

# REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

A. BAZIN

## **Quelques applications du contrôle statistique en métallurgie**

*Revue de statistique appliquée*, tome 4, n° 4 (1956), p. 15-32

[http://www.numdam.org/item?id=RSA\\_1956\\_\\_4\\_4\\_15\\_0](http://www.numdam.org/item?id=RSA_1956__4_4_15_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 APPLICATIONS DU CONTROLE STATISTIQUE EN MÉTALLURGIE

par

**A. BAZIN**

*Ingénieur à la Compagnie Française des Métaux*

*Au cours des journées d'étude et de discussion organisées par le Centre de Formation des anciens stagiaires, en mai 1955 (1), M. Bazin a présenté un intéressant exposé sur l'emploi des méthodes de contrôle statistique dans une importante usine de métallurgie de métaux non ferreux.*

*Dans cet exposé, particulièrement vivant, M. Bazin a parlé de nombreux problèmes, les uns de techniques statistiques, les autres d'organisation générale du contrôle statistique dans une entreprise, en liaison avec les besoins des utilisateurs, les possibilités de la fabrication, les normes généralement adoptées et l'action près du personnel de l'entreprise.*

*Plutôt que d'un exposé méthodologique il s'agit du compte rendu d'une expérience de quelques années dont l'ingénieur chargé d'en assurer la réalisation, ainsi d'ailleurs que son Directeur, semblent particulièrement satisfaits.*

Je crois intéressant d'attaquer le sujet de la manière la plus générale possible et d'indiquer d'abord comment nous avons compris et mis sur pied l'organisation contrôle statistique à la Compagnie Française des Métaux, ou plus exactement, à l'usine de GIVET, puisque c'est l'usine-pilote qui a été choisie pour faire l'expérience, quitte à généraliser par la suite si cette expérience se révélait satisfaisante et payante. L'expérience a donc été commencée il y a environ un an et on m'a demandé de voir tout ce qui pouvait être mis sous contrôle dans les fabrications métallurgiques de l'usine de Givet, et plus tard, de toute la Compagnie Française des Métaux.

Nous avons des fabrications assez diverses. Les clients sont assez divers; les qualités des produits sont soumises à des normes qui ne sont pas toutes les mêmes et, en conséquence, les premiers principes qui nous ont dicté notre plan d'action ont été les suivants :

1° Là où le contrôle total est possible, efficace, satisfaisant et pas cher, il est bien évidemment préférable au contrôle statistique.

2° Nous avons également réalisé sans calcul (nous n'avons pas poussé l'étude aussi loin que Monsieur Courtillot) que dans un certain nombre de cas, le coût de répercussion d'un seul élément défectueux dans un lot pouvait être tel que ça ne valait pas la peine de prendre de risques. Je vous cite par exemple le cas des tubes condenseurs : Si un tube condenseur se révèle défectueux dans une livraison

---

(1) Réunion du 6 Mai 1955, sous la présidence de Mademoiselle Ulmo (Statisticienne à l'Institut de Recherches de la Sidérurgie)

de 10.000 tubes, cela suffit pour mettre toute l'installation en avarie, et amener le client à vous réclamer des dommages et intérêts importants; cela suffit également pour vous mettre en position difficile sur le marché "condenseurs" qui est un marché extrêmement strict sur la qualité. Donc, quand il s'agit de défauts internes du métal, il n'est pas question de contrôle statistique. Le coût de répercussion d'un élément défectueux qu'on laisserait échapper serait trop élevé. Le rapport C/R est voisin de 0 donc, aussi faible que soit le pourcentage d'éléments défectueux dans le lot, le contrôle statistique n'est pas payant.

3° En dehors de cela, nous avons étudié les contrôles existant dans la Compagnie. Il nous est apparu que tous les contrôles partiels qui n'étaient pas faits de manière statistique étaient évidemment dénués d'efficacité. On les faisait un peu sur la base des contrôles imposés par les cahiers des charges les plus connus; on prélevait 10, 15, 20 pièces dans un lot, quelquefois 10 % de l'effectif du lot; 10 % parce que c'est commode, mais c'est absurde. On regardait si les pièces prélevées étaient bonnes; si elles étaient toutes bonnes, on disait que le lot était bon; si elles étaient toutes mauvaises, on disait que le lot était mauvais; s'il y en avait une de mauvaise on regardait un peu de combien elle était mauvaise et la décision était laissée à l'initiative du chef d'atelier ou du chef d'équipe faisant le contrôle. Les résultats des contrôles étaient rarement notés, sauf ceux faits en laboratoires, qui donnaient lieu à des procès-verbaux d'analyse d'essais mécaniques, etc... Pour les études de fabrications, on était assez démuné d'éléments intéressants, et l'efficacité du contrôle, sa sécurité, c'est-à-dire la possibilité de retrouver à un instant donné ce qu'on avait fait comme contrôle sur une livraison donnée était très faible.

