du rond en particulier, mais d'une manière générale l'application de la statistique n'en est qu'à son début et l'on s'oriente ici aussi vers l'analyse de corrélation.

## WESTERN ELECTRIC

La Western Electric est l'une des plus importantes entreprises appartenant au "Bell System", mais tandis que les "Bell Telephone Companies" sont chargées de l'installation des réseaux, des postes téléphoniques et de l'exploitation, la Western Electric est le principal fournisseur d'appareillage téléphonique du Bell System. Le téléphone, qui n'est pas aux Etats-Unis un monopole d'Etat, est entièrement aux mains de l'industrie privée. Pratiquement, le "Bell System" est la plus importante entreprise d'exploitation, mais elle a toutefois quelques concurrents qui achètent d'ailleurs une partie de leur matériel à la Western Electric.

Les méthodes statistiques de contrôle de la qualité sont en usage depuis longtemps chez Bell, qui est la première entreprise en Amérique à les avoir appliquées. Le Dr SHEWHART les introduisit aux environs de 1925, et écrivit en 1931, le premier ouvrage traitant du Contrôle Statistique : "Economic Control of Quality of Manufactured Product". DODGE et ROMIG poursuivirent la tâche entreprise et sont connus par leur méthode de double échantillonnage.

Les méthodes actuellement utilisées à la Western Electric sont celles qui ont été mises au point par cette équipe de pionniers, ce sont : échantillonnage simple ou double, carte de contrôle, contrôle de la qualité d'ensemble par la méthode des "Demerits" (indices de qualité).

Le problème de la qualité et du contrôle a une très grande importance dans la fabrication des équipements très complexes (comme le matériel téléphonique), car la probabilité d'un mauvais fonctionnement est d'autant plus forte que le nombre des éléments intervenant dans la construction des appareils est plus élevé. Le seul moyen d'abaisser cette probabilité pour les ensembles terminés est d'obtenir une très bonne qualité et une très grande uniformité des éléments intervenant dans ces ensembles.

Ce problème se pose aussi dans d'autres secteurs que celui du matériel téléphonique, et l'Armée Américaine (Army Ordnance) a dû y faire face dans la construction des fusées téléguidées (50% des V2 Allemands ne parvenaient pas à leur objectif en raison d'imperfections diverses). De même, lorsque la première machine à calculer ENIAC fut mise à la disposition des "Ballistic Research Laboratories", cette machine comportant 30.000 tubes radio et des milliers d'autres éléments ne pouvait fonctionner correctement que dans cinq cas sur cent.

Nous n'insisterons pas sur les méthodes classiques du contrôle statistique dont peu d'exemples nous ont été montrés à l'usine de la Western Electric que nous avons visitée (à Kearny, près de New York). Il nous paraît utile de nous étendre, par contre, sur la méthode des "demerits".

### LES FONCTIONS DU CONTROLE DE QUALITÉ

Le maintien de la qualité d'une fabrication suppose :

- 1). Un contrôle : Ce contrôle peut selon les cas être effectué à 100%, ou par échantillonnage des lots. Il a lieu en fin de fabrication.
- 2). Un système de prévention : c'est le contrôle en cours de fabrication dont l'action doit être aussi rapide que possible, et dont le rôle est de maintenir une bonne fabrication afin d'éviter la production en pure perte d'un pourcentage trop élevé d'articles défectueux.

C'est un contrôle statistique par échantillonnage dont l'instrument le plus connu est la carte de contrôle.

- 3). Un système d'enregistrement des résultats : La Direction doit être informée sous une forme aussi condensée que possible des résultats obtenus et de la qualité d'ensemble de la fabrication. Les statistiques des rebuts constituent une information utile pour la direction technique, mais c'est la qualité de ce

qui est vendu à la clientèle qui importe avant tout, et le seul moyen de s'en faire une idée est de pratiquer un contrôle par échantillonnage en magasin. Pratiquement, il est bon de condenser les résultats de cette opération sous forme d'un indice facile à suivre.

## **INDICES DE QUALITÉ**

Les défauts susceptibles d'affecter un matériel complexe sont si variés que si l'on pratiquait des contrôles séparés de chacun d'eux, on serait rapidement submergé par l'abondance des données qui seraient, de plus, peu précises puisque ne portant chacune que sur un petit nombre de cas.

L'un des buts de la statistique étant de condenser le plus possible des données trop nombreuses, il est naturel de chercher à former un indice représentant autant que faire se peut, la qualité d'ensemble de la production répandue sur le marché.

Très souvent, dans les entreprises américaines, et à la Western Electric, en particulier, on contrôle la qualité d'ensemble d'après le nombre de "demerits" par unité pour chaque type de produit.

On appelle "demerit" une unité servant à mesurer la gravité d'un défaut sur une pièce. A chaque défaut possible correspond un certain nombre de demerits, c'est-à-dire un coefficient de pondération. En additionnant tous les demerits relatifs à tous les défauts trouvés sur une pièce, on obtient le nombre de demerits pour cette pièce. On peut alors définir la qualité d'un échantillon de n pièces par le nombre moyen de demerits par pièce dans cet échantillon.

Il y a naturellement parallélisme entre le nombre de demerits attribué à un défaut et la perte économique qui lui correspond, mais le plus souvent, et pour simplifier, les défauts sont classés en catégories, au nombre de trois ou quatre seulement, de telle façon que tous les défauts d'une catégorie aient même nombre de demerits, c'est-à-dire même coefficient de pondération. A la Western Electric, il y a quatre catégories : A : Très grave (100). B : Grave (50). C : Défaut léger (10). D : Défaut d'aspect ou de fini (1).

Il faut noter qu'une liste complète des défauts possibles est établie pour chaque produit, sur laquelle on indique en outre la catégorie à laquelle il est décidé que le défaut appartient (A, B, C, D); il n'y a donc pas d'ambiguïté possible pour les contrôleurs (tableau I).

A titre d'exemple, nous indiquons également les définitions générales plus précises utilisées par la marine Américaine (Bureau of Ordnance) pour les différentes catégories de défauts.

### **Classe 1 - Défauts critiques**

Tout défaut pour lequel la raison ou l'expérience indiquent que par lui-même ou par ses relations avec d'autres éléments, l'objet peut provoquer une défaillance mettant en danger la sécurité du personnel qui l'utilise. Pour des produits finis tels que les avions, navires, torpilles, etc... tout défaut qui empêche l'accomplissement de la mission tactique à laquelle il est destiné.

### **Classe 2 - Majeurs**

Tout défaut n'appartenant pas à la première catégorie et qui par lui-même ou en raison des relations de l'objet avec d'autres, peut provoquer une diminution sensible de la durée de vie normale ou interférer avec le maintien de la flotte.

### **Classe 3 - Mineurs A**

Tout défaut n'appartenant ni à la première ni à la seconde catégorie, mais qui peut provoquer une réduction sensible de l'efficacité du matériel.