La première chose que j'ai donc faite a été de transformer tous ces contrôles partiels existant en contrôles statistiques. J'ai fait ce travail pour plusieurs ateliers de l'usine. Ce sera terminé dans deux ans environ. Cela m'a amené à mettre sur pied une organisation que je crois être maintenant à peu près rodée, organisation générale valable pour tous les ateliers. L'usine se livre en gros aux fabrications suivantes : tubes (tubes cuivre, tubes laitons spéciaux et cupro-nickel étant réservés aux condenseurs et échangeurs de température de quelque nature qu'ils soient) et planches cuivre; donc des produits tubulaires et des produits plats; tout en demi produit. Certains sont livrés à longueur finie, prêts à monter; d'autres sont livrés en longueur courante commerciale; mais enfin, c'est du demi produit. Comme il est normal quand on travaille dans un alliage ou un métal de réutiliser les chutes de fabrication dont on est sûr, du point de vue qualité, nous avons une fonderie qui met les produits sous la forme nécessaire pour le travail. Cette fonderie reçoit donc des métaux neufs de l'extérieur et les transforme en billettes, c'est-à-dire en cylindres de métal plein, ayant un diamètre déterminé en fonction de la fabrication, et en ce que nous appelons des plateaux, c'est-à-dire de gros parallélépipèdes de cuivre plein coulés verticalement et qui sont destinés à faire des planches après laminage. Les différents alliages coulés sont le cuivre et les laitons. Le cuivre est un cuivre particulier. Etant donné que nous fondons dans les fours à induction basse fréquence, qui ne sont pas des fours d'affinage (nous avons des fours d'affinage mais nous ne les utilisons qu'exceptionnellement car la qualité du cuivre obtenu par affinage de déchets est évidemment inférieure à celle qu'on obtient par refonte de lingots de cuivre électro et de chutes de fabrication provenant de lingots de cuivre électro qui sont plus purs) le cuivre que nous fondons dans ces fours est un cuivre désoxydé. On le désoxyde par addition de phosphore de cuivre: la réaction chimique de désoxydation est complexe, fonction de la température, mais c'est une pratique excessivement courante. La qualité cuivre au phosphore est une qualité normalisée en Amérique, normes A S T M: teneur résiduelle en phosphore garantie, 0,015 à 0,035%, fourchette évidemment étroite et difficile à tenir, objet d'un contrôle statistique comme on le verra tout à l'heure. Donc, standards de qualité extrêmement précis, d'où matière à contrôle statistique.

Plateaux comme tubes sont donc tous faits en cuivre désoxydé au phosphore. Les tubes suivent la marche de fabrication suivante : ils sont percés au laminoir; les laitons sont filés à la presse; les ébauchés et percés provenant du laminoir, ou les ébauchés filés provenant de la presse sont ensuite repris par étirage à froid avec un certain nombre de passes, de recuits intermédiaires variables évidemment suivant le format et les dimensions finales à obtenir. Il y a donc beaucoup de contrôles à faire. Quelles sont les normes, les spécifications auxquelles sont soumis ces produits ? Je dois dire que, d'une part, les normes et spécifications de la clientèle sont très variables et que, d'autre part, si on cherche à appliquer la normalisation AFNOR, on tombe parfois sur des normes ou bien difficilement admises par le client parce qu'il les estime insuffisamment serrées, ou bien difficilement applicables parce qu'elles s'éloignent par trop des réalités industrielles. Je crois qu'il y a intérêt à signaler que la normalisation dans le domaine des métaux non ferreux serait utilement revue. Par exemple les normes AFNOR prévoient des qualités de cuivre qui sont intitulées u.9c, u.9d. La qualité u.9d est désoxydée titrant au moins 99,9. Ceci est difficile à obtenir pour un bon cuivre désoxydé au phosphore qui, comme tel, doit contenir du phosphore résiduel, et par conséquent pour lequel la teneur de 99,9 est exagérée. De la sorte, il n'y a pratiquement que le cuivre O.F.H.C. d'origine américaine qui satisfasse à cette condition. Ce cuivre, de qualité tout à fait spéciale, n'est en principe à utiliser que si la soudabilité (qui exige un cuivre sans oxygène) est nécessaire en même temps que la conductibilité électrique (qui exige une teneur élevée en cuivre).

u.9c est un cuivre non désoxydé titrant 99,9 de cuivre et contenant moins de 0,03 d'oxygène. Une teneur en oxygène aussi basse, ne peut, qualité O.F.H.C. mise à part, être obtenue que par désoxydation au phosphore. Mais la teneur en cuivre imposée de 99,9 conduit à laisser très peu de phosphore résiduel, ce qui ne peut permettre d'obtenir un cuivre désoxydé de bonne qualité.

Tout ceci conduit souvent à une incompréhension complète des normes par les clients qui, pour être tranquilles, commandent d'office en qualité O.F.H.C., parce que c'est simplement celle qui figure en tête de la norme, mais qui doit être importée des U.S.A., alors que cela n'est pas nécessaire dans la plupart des cas (cuivre, je le répète, qui n'est utilisé que dans des applications particulières, même dans ce dernier pays).

La norme serait donc à revoir entièrement à cet égard.

En ce qui concerne les états de livraison, il en est de même. On prévoit du métal à l'état quart-dur à 10 % d'écrouissage. Si on livrait à un client demandant du quart dur du métal faisant 10 % d'écrouissage, il pousserait des hurlements; ce serait trop dur pour lui. Nous sommes donc obligés, pour satisfaire notre clientèle, de prévoir un état quart dur qui fait 5 % d'écrouissage. On aurait mieux fait, à l'origine, de prendre un état 1/8 dur, malheureusement, les normes A.F.N.O.R. sont venues après nos conventions.

Melle Ulmo

Cette constatation concernant les normes AFNOR est-elle générale ?

M. Mathieu

Oui, elles sont généralement beaucoup trop hautes pour certains utilisateurs et pratiquement impossibles à respecter.

M. Bazin

Ou, au contraire trop larges, et ce n'est pas très intéressant, parce que quand on veut faire du travail sérieux, le client demande des normes précises. Les normes courantes n'ont pas grand intérêt.

M. Mathieu

C'est-à-dire qu'elles ne sont pas toujours logiques. Elles ne correspondent pas, souvent, aux possibilités de fabrication, parce qu'elles ont été établies dans un temps assez ancien; les moyens de fabrication ont considérablement changé, alors évidemment, la plupart des normes se trouvent, à l'heure actuelle, plus ou moins caduques.

M. Hibon

J'avais justement signalé les difficultés concernant la désignation d'écrouissage.

M. Bazin

Dans ce cas, vous pouvez garantir un minimum puisque vous livrez un métal qui a été déformé par un procédé géométrique, déformation plastique, vous connaissez sa section initiale et sa section finale; le rapport de la formule de "Grard"

$$\frac{\text{section initiale} - \text{section finale}}{\text{section finale}}$$

est extrêmement commode. Les désignations de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % sont suffisantes. On sait que pour un écrouissage de 5 %, on a des allongements entre telles limites. Tous les fournisseurs ne donnent pas sous la même rubrique "quart écrouis", des métaux de mêmes caractéristiques.

Les normes ont été faites un peu pour satisfaire tous les besoins de tous les clients, besoins excessivement différents. Il aurait peut-être mieux valu se retourner vers les industriels, les possibilités d'une industrie à un instant donné étant pratiquement les mêmes partout. Pour les métaux non-ferreux, l'équipement est pratiquement le même dans toutes les compagnies. Les métaux sont les mêmes, ainsi que les méthodes de travail, ce qui fait qu'avec un peu de bonne volonté, tout le monde peut tenir les mêmes tolérances. Seulement, au moment où l'on a établi les normes, on a dû être gêné par l'absence de contrôle statistique dans les usines; les industriels n'ont pas dû pouvoir fournir à cette époque les données suffisantes pour pouvoir asseoir des normes dessus. Je crois qu'avec le développement du contrôle statistique, on pourrait reprendre maintenant le problème sur des bases plus solides.