## Classe 4 - Mineurs B

Tout défaut se traduisant par une divergence par rapport aux normes établies mais n'entraînant pas une diminution appréciable de l'efficacité ou de la durée de vie normale. (Cette catégorie contient en particulier les défauts de fini ou d'aspect).

Les définitions générales sont traduites pour chaque type de matériel en une définition précise mise au point par le service de "Quality Control".

Le nombre moyen de demerits par article dans un échantillon donné est facile à calculer : il est égal à la somme totale des demerits pour tous les articles de l'échantillon, divisée par l'effectif de l'échantillon.

Si, par exemple, on a trouvé dans un échantillon de 100 pièces un défaut de la classe A coté 100, deux défauts B cotés 50, cinq défauts C cotés 10, et trois défauts D cotés 1, cela fait pour l'échantillon un total de 253 demerits, soit 2,53 demerits par pièce.

L'indice obtenu n'ayant qu'une valeur relative, il est nécessaire de déterminer préalablement le nombre moyen de demerits par pièce pendant une période de base, assez longue pour être représentative d'une bonne marche. Il ne doit y avoir eu au cours de cette période ni circonstances particulières pouvant avoir amélioré ou fait baisser la qualité, ni changements dans les méthodes de fabrication ou dans la conception des objets fabriqués.

Possédant un chiffre de référence valable, on peut alors lui comparer les résultats obtenus sur des prélèvements périodiques d'échantillons de pièces prêtes pour l'expédition.

Les résultats obtenus étant nécessairement entachés d'erreurs aléatoires dues aux fluctuations d'échantillonnage, il est bon de les reporter sur une carte de contrôle dont les limites sont situées à 3 fois l'écart-type de part et d'autre de la moyenne.

Voici comment on peut raisonner pour établir l'écart-type :

Soit  $\omega_i$  le poids attribué au défaut de la classe  $i$  et  $p_i$  la proportion moyenne des pièces présentant ce défaut dans des circonstances normales (par exemple pendant la période de base); les  $p_i$  étant en général très petits, le nombre  $n_i$  des pièces présentant le défaut ( $i$ ) suit dans un échantillon de  $n$  pièces une loi de probabilité de Poisson, de moyenne  $n p_i$  et de variance  $n p_i$ .

Il en résulte que la somme  $\sum_i \omega_i n_i$  suit une loi approximativement normale (car le nombre des défauts possibles est généralement assez grand) de moyenne  $\sum_i n \omega_i p_i$  et d'écart-type :  $\sqrt{\sum_i n \omega_i^2 p_i}$ , d'où il résulte que le nombre moyen des demerits par pièce calculé sur un échantillon de  $n$  suit une loi normale de valeur moyenne  $\sum \omega_i p_i$  et d'écart-type  $\sqrt{\frac{\sum \omega_i^2 p_i}{n}}$

## Autres fonctions du contrôle de qualité

Nous avons volontairement passé sur les deux premières fonctions : Contrôle et Prévention, pour insister sur la fonction d'information auprès de la direction.

Le Contrôle de Qualité a aussi d'autres fonctions importantes largement développées à la Western Electric : Enquêtes sur la qualité de la fabrication, Réclamations de la clientèle.

On effectue en moyenne 35 enquêtes chaque année sur des produits divers et plus particulièrement sur ceux dont la production est élevée. Au cours de ces enquêtes on procède à un contrôle des outils et des machines, on revise les méthodes de fabrication, et si cela est nécessaire, la conception même des produits.

Les enquêtes sont menées par des comités comprenant des représentants des Bell Laboratories, du contrôle d'atelier, et du Département de Quality Control de la Western Electric.

Les "Bell Laboratories" constituent en effet une branche du "Bell System", chargée de la recherche scientifique et technique, et sont également qualifiés pour

effectuer des essais de toutes natures sur le matériel fabriqué dans les usines du Bell System et pour étudier de nouveaux procédés de fabrication.

Les représentants du comité d'enquête font chacun un rapport qu'ils envoient aux services intéressés. Les comités n'ont aucune autorité sur les organisations qu'ils étudient, mais celles-ci sont tenues de prendre leurs conclusions en considération et de remédier aux imperfections trouvées par les moyens de leur choix.

La question n'est définitivement classée que lorsque le comité estime que les solutions trouvées sont satisfaisantes.

Les réclamations de la clientèle, constituée surtout par des entreprises d'installations téléphoniques, sont pour la plupart directement réglées avec la Western Electric. Mais lorsqu'il s'agit de réclamations répétées, il est fait appel aux Bell Laboratories pour examiner le matériel défectueux et pour étudier les moyens d'y remédier. La question est étudiée avec l'atelier de fabrication responsable et le Quality Control.

Le département du "Quality Control" est donc à la Western Electric une importante organisation aux larges responsabilités. Son action qui commence à l'atelier de fabrication ne se termine qu'après satisfaction complète de la clientèle.

### EXTRAIT D'UNE LISTE DE DEMERITS

(Tableau n° 1)

- LISTE DES DEMERITS -

- Contacteurs -

N°	Demerit	Description du défaut
101 B	50	Coupure entre pièces n° ... et ... Court-circuits ou masse entre ... et ...
102 A	100	Défaut affectant le circuit ne pouvant être immédiatement corrigé.
102 B	50	Défaut affectant le circuit pouvant être immédiatement corrigé.
102 C	10	Défaut qui peut affecter le circuit.
103 C	10	Espacement insuffisant entre des parties isolées.
104 A	100	Circuit ouvert. Ne pouvant être réparé immédiatement.
104 B	50	Circuit ouvert. Pouvant être réparé immédiatement. <u>Intensité dans la bobine.</u>
105 B	50	Diffère de plus de 10% de la valeur normale.
105 C	10	Diffère de moins de 10% de la valeur normale.
106 C	10	L'armature ne décolle pas après fonctionnement sous l'intensité prévue.
107 B	50	Contacts malpropres. <u>Défauts mécaniques.</u>
2001 C	10	Contacts du frotteur malpropres.
2002 C	10	Lubrification incorrecte. <u>Rectilinéarité des ressorts de contact :</u>
2004 B	50	Très déformés
2004 C	10	Courbés Etc ...

## LE CONTROLE DE LA QUALITÉ A LA TUNG SOL ELECTRIC INC

Cette entreprise assez importante comprend plusieurs usines, et c'est en son établissement de Bloomfield que la mission française a été reçue.

L'usine de Bloomfield (non loin de New-York), qui consacre toute son activité à la fabrication des tubes radio et télévision occupe environ 2.100 personnes, dont 350 ingénieurs et cadres et 1.750 ouvriers.

Elle ne comporte qu'un rez-de-chaussée et est bien entretenue mais sans luxe. Les conditions de travail y semblent bonnes, la surface par homme y étant assez juste, ce qui convient bien à cette industrie mais contraste avec d'autres établissements disposant de vastes espaces.

Une cantine-cafeteria est aménagée dans un sous-sol où le personnel peut prendre ses repas pour un prix très modique.