Melle Ulmo

Ce serait à voir avec l'AFNOR.

M. Bazin

Je reviens donc à l'organisation que nous avons faite. Le contrôle va donc porter sur la composition des alliages ou la pureté du métal, titre du cuivre, dosage du phosphore, titre des laitons, dosage des éléments d'addition - pour les tubes condenseurs en particulier, c'est excessivement important puisqu'on coule des laitons spéciaux à 2 % d'aluminium, imbibés à l'arsenic pour empêcher la dézincification - arsenic compris entre 0,020 et 0,100.

Il va y avoir également des contrôles de poids - il faut savoir combien de métal il a fallu couler pour sortir tant de métal fini - et des contrôles dimensionnels. Les contrôles dimensionnels sur les diamètres ont peu d'intérêt si on veut tenir les tolérances AFNOR qui sont très larges. Le diamètre d'un tube, c'est le diamètre de la filière dans lequel il est passé, il y a un petit maigrissement par la suite, mais c'est peu de chose. Mais, si on veut tenir les tolérances réduites pour l'exportation  $\pm 0,025$  sur le diamètre extérieur, il est évident qu'il faut serrer.

L'épaisseur, pour les tubes condenseurs, est une caractéristique fondamentale, puisque tous les tubes condenseurs doivent résister à la corrosion et doivent être livrés avec une épaisseur minima, épaisseur théorique demandée par le client. Un tube de 1mm d'épaisseur ne doit présenter en aucun point une épaisseur inférieure à 1mm. C'est une caractéristique de première importance et un contrôle délicat aussi. On mesure également l'excentricité des tubes. En principe, un tube est constitué par un diamètre extérieur, un diamètre intérieur et du métal entre les deux : sur toute la longueur on devrait avoir 2 cylindres. En fait, ce sont deux tire-bouchons qui se promènent l'un dans l'autre (vus avec un fort grossissement). Le cercle intérieur présente une certaine excentricité par rapport au cercle extérieur; si on appelle x la distance des centres, on a entre l'épaisseur la plus forte M et l'épaisseur la plus faible m mesurée sur le tube la relation :

$$M - m = 2 x$$

On appelle excentrage cette quantité  $2 x$ . Elle est facile à mesurer : c'est la différence entre les deux épaisseurs, la plus forte et la plus faible. Cet excentrage varie aléatoirement tout le long du tube (je m'en suis assuré) et les normes nous imposent de le maintenir dans certaines limites. Pour le cuivre, par exemple, l'excentrage, c'est-à-dire la différence entre la plus forte et la plus faible épaisseurs mesurées sur un tube doit être inférieur à 10 % de l'épaisseur minima. On tient sans peine ces tolérances mais il faut contrôler.

En dehors de cela, il y a les contrôles de "caractéristiques mécaniques" qui sont relativement importants sur les produits comme les planches, et moins importants sur les produits comme les tubes. Les tubes cuivres sont des tubes sanitaires; pour monter les conduites d'eau dans les lavabos, on les livre durs; s'il faut les former, les gonfler, on les livre mous; il n'y a pas de difficultés. Pour les tubes condenseurs, la caractéristique importante est le grain. Pour les planches, c'est le grain également; pour avoir une planche de cuivre apte à l'emboutissage, nous cherchons à avoir la résistance la plus élevée possible avec l'allongement le plus élevé possible. Cela paraît contradictoire, en fait, ça ne l'est pas. En effet, sur du métal recuit, la résistance et l'allongement ne varient pas en sens inverse. Si on recuit le métal de manière très poussée, la résistance diminue et l'allongement aussi. Si on recuit le métal juste à la cristallisation, on se trouve dans la zone où l'allongement augmente et où la résistance diminue. On arrive donc, en jouant sur le grain du métal, qui est le témoin de la température de recuit, à avoir un métal ayant une forte résistance et un grand allongement. L'idéal, c'est d'avoir la limite élastique la plus faible possible, de manière que sous le poinçon, le métal atteigne tout de suite le stade de déformation plastique (la déformation élastique est de l'effort perdu pour le poinçon). Ce sont les critères que nous avons retenus; le cuivre au phosphore répond à ces critères puisque, à allongement égal avec le cuivre-électro, il a une résistance plus forte et une limite élastique plus basse; il s'écroute plus vite.

Il faut donc contrôler le grain. Le phosphore a un effet bénéfique puisqu'il empêche le grossissement du grain, mais néanmoins, le contrôle du grain ne peut pas se faire uniquement par la teneur en phosphore. Nous faisons aussi des contrôles de dureté.

Tout ceci représente un certain nombre de mesures faites tous les jours. Pour les contrôles dimensionnels, les mesures sont faites en atelier, au "Palmer" presque uniquement; le calibre n'aurait qu'un intérêt très faible étant donné que nous travaillons sur un très grand nombre de diamètres. Il faudrait un tel arsenal de calibres que, pratiquement, nous avons préféré nous en tenir au "Palmer" et soigner la qualité des "Palmer", car ce sont des engins qui sont facilement défectueux. Vous trouvez des palmers qui vous garantissent  $\pm 1/100$  pour les engins de contrôle;  $\pm 2/100$  pour les engins de contrôle courant; et  $\pm 1/1000$  pour les engins de précision. Je ne connais pas beaucoup de palmers donnant  $\pm 1/1000$ .

Melle Ulmo

Avez-vous fait la mise sous contrôle des palmers eux-mêmes ?

M. Bazin

On fait des étalonnages sérieux des palmers, des remises à 0; on contrôle tous les jours les instruments de mesure. Quand je forme des contrôleurs, le point sur lequel j'insiste le plus, c'est la conscience, l'honnêteté et la précision dans les mesures.

M. X...

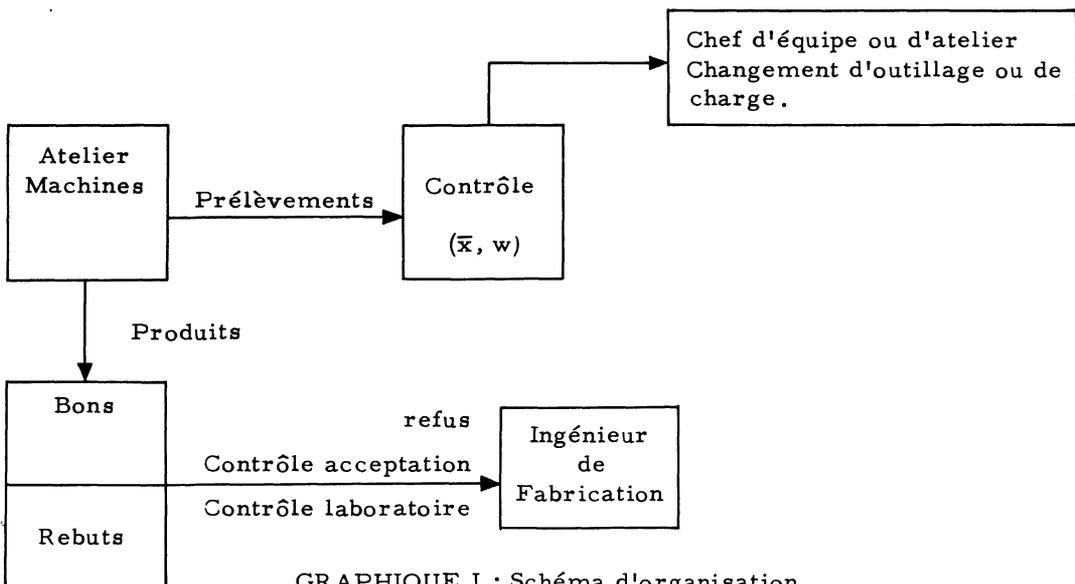
Est-ce qu'il ne serait pas possible d'utiliser des appareils Solex ?

M. Bazin

Si, Solex, Etamic, ou appareils du même genre, en en limitant l'usage à un certain nombre de fabrications faites toujours dans les mêmes conditions et demandées à l'exportation avec des tolérances vraiment serrées. Car l'inconvénient de l'Etamic, c'est qu'il faut changer la tête de mesures chaque fois qu'on change de diamètre, et que les têtes sont assez coûteuses.

Les contrôles de dureté sont faits, en principe, au laboratoire. Les contrôles caractéristiques mécaniques (résistance, allongement, limite élastique), les contrôles d'analyse chimique sont faits également au laboratoire. Les contrôles de conductibilité se font au laboratoire ou éventuellement dans les ateliers.