La place réservée aux bureaux est moyenne et l'usine dispose d'une bibliothèque, qui, bien qu'assez exigüe, est très bien achalandée. Malgré le caractère très spécialisé de la fabrication, on y trouve des ouvrages couvrant toute la physique et bien des domaines de la chimie (citons par exemple : "Physique de la matière", Cristallographie", Physico-chimie des fines particules", "Mécanismes", etc ...) et naturellement, réunies sous reliure toutes les publications appartenant au domaine de la radio.

### INTRODUCTION DU CONTROLE DE QUALITÉ

Le contrôle est, dans cette usine, distinct de l'inspection et dépend directement de la direction générale. Alors que 150 personnes sont occupées à l'inspection, 35 seulement dépendent du département de "Quality Control". Le responsable de ce département s'efforce surtout de faire pénétrer les méthodes du Contrôle Statistique par la persuasion raisonnée et non par des mesures autoritaires. Les arguments de sa propagande sont essentiellement les suivants :

- 1) Le "Contrôle de Qualité" est en fait une "trousse à outils" qui permet à l'utilisateur de déterminer les caractéristiques d'ensemble d'une production (détermination des répartitions statistiques d'après des échantillons).
- 2) Le "Quality Control" est un moyen par lequel on peut évaluer l'uniformité d'un produit.
- 3) Grâce au "Quality Control" on peut déterminer objectivement si un procédé de fabrication est capable ou non de fabriquer dans des normes.
- 4) Les cartes de contrôle sont un instrument permettant de fabriquer un produit uniforme et de meilleure qualité.

D'autre part, le responsable du Contrôle de Qualité insiste sur ce que :

- 1) Le "Contrôle de Qualité" doit être adopté librement (1).
- 2) Le "Contrôle de Qualité" ne consiste pas en une surveillance du personnel.

Pour arriver au but il a fallu faire de gros efforts pour la formation du personnel. Les méthodes adoptées au sein de l'entreprise sont celles qui ont été si largement utilisées pendant la dernière guerre pour la formation accélérée. Les appareils très simples nécessaires ont été "bricolés" par le chef du "Quality Control" lui-même, qui nous a assuré que les résultats bien que lents à venir sont encourageants. Dans l'une des usines de la société, par exemple, les contre-maitres ont, il y a quelques mois, demandé spontanément la collaboration du service.

---

(1) L'expression courante en Amérique est : "Quality Control must sell itself". Elle est utilisée en considérant que le "client" peut aussi bien être l'entreprise que l'ouvrier à qui l'on enseigne. Cette expression difficile à traduire exprime bien le sens pratique et le sens commercial des américains soucieux d'aboutir à des réalisations dans l'intérêt de toutes les parties.

## DESCRIPTION ET EMPLACEMENT DES CONTROLES

Dans ces fabrications destinées à l'électronique les qualités finales du produit sont très importantes : non seulement les caractéristiques mesurables doivent satisfaire à des normes variables selon l'usage qui est fait du produit, mais il est en outre nécessaire qu'il ne sorte pratiquement aucun article possédant un défaut qui entraîne un non-fonctionnement. Pour les écrans de télévision, les défauts d'aspect sont même aussi importants ou presque que les défauts électriques ou mécaniques.

Enfin le prix de ces articles est assez grand en comparaison du prix du contrôle pour qu'il soit économique de pratiquer au stade final une inspection à 100%, ce qui justifie l'importance des effectifs utilisés.

Il n'en est pas de même aux stades intermédiaires de la production.

En effet, l'objet du Contrôle statistique de qualité est de permettre avant tout la fabrication d'un matériel de qualité, en produisant le moins de rebut possible, par opposition à la méthode classique qui consiste à produire pour ensuite séparer le rebut par l'inspection à 100% (1).

D'autre part, nous verrons plus loin par quels moyens on atteint à la Tung Sol Electric Inc. une uniformité de certains éléments (cathodes et grilles en particulier), impossible sans l'utilisation du "Contrôle de Qualité". Il en résulte naturellement une régularité considérablement accrue pour les caractéristiques électriques des tubes.

### 1). LA RÉCEPTION.

De nombreux éléments reçus de l'extérieur interviennent dans la fabrication et, sont contrôlés par échantillonnage.

Il en est ainsi des micas dont les cotes définissent les positions des électrodes à l'intérieur des tubes. On prélève dans chaque lot un échantillon de 50 micas qui sont ensuite contrôlés par projection et comparaison à un gabarit (amplification 40). Les histogrammes des cotes critiques sont établis et communiqués au fournisseur. Les lots ayant été numérotés par ce dernier dans l'ordre où ils ont été produits (en raison d'un accord entre acheteur et vendeur), il est possible de suivre cette fabrication dans l'intérêt commun des deux contractants (Fiche de la figure 1).

On procède exactement de la même manière pour les cathodes (non préparées) dont le diamètre extérieur est particulièrement surveillé. Enfin, certains éléments tels les culots, sont contrôlés à la réception par échantillonnage double (fig. 2). Pour suivre l'évolution de la qualité moyenne, on rapporte le nombre total des défectueux trouvés dans un certain nombre d'échantillons n° 1 consécutifs à l'effectif total de ces échantillons. Les échantillons n° 2 ne doivent pas servir à ce calcul, car ils ne sont pas représentatifs de la population reçue.

### 2). CONTROLES EN COURS DE FABRICATION.

- A) Les deux cotes les plus importantes des évasements, hauteur et diamètre extérieur, sont suivies au moyen d'une carte de contrôle portant sur la moyenne et l'étendue (Voir la fiche de la figure 3).
- B) Un contrôle visuel est effectué sur les pieds (non montés) à raison d'un échantillon de 50 par machine et par jour. Les défauts tels que : fêlures, fils trop rapprochés etc... sont relevés et leur nombre est porté sur une carte de contrôle par attributs.
- C) Le diamètre extérieur des grilles est évidemment une cote très importante si l'on désire avoir une bonne régularité des caractéristiques électriques. Des échantillons de 4 grilles sont prélevés toutes les heures dans la fabrication de chaque machine. Ce contrôle est observé scrupuleusement et la carte de contrôle des moyennes et des étendues régulièrement tenue. Aussitôt qu'un point du graphique sort des limites de contrôle la machine est arrêtée et examinée.

---

(1) L'expression américaine "Quality must be built up into the product" illustre ce point de vue.

## DISTRIBUTION STATISTIQUE

1 carreau \_\_\_\_\_

Médiane \_\_\_\_\_

Moyenne \_\_\_\_\_

Mode \_\_\_\_\_

Sigma \_\_\_\_\_

Effectif de l'échantillon \_\_\_\_\_

Date de production \_\_\_\_\_

Date du contrôle \_\_\_\_\_

Sujet \_\_\_\_\_

Non contrôlé \_\_\_\_\_

Déjà contrôlé \_\_\_\_\_

Relevé par \_\_\_\_\_

A la demande de \_\_\_\_\_

Valeurs mesurées	
------------------	--

Grandeur :	
------------	--

Classe n°	
-----------	--

$\Sigma$	
$\Sigma\%$	

Fig. 1 - Fiche utilisée pour établir un histogramme d'après un échantillon.