Les deux documents de base sont de deux natures différentes : l'imprimé du contrôleur en atelier qui sert de base aux calculs simples et l'imprimé revenant du laboratoire avec les résultats, qui arrive toujours avec un certain retard. Donc, il y a des contrôles à court terme entraînant une réaction rapide de l'atelier, ce sont les contrôles dimensionnels et le calibrage des outillages; et il y a les contrôles à échéance un peu plus reculée : contrôles de conformité des produits fabriqués et contrôle éventuellement des réglages des fours, qui ne peuvent pas entraîner de réactions rapides de l'atelier parce que les résultats arrivent un jour ou deux après que la carte ait été envoyée. Il en résulte le schéma d'organisation suivant :



GRAPHIQUE I : Schéma d'organisation

Il y a d'abord l'atelier avec les machines et les cartes de contrôle machines. Ces machines sortent des produits finis, lesquels sont divisés en deux : les produits bons qui vont chez le client et les rebuts. Sur les produits, on fait également des prélèvements qui sont contrôlés et portés en carte de contrôle; nous utilisons en général la moyenne et l'étendue ( $\bar{x}$ ,  $w$ ) car on ne peut pas demander à un contrôleur en atelier de calculer des écarts-types; si sur la carte de contrôle les moyennes ou étendues sortent des limites de contrôle qui ont été tracées, le contrôleur a la consigne d'aller prévenir le responsable chargé de la machine (chef d'équipe, voire chef d'atelier) et obtenir qu'on change l'outillage; ou qu'on sermonne l'ouvrier si son travail n'est pas correct; ou qu'on change de charge si la charge présente un excentrage exagéré; bref, réaction d'autorité. A l'échelon atelier, maîtrise, on exerce donc, par des procédés très simples, très parlants (carte de contrôle) une pression sur le personnel, contremaître et chef d'équipe. C'est le premier stade du contrôle de qualité.

Sur les produits, il y a, comme je vous le disais, les contrôles faits en laboratoire; les résultats ne reviennent du laboratoire qu'après un certain temps; nous verrons tout à l'heure l'utilisation qu'on en fait. On fait également, sur les produits, des contrôles-acceptation-refus, par des tests classiques. Le résultat du test monte directement à l'ingénieur chargé de l'atelier, ingénieur de fabrication. C'est lui qui, au vu du test décide : on rebute et on retrié, ou on laisse passer. La fabrication conserve jusqu'au bout la responsabilité de son travail. Le contrôle ne fonctionne actuellement qu'à titre indicatif. Il est bien entendu d'ailleurs, étant donné que nous avons été très épaulés par la Direction, à l'usine de Givet, que l'ingénieur de fabrication se conforme dans 99 cas sur 100 à la décision du contrôle. Mais, au lieu de se présenter comme un importun qui vient imposer des décisions à ceux qui ont la charge de la fabrication, on se présente au fond comme un auxiliaire qui donne des indications, qui cherche plutôt à guider qu'à contraindre; ceci facilite pas mal le travail. Psychologiquement, c'est une bonne formule.

#### Melle Ulmo

Est-elle appliquée par d'autres ?

#### M. Hibon

Oui, en très grande partie. Il n'y aurait que dans le cas d'opposition entre le contrôleur-chef et l'ingénieur responsable des fabrications que l'on demanderait l'arbitrage de l'ingénieur en Chef ou de la Direction; mais c'est extrêmement rare.

#### M. Bazin

Il est bien entendu d'ailleurs que le contrôle a néanmoins une certaine responsabilité. Si on démontre au contrôleur, par un super-contrôle, qu'il a fait des mesures fausses, il est bien évident que le contrôleur "encaisse". Si, d'après le résultat des tests et des calculs un lot est considéré comme acceptable, et si par malheur le client trouve 50 % d'éléments défectueux dans ce lot, la probabilité d'acceptation d'un lot ayant 50 % d'éléments défectueux étant pratiquement nulle, j'en conclurai que quelque chose ne va pas et je regarderai ce qui s'est passé. Pratiquement, je n'ai pas vu le cas se produire depuis l'introduction du contrôle statistique. Par contre j'ai vu le cas se produire avant. Il s'agissait de tubes spéciaux dont les duretés "Rockwell" devaient être comprises entre 70 et 86 points. L'atelier faisait son petit contrôle; il prélevait 10 tubes dans un lot de 200 et acceptait le lot si tous les 10 étaient bons. Un lot de 10.000 tubes avait été contrôlé par ce procédé. Le client nous dit : "j'ai fait un échantillonnage sur ce lot de 10.000; nous avons pris 60 tubes au hasard et nous avons trouvé 50 % de tubes défectueux. En regardant les abaques qui donnent, en fonction du pourcentage