## CONTROLE DE QUALITE

Tung Sol Electric Inc.

Bloomfield  Washington

Type \_\_\_\_\_

Weatherly  E.O.W.

Année \_\_\_\_\_

Date		Lot n°	Fiche n°	Effectif du lot	1er Echantillon						2ème Ech.		Ensemble		Accepté	Refusé
Essai	Fabri-cation				n <sub>1</sub>	n <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	m <sub>1</sub>	Σm <sub>1</sub>	Σ%	n <sub>2</sub>	m <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>	m <sub>1+2</sub>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

n<sub>1</sub> : effectif du 1er échantillon

n<sub>2</sub> : " 2ème "

c<sub>1</sub> : nombre maximum de défectueux (1er échantillon)

c<sub>2</sub> : " " (2ème " )

m<sub>1</sub> : nombre de défectueux (1er échantillon)

m<sub>2</sub> : " (2ème " )

Σm : nombre total de défectueux dans les 5 derniers échantillons

Σ% :  $\frac{\Sigma m_1}{\Sigma n_1} .100$

Fig. 2 - Fiche utilisée au contrôle de réception par attributs (méthode du double échantillonnage).

## CALCUL DES LIMITES DE CONTROLE

Echantillonnage par variables - Contrôle de qualité

Date \_\_\_\_\_

Type \_\_\_\_\_

	OPERATION	SYMBOLE	CARACTERISTIQUES				
			$i_p$	$I_o$	$G_m$	$G_m$ ou $I_{pe}$	
						initial	500 h
1	Etendue moyenne	$\bar{R}$					
2	Effectif (ligne 1)	$n_1$					
2a	Effectif (lignes 12 à 19)	$n$					
3	Facteur $\bar{R}/\sigma$	$d_2$					
4	$\text{Sigma} = \bar{R}/d_2$	$\sigma$					
5	Limite commerciale inf.	$X \text{ min}$					
6	Limite commerciale sup.	$X \text{ max}$					
7	Rebut admissible	$\bar{Y}$					
8	t correspondant à 7 (*)	t					
9	(8) x (4)	$t\sigma$					
10	(5) + (9)	$\bar{X}_{WL}$					
11	(6) - (9)	$\bar{X}_{WU}$					
12	Facteur $2\sigma$ pour X (**)	$A'$					
13	(4) x (12)	$A'\sigma$					
14	(10) - (13)	$LCL_X$					
15	(11) + (13)	$UCL_X$					
16	Facteur LCL (***)	$D_1$					
17	Facteur UCL (***)	$D_2$					
18	(4) x (16)	$LCL_R$					
19	(4) x (17)	$UCL_R$					

**Nota :**  $\bar{X}_{WL}$  : plus faible valeur admissible de la moyenne  
 $\bar{X}_{WU}$  : valeur admissible la plus élevée de la moyenne

N. d T. \* C'est la valeur de la variable normale réduite t qui est telle que l'aire de l'une des "queues" de la courbe de Gauss soit égale à  $\bar{Y}$

\*\* C'est le facteur  $2/n$

\*\*\* Il s'agit des facteurs  $D_1, D_2$  par lesquels il faut multiplier  $\sigma$  pour obtenir les limites de contrôle supérieures et inférieures de l'étendue.

Fig. 3 - Fiche utilisée pour le calcul des limites de contrôle.

D) Un soin constant est apporté à la préparation des cathodes. Elle est effectuée dans une pièce maintenue à température et degré hygrométrique constants. Le temps de projection du mélange actif sur les cathodes est réglé automatiquement.

Le contrôle est effectué par pesée sur une balance précise d'où l'on déduit par différence la masse déposée. De plus, le diamètre extérieur est mesuré au moyen d'un comparateur pneumatique.

Les moyennes mobiles des trois dernières mesures sont portées sur une carte de contrôle et il est ainsi possible d'arrêter une fabrication défectueuse cinq minutes après son début, les résultats du contrôle étant communiqués à la fabrication par une signalisation lumineuse.

E) Les pieds montés sont soumis à un contrôle visuel et le nombre des défauts reporté sur une carte de contrôle par attributs.

### 3). CONTROLE EN FIN DE CHAINE.

#### A) Contrôle par attributs.

Un échantillon de 10 tubes est prélevé dans chaque emballage (contenant 100 tubes) à la sortie de la chaîne.

Toutes les caractéristiques électriques et mécaniques sont mesurées, et les tubes sont ensuite simplement classés en bons et mauvais. Ces données sont utilisées pour tenir une carte de contrôle par attributs avec un retard d'une demi-heure sur la production.

Les résultats relatifs aux 10 derniers échantillons sont regroupés afin de constituer une autre carte de contrôle portant sur des échantillons de 100 tubes, aux limites plus étroites, puisque les fluctuations des pourcentages dues seulement au hasard sont alors de moindre importance.

Enfin les dix derniers échantillons de 100 sont groupés par 1.000 pour servir à une dernière carte de contrôle par attributs.

L'avantage de ce système est évident : il permet une détection aussi rapide que possible d'une augmentation donnée de la proportion du rebut.

Sicette augmentation est brutale elle sera décelée en une demi-heure (échantillons de 10), si elle est de moyenne importance en une journée (échantillon de 100), si elle est très faible tout en affectant la qualité de la production sur une longue période, il faudra simplement attendre le prochain résultat moyen sur 1.000 tubes.

Enfin, ce système de contrôle atteint son efficacité maximum grâce à une prompt transmission des résultats à la fabrication au moyen d'une signalisation lumineuse.

#### B) Contrôle par mesures.

Parmi les tubes utilisés pour le contrôle final par attributs, trois échantillons de 10 tubes sont prélevés à chaque poste pour tenir les cartes de contrôle des moyennes et des étendues de toutes les caractéristiques. Leurs limites de contrôle sont déterminées selon la méthode indiquée dans la figure 3. Comme il s'agit d'un contrôle final, les limites de tolérances servent de base au calcul. Les limites de contrôle sont placées de telle sorte que tant que la proportion de lampes hors tolérances n'est pas supérieure à un chiffre donné, la probabilité de sortir des limites de contrôle reste inférieure à 5%.

Lorsque les caractéristiques importantes sont bien "sous contrôle", on allège alors l'inspection à 100%.

#### C) Durée de vie.

Les essais de durée de vie des tubes ont pour objectifs :

- De permettre aux commandes de sortir avant d'avoir terminé l'essai de 500 heures.
- De détecter le plus rapidement possible les symptômes d'une durée trop faible.

- D'établir des statistiques passées des durées de vie afin de prévoir des durées de vie futures.

Dans ce but des échantillons sont prélevés journallement et les caractéristiques électriques relevées au bout de 0, 20, 60, 140, 300, 500 heures.

Elles sont reportées sur des cartes de contrôle des moyennes et des étendues. Au cas où une caractéristique sort des limites de contrôle, ordre est immédiatement donné de retenir en magasin la production correspondant à l'échantillon.

## **COMMUNICATION DES RÉSULTATS**

Les fonctions du "Contrôle de Qualité" dans une usine peuvent être décomposées de la manière suivante :

- 1) Observer la production sous le rapport de la qualité
- 2) Prendre des décisions d'après ces observations
- 3) Transmettre en temps utile ces décisions ou les résultats des observations aux services intéressés. Il ne reste plus alors à ces services qu'à agir en conséquence.

Il est intéressant de noter qu'à la Tung Sol Electric de gros efforts ont été accomplis en vue d'accélérer au maximum la transmission de l'information résultant du contrôle. Ceci est obtenu comme nous l'avons vu par des signalisations lumineuses à distance dont l'efficacité ne fait aucun doute.

Enfin, sur un autre plan, une liaison étroite est établie entre le "Contrôle de Qualité" et la direction générale.

Celle-ci reçoit quotidiennement et hebdomadairement des rapports sur la qualité de l'ensemble de la production essentiellement basés sur les résultats du contrôle en fin de chaîne.

## SONOTONE CORPORATION

La Sonotone Corporation de réputation mondiale possède près de New-York deux usines, l'une de fabrication de lampes miniature, l'autre de montage de ses appareils. L'usine de "Elmsford" est essentiellement une usine de montage, qui reçoit de l'extérieur les pièces métalliques entrant dans la fabrication : fils pour les électrodes, grilles, plaques, cathodes, etc ... et du tube de verre pour les ampoules.

### Contrôle à la réception

A chaque type de pièce correspond un dessin, sur lequel sont indiquées les cotes et leurs tolérances. Les pièces sont en général de faibles dimensions et contenues dans des emballages où le prélèvement d'un échantillon au hasard n'entraîne pas de difficultés particulières. Le contrôle a lieu par partage des pièces de l'échantillon en deux catégories, l'acceptation ou le rejet étant basés sur les tables Mil-St-105 A pour le contrôle par attributs.

### Contrôle de la fabrication

Les cathodes ayant passé avec succès le contrôle de réception, sont préparées dans une chambre maintenue à température et humidité constantes (50 à 55%). Le dépôt est projeté au pistolet et l'épaisseur de la couche mesurée sur des échantillons au moyen d'un micromètre pneumatique.

Les cathodes sont préparées par séries de 50 et le contrôle effectué sur des échantillons de 5 qui servent à établir une carte de contrôle des épaisseurs.

Le pas et le diamètre des grilles sont également suivis au moyen de la carte de contrôle.

En raison des dimensions des lampes miniatures et des répercussions sur les caractéristiques électriques, il est nécessaire de surveiller les distances entre électrodes. Un contrôle visuel 100% est effectué par une ouvrière au moyen d'un appareil de projection. On prélève régulièrement (deux fois par semaine) des échantillons de pieds montés contrôlés par cette ouvrière pour lesquels on mesure les capacités entre électrodes. On construit la carte de contrôle de la capacité trouvée et l'on a de cette façon une vérification de la validité du contrôle de l'ouvrière qui est ainsi périodiquement réétalonnée.

Enfin, de nombreuses machines de la fabrication sont sous contrôle.

### Contrôles finals

Les lampes fabriquées par la Sonotone Corporation sont inspectées à 100% pour les caractéristiques électriques et subissent de plus un essai par choc pour la détection des courts-circuits.

Sur échantillons, on effectue des essais de durée de vie classiques et des essais où les lampes sont continuellement soumises à des vibrations mécaniques.

Des contrôles spéciaux, enfin, sont effectués à la demande de certains clients.

## **La fabrication des appareils Sonotone**

Les contrôles de réception des éléments entrant dans la fabrication des appareils sont basés sur les mêmes principes que ceux des éléments des lampes miniature (contrôle par attributs Tables Mil-St-105-A).

Les appareils montés sont soumis à des contrôles des caractéristiques électriques. Un oscillateur à fréquence variable (wobulateur) permet d'étudier la courbe d'amplification en fonction de la fréquence.

Cette courbe qui comporte deux maxima et un minimum est repérée au moyen de cinq points correspondant à cinq fréquences données. Les amplifications correspondantes sont suivies sur des cartes de contrôle de la moyenne et de l'étendue.

Enfin les appareils terminés sont soumis à une inspection 100% par écoute directe dans une pièce spéciale insonorisée.

## HUNTER SPRING COMPANY

Située à Lansdale (Pensylvanie) à 150 kilomètres de New-York et à 40 kilomètres de Philadelphie, "Hunter Spring Co n'est qu'une petite entreprise pour les Etats-Unis puisqu'elle n'emploie que 350 personnes.

Elle est néanmoins prospère et n'a cessé de se développer depuis 1932 où elle ne comptait que 30 ouvriers. C'est à cette époque que l'actuel directeur technique, qui s'était intéressé chez Bell aux travaux du Dr SHEWHART, entra chez "Hunter Spring Co". Il ne tarda pas à appliquer les méthodes du Dr SHEWHART au contrôle de la fabrication des ressorts dans son entreprise et fut ainsi, en Amérique l'un des pionniers du "Contrôle de Qualité" par les méthodes statistiques.

Cette entreprise a maintenant étendu son activité à l'emboutissage en se limitant aux pièces ne dépassant pas 40 cm x 40 cm et à la fabrication d'appareils de mesure assez particuliers tels que les dynamomètres.

L'usine est assez vaste pour le personnel qu'elle occupe et la circulation est facile entre les machines dans tous les ateliers. Le souci de l'ordre et de la propreté est apparent mais les aménagements sont partout modestes y compris dans les bureaux.

### FABRICATION DES RESSORTS

Cette fabrication est effectuée en quatre phases :

- 1). Enroulement
- 2). Traitement thermique
- 3). Rectification ou finissage
- 4). Galvanoplastie.

Une certaine variabilité, due aussi bien à la matière première qu'à la fabrication elle-même, étant inévitable, il est nécessaire pour obtenir un produit uniforme de maintenir à tous les stades une surveillance sur toutes les caractéristiques des ressorts : diamètre, longueur libre et sous charge, etc ...

A l'enroulement, l'usure des outils est par exemple une cause possible de variation progressive du diamètre ou du pas du ressort; cette usure entraînerait une production lentement croissante de pièces hors tolérances, mais la carte de contrôle portant sur la moyenne et l'étendue permet de détecter très rapidement de telles variations.

La figure 1 donne un exemple réel d'une fabrication donnant lieu au début à une variabilité anormale qui a été promptement décelée et corrigée.

La surveillance par la carte de contrôle est de plus doublée d'un contrôle sur échantillons effectué par des contrôleurs volants.

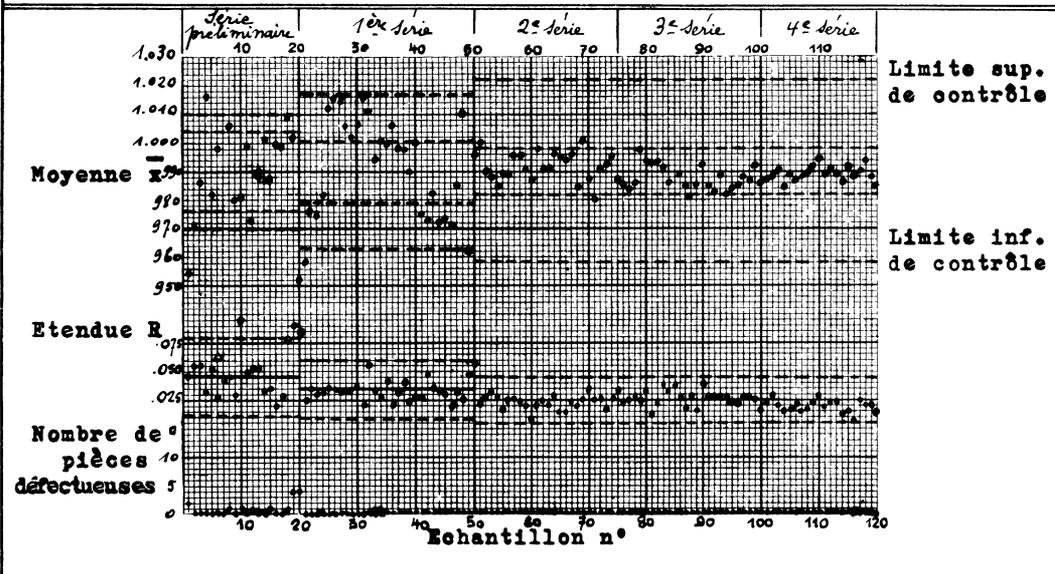
La rectification est fréquemment pratiquée sur les ressorts de compression. La moyenne des longueurs libres des ressorts et la dispersion de ces longueurs diminuent sensiblement au cours de cette opération à la fin de laquelle on prélève 50 ressorts pour contrôle de longueur. Ce contrôle est souvent effectué par une mesure du poids. Les résultats sont représentés sous la forme d'un histogramme (fig. 2). Ce mode de contrôle est très en faveur chez "Hunter Spring car la forme de la distribution de fréquence obtenue est en effet un renseignement précieux sur la fabrication. Si par exemple les meules de la rectifieuse présentent un défaut de parallélisme, la distribution obtenue est à la fois plus dispersée et plus aplatie.

Certains clients exigent des tolérances trop étroites par rapport à la dispersion normale des longueurs. On effectue alors un classement en catégories, qui sont rectifiées séparément. La qualité de matière enlevée varie selon la

## CARTE DE CONTROLE

Produit Resort de compression Client \_\_\_\_\_ Service \_\_\_\_\_  
 Caractéristique Longueur libre Pièce n° \_\_\_\_\_ Machine \_\_\_\_\_  
 Méthode de mesure Micromètre Commande n° \_\_\_\_\_  
 Spécifications 0,940 - 1,040 Production  
 \_\_\_\_\_ horaire \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ Effectif de  
 \_\_\_\_\_ l'échantillon \_\_\_\_\_

Points B. M. B. Limites et  
 Contrôleur observations \_\_\_\_\_



<b>Observations</b>	contrôle et de rejet.
Diagramme condensé représentant plusieurs séries totalisant plusieurs millions de ressorts	3 <sup>ème</sup> La carte de contrôle a été utilisée réellement à partir de la 2 <sup>ème</sup> série.
Remarques : 1 <sup>ère</sup> le manque de contrôle au début du travail	
2 <sup>ème</sup> Une plus grande étendue de traduction par une marge réduite entre les limites de	

Fig. 1



catégorie, de telle sorte que la dispersion totale se trouve ramenée à une valeur plus faible (fig. 3). Après rectification, on contrôle à 100 % sur des calibres à contacts qui transmettent à des écouteurs portés par l'ouvrière un signal sonore indiquant si la cote est normale, trop forte ou trop faible.

Ces appareils sont périodiquement réétalonnés en faisant le contrôle d'un échantillon de spécimens connus et marqués (fig. 4). Ici encore, la connaissance du poids est substituée à celle de la longueur. Environ toutes les heures, l'ouvrière en choisit quelques-uns, de préférence aux limites. Elle reporte l'indication donnée par son appareil en traçant, dans la case correspondant à l'heure et à la dimension (connue), un bâton au crayon de couleur pour indiquer la nature du résultat : faible, bon, fort. La répartition de ces bâtons sur la fiche renseigne immédiatement sur les corrections à apporter au réglage de l'appareil. Si les contacts se sont ouverts, par exemple, des bâtons de la couleur des moyens figurent sur la fiche dans les catégories "faibles" et "forts". Un déplacement d'ensemble serait détecté aussi facilement par déplacement des couleurs par rapport aux limites.

(Les couleurs ne pouvant figurer ici, nous nous en excusons auprès du lecteur pour la compréhension de la figure 4).

Le finissage comporte selon les cas un traitement électrolytique ou une opération manuelle (coupe du ressort, formation d'une boucle). Un dernier contrôle par échantillonnage est effectué à la suite de cette opération après laquelle les ressorts sont emballés et prêts pour l'expédition.

Enfin, le client reçoit au même moment que la commande un rapport sur la qualité de celle-ci comprenant en particulier des copies des histogrammes obtenus pendant la fabrication. Ce rapport constitue une sorte de certificat de qualité qui est pour la Compagnie l'une des meilleures formes de publicité.

La figure 5 résume les contrôles effectués au cours de la fabrication en indiquant leur nature et leur emplacement dans le cas du ressort de compression de précision.

### **Contrôle à la réception**

Le contrôle à la réception s'inspire des mêmes méthodes, et il est fait largement usage des histogrammes (fig. 6).

Les acheteurs ont été instruits des méthodes statistiques et de leur interprétation, et l'on trouve sur les fig. 7 et 8, une série d'exemples d'histogrammes possibles, et les conclusions qu'il faut en déduire.

### **AUTRES FABRICATIONS**

"Hunter Spring Co" a étendu les mêmes méthodes statistiques de contrôle à son atelier d'emboutissage. Cette entreprise fabrique aussi des dynamomètres dont la capacité varie de 1 à 20 livres et un type spécial de ressort constitué par un ruban métallique enroulé sur lui-même appelé "Negator". Contrairement aux ressorts habituels la force de rappel est pratiquement indépendante de l'extension, et peut même décroître avec elle. Ce ressort peut servir pour obtenir un couple de rappel constant sur un axe pour un très grand nombre de tours.

### **MÉTHODES D'ENSEIGNEMENTS ET RÉSULTATS DU QUALITY CONTROL**

Comme dans toutes les entreprises américaines où il est fait usage des méthodes statistiques, de gros efforts sont déployés pour la formation du personnel.

L'entreprise organise deux cours, l'un sur le Quality Control (il en a été donné jusqu'à présent 28 sessions), l'autre sur la fabrication, le calcul des ressorts, et la détermination des tolérances (16 sessions depuis 1950). Ces cours sont ouverts gratuitement à tous ceux qui en font la demande, mais ils sont essentiellement destinés aux utilisateurs de ressorts afin que ceux-ci soient mieux avertis des possibilités et des sujétions de la fabrication.

Plusieurs membres du personnel se sont distingués par des articles sur le Quality Control dans diverses revues, et l'on aura une idée de la diffusion de ces méthodes dans cette petite entreprise de 350 personnes seulement, si nous disons que plus de 40 d'entre elles sont membres de l'A.S.Q.C. (American Society for Quality Control).

# HUNTER SPRING

Rapport statistique 209-46

**Produit** Resort de compression **Client** I. T. E. **Service** 302  
**Caractéristique** H **Pièce n°** 504 **Machine** 7.1  
**Méthode de mesure** 122 HC 4 **Commande n°** 66083 **Outil** \_\_\_\_\_  
**Spécifications** 0,518 ± 1/64 **Essai** \_\_\_\_\_ **H** 0,533 **H** 0,503  
max min  
**Limites de fabrication** 0,503-0,533 **Contrôlé par** R.W.B **N** 7 **Beuts** SG  
**Echantillon tiré de** Production avant **Enregistré par** R.W.B. D.E. **D.I.** \_\_\_\_\_  
mesure  
**Heure** \_\_\_\_\_ **Date** \_\_\_\_\_

H	Sortant de l'enroulement et du traitement thermique	'H'	Après rectification		Final
500	503"	500 503			
503		503			1
6		6	III 1		III III
9	Rebut	9	III III III		III III III II
12	I	12	III III III II	III III	III III III III III III II
15	II	15	III	III III III III II	III III III III III III III III
18	III I	18		III III III	III III III III III III III III
21	III II	21		III	III III III III III III III III
24	III III	24			I
27	III III III	27			III III
30	III III III	30			
33	III III III III	33			
36	III III III II				
39	III III III III				
42	III III III III II				
45	III III III III				
48	III III III				
51	III III III				
54	III III III				
57	III III III				
60	III III				
63	II				Rebut
66	I				

Fig. 3







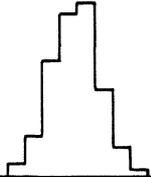
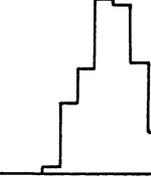
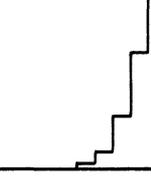
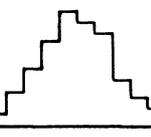
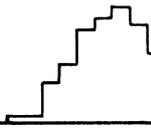
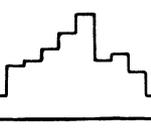
fig. 3		<p>Dispersion sensiblement inférieure aux spécifications.</p> <p>Distribution bien centrée.</p> <p>Envisager des échantillons plus petits sur les lots suivants.</p>
fig. 4		<p>Dispersion sensiblement inférieure aux spécifications.</p> <p>Distribution décentrée.</p> <p>La production de rebut est imminente.</p>
fig. 5		<p>Dispersion sensiblement inférieure aux spécifications, mais la distribution est très décentrée.</p> <p>Production de rebuts au delà de la limite maximum.</p> <p>Le fournisseur peut respecter les tolérances et éliminer le rebut en centrant la distribution</p>
fig. 6		<p>Le diagramme correspond sensiblement aux spécifications.</p> <p>La distribution est bien centrée.</p> <p>Un léger glissement à droite ou à gauche se traduira par du rebut. Le fournisseur pourrait avoir besoin de tolérances plus larges.</p>
fig. 7		<p>Dispersion correspondant approximativement aux spécifications. Distribution décentrée.</p> <p>Le fournisseur doit réduire la dispersion par une modification de la fabrication ou contrôler de façon plus serrée.</p> <p>Peut avoir besoin de tolérances accrues</p>
fig. 8		<p>La distribution est bien centrée, mais dépasse les limites de part et d'autre.</p> <p>Un changement dans la fabrication ou le contrôle est nécessaire.</p> <p>Le fournisseur peut avoir besoin de tolérances plus larges</p>

Fig. 7

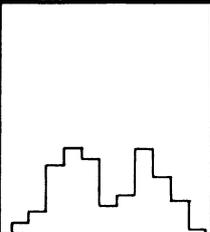
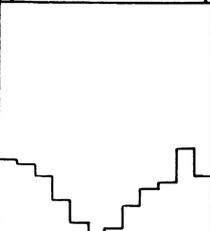
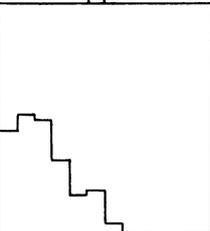
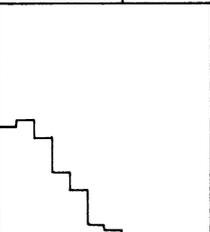
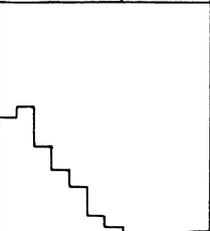
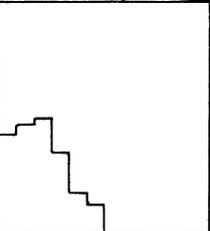
fig. 9		<p>La distribution bimodale peut être due soit à deux outils, soit à un changement dans la fabrication ou de la matière première pendant la production de ce lot.</p> <p>Le fournisseur peut facilement tenir les tolérances puisque la dispersion de chaque distribution est inférieure aux spécifications.</p>
fig. 10		<p>Idem, mais les distributions sont assez décalées pour qu'il y ait rebut.</p> <p>Pas nécessaire d'élargir les tolérances.</p>
fig. 11		<p>La distribution est décalée vers la limite inférieure, mais le lot a été contrôlé à 100 % avant expédition.</p> <p>Avec une production centrée, le fournisseur pourrait supprimer le contrôle à 100 %.</p>
fig. 12		<p>Idem, mais le contrôleur laisse passer des pièces défectueuses ou son calibre est légèrement usé.</p>
fig. 13		<p>Un contrôle à 100 % est probablement effectué mais les calibres ne sont pas à la mesure.</p> <p>Le contrôleur peut avoir des difficultés dans les cas limites.</p>
fig. 14		<p>Idem. Les calibres sont justes, mais le contrôleur a laissé passer quelques pièces.</p>

Fig. 8

## CONTINENTAL PAPER C°

Située à Ridgfield Park dans le New Jersey, la Continental Paper Company comprend deux usines : une fabrique de carton et un atelier d'imprimerie.

La Continental Paper Company fabrique uniquement des emballages en carton imprimé destinés à l'épicerie, la pharmacie, etc ...

Le Contrôle de Qualité porte sur la fabrication du carton d'une part, matière première de l'atelier d'imprimerie, et se poursuit dans ce dernier par un contrôle très développé des défauts d'aspect.

Le problème du contrôle des défauts d'aspect n'étant pas particulier à l'imprimerie mais intéressant de nombreuses branches industrielles, nous insisterons surtout sur ce point.

### CONTROLE DE LA QUALITÉ A L'IMPRESSION

Le Chef du Département de Contrôle de Qualité dépend directement du "Products Standards Department Manager" chargé de coordonner les activités suivantes : choix et détermination des normes, recherche technique, achats de matières premières.

Le Chef du Contrôle de Qualité est assisté d'un secrétaire faisant aussi fonction de calculateur et de six techniciens : un au contrôle des matières premières et les cinq autres à l'impression.

L'application du Contrôle de Qualité a débuté par une étude préliminaire en février 1951, et les méthodes furent introduites dans la fabrication en août 1951. Les techniciens du contrôle avaient été embauchés au dehors sans connaissances spéciales, ni du métier ni des méthodes statistiques. Ils furent formés sur place en quelques semaines, mais on s'est aperçu depuis qu'il était préférable d'entraîner au contrôle le personnel de l'entreprise.

Le Contrôle de Qualité étant responsable de la qualité des produits, les normes imposées sont discutées pour chaque commande avec le service des ventes. Des recommandations sont envoyées au Département Production en tenant compte de l'expérience passée.

Le carton servant à exécuter une commande est d'abord soumis aux contrôles suivants :

- 1). Epaisseur
- 2). Poids par unité de surface
- 3). Humidité
- 4). Aptitude à l'absorption d'eau
- 5). Brillance (mesurée à la cellule photoélectrique).
- 6). Aptitude au pliage
- 7). Aptitude à l'absorption d'encre
- 8). Résistance à l'éclatement (Mullen test)

Pour certaines commandes on effectue en outre des mesures de la raideur, de la rugosité, de la résistance du carton à se déchirer.

Ces renseignements sont inscrits sur la "Board Quality Control data Sheet" (Fiche de contrôle de la qualité du carton), puis sur la fiche : "Board Quality report and Control Recommendation", envoyée à l'atelier d'impression. Sur cette fiche sont reportées des limites de l'épaisseur et du poids par pied carré. Ce sont des limites  $2\sigma$  correspondant à 95 % des mesures et déterminées d'après des histogrammes.

A l'impression, chaque machine est suivie au moyen de la carte de contrôle. Le contrôleur passe une fois par heure, prélève un échantillon et note les défauts observés. Ceux-ci sont classés selon leur gravité en quatre catégories affectées des coefficients de pondération (ou "demerits") suivants :

1. Défaut très mineur. S'applique à un défaut léger qui n'exige par une action immédiate et doit être corrigé à l'occasion d'un arrêt.
3. Défaut mineur. Doit être surveillé et supprimé aussitôt que possible par exemple lors de la recharge de la machine.
10. Défaut grave. Il faut y remédier le plus vite possible et contrôler (à 100%) la production de la machine.
20. Défaut majeur. Production à mettre au rebut.

Si l'on a observé par exemple sur une feuille : 2 défauts de la première catégorie (très mineurs), 1 de la seconde (mineur) et 1 de la troisième (grave), le total des demerits correspondant est égal à 15 pour cette feuille. Le nombre moyen des demerits de chaque échantillon contrôlé est reporté sur la carte de contrôle de la machine. La limite maximum (à  $3\sigma$ ) du nombre des demerits est déduite des observations d'une période de référence d'après laquelle on détermine la dispersion en se basant sur l'étendue moyenne dans des échantillons de deux feuilles. Dans le cas d'une fabrication nouvelle, on utilise pour la carte de contrôle les données obtenues pour un article similaire en tenant compte du nombre des teintes, des encres, de la surface à couvrir, etc...

Le principe du contrôle en cours d'impression est donc simple. Il faut noter cependant qu'il ne porte que sur des défauts d'aspect et que l'appréciation du contrôleur est susceptible de jouer un rôle important (par exemple dans la détermination de la gravité du défaut et par suite du nombre des demerits).

Le personnel du contrôle a toujours une tendance croissante à trouver un très grand nombre de petit défauts qui peut être déjà combattue en leur assignant un nombre de demerits très faible; mais cela ne suffit pas et le seul moyen d'éliminer le facteur personnel du contrôleur est de conserver des échantillons de référence.

L'entreprise a par exemple un client fabricant de petits pains, représentés sur leur emballage en couleurs naturelles. Il attache une grande importance à la qualité et aux teintes de l'impression, ne voulant pas laisser planer un doute, fût-il inconscient, sur l'uniformité et la qualité de sa cuisson. Aussi la Continental Paper et son client se sont-ils mis d'accord sur la teinte la plus claire et sur la plus foncée admissible, définissant ainsi une fourchette dont des étalons signés sont déposés chez les deux parties.

Des étalons secondaires sont comparés, dans les cas difficiles, aux étalons primaires au moyen d'une cellule photoélectrique munie de filtres de couleurs différentes et servent ensuite aux contrôleurs de l'atelier. Dans certains cas la cellule est même utilisée pour le contrôle, en cours de fabrication, de l'uniformité des teintes et de l'épaisseur de la couche.

Cependant, le contrôle des teintes comme d'ailleurs des autres défauts possibles est le plus souvent visuel, et les échantillons de référence suffisent à éliminer pratiquement le facteur personnel des contrôleurs.

Lorsque la carte de contrôle révèle une qualité insuffisante, la production correspondante est entièrement vérifiée et tout ou partie du lot envoyé au rebut.

Enfin les demerits figurant sur la carte de contrôle sont totalisés par poste et les résultats reportés sur une fiche appelée "Printing Quality Summary".

Avant l'introduction du Quality Control dans l'usine, quand on s'apercevait à l'encollage qu'une partie de la production était d'une qualité insuffisante, il fallait rassembler les ouvriers et faire un tri à 100%. Pour éviter les pertes de temps qui en résultent on pratique maintenant un contrôle par échantillonnage avant l'encollage.

Pour réduire le temps passé au minimum, on profite de l'opération précédente où les feuilles sont découpées au format exact pour effectuer le prélèvement. L'échantillon comprend 200 feuilles et ne doit pas posséder plus de 7 feuilles défectueuses (AOQL 2 %) (1). Comme on a repéré les points de prélèvement il suffit de faire un contrôle à 100 % sur les tranchés de la production qui se sont révélées de qualité insuffisante au contrôle par échantillonnage.

Enfin, la qualité d'ensemble est appréciée en fin de fabrication par prélèvement d'une feuille sur 500 et les résultats sont surtout utilisés pour suivre les fluctuations journalières.

Il est intéressant de remarquer que la Continental Paper Co a réussi à faire admettre à sa clientèle une proportion possible de défectueux au plus égale à 2 %, les clients étant, paraît-il relativement plus préoccupés par la gravité des défauts que par leur nombre. Ceci est évidemment de nature à faciliter l'utilisation du Quality Control dans l'usine.

---

(1) AOQL est l'abréviation de "Average outgoing quality limit", en français : "Limite supérieure du pourcentage moyen de rebut dans une fabrication soumise à un contrôle par échantillonnage."