d'éléments défectueux trouvés dans l'échantillon, le pourcentage probable d'éléments défectueux dans le lot, on constate, au seuil 95 %, que :

1° Si l'on trouve 0 défectueux sur 10 tubes, la proportion de défectueux du lot est inférieure à 30 %.

2° Si l'on trouve 50 % de défectueux sur 60 tubes (c'est-à-dire 30 tubes défectueux) la proportion de défectueux du lot est supérieure à 35 %.

Nous avons donc dit au client : "Vous devez faire erreur; trie le lot à 100 % et nous paierons les frais si nous sommes dans notre tort".

Il s'est alors aperçu que les 60 tubes prélevés soi-disant au hasard avaient, en fait, été prélevés sur le dessus de la charge.

Voyons maintenant le reste de l'organisation. On a des résultats provenant des ateliers et du laboratoire; on les exploite de la manière suivante : tous les imprimés ayant donné lieu à des enregistrements de résultats de contrôle sont regroupés à un bureau central (des calculs et fiches statistiques) et servent à l'établissement d'histogrammes. Ces histogrammes sont arrêtés dès qu'il y a un nombre de mesures que j'ai fixé à 300. Les mesures faites en laboratoire sont également regroupées sur histogrammes; on les pointe en général sur cartes de contrôle mais en calculant en général la moyenne et l'écart-type.

Je préfère utiliser l'écart-type parce qu'on a tout de même plus de sécurité et, comme les mesures en laboratoire coûtent assez cher, ce serait fâcheux de perdre de l'efficacité et de la sécurité pour s'épargner deux minutes 1/2 de calculs.

#### Melle Ulmo

Les histogrammes sont-ils relatifs aux moyennes, ou bien reprenez-vous tous les résultats ?

#### M. Bazin

Tous les résultats individuels sont reportés sur l'histogramme au fur et à mesure de leur arrivée. Les histogrammes sont arrêtés à 300 mesures. J'ai deux employés au bureau du contrôle. Le premier fait les histogrammes, calcule les écarts-types et calcule également les tests acceptation-réfus (c'est-à-dire effectue les calculs courants), il établit les histogrammes bruts et les envoie à un 2ème employé, un peu supérieur comme formation, qui est chargé des études. Celui-là se livre, sur les histogrammes à des tests de normalité, test graphique par droite de Henry quand on est pressé; quand la question est d'importance et vaut la peine d'être regardée de près, on fait le test du  $x^2$  - avec une bonne machine à calculer, cela va assez vite.

Ces histogrammes servent à établir des graphiques récapitulatifs de qualité. On porte en fonction du temps la moyenne de l'histogramme et les limites entre lesquelles on doit trouver 95 % des éléments de la population. Ces graphiques servent de récapitulatifs de qualité pour pouvoir suivre dans le temps l'évolution des moyennes, l'évolution de la dispersion. Ces graphiques sont soumis à la Direction périodiquement, une fois par mois. Ce serait perdre son temps que calculer les limites de dispersion sur un histogramme qui s'écarterait beaucoup d'une loi normale. Si le test de normalité ne permet pas d'assimiler l'histogramme obtenu à une loi normale on se contente de le placer par rapport aux tolérances et de voir la proportion de points extérieurs. On précise sur l'histogramme qu'il s'agit de limites observées et non calculées. En général, je trouve des normalités à peu près acceptables; les différences entre pourcentages observés d'éléments hors tolérances et pourcentages probables sont de l'ordre de 1 à 2 %,

quelquefois moins. On arrive, dans le cas de tenue de tolérance très satisfaisante à avoir une concordance à 0,5 % près. Dans l'ensemble, c'est assez satisfaisant.

Melle Ulmo

Y a-t-il d'autres personnes, dans l'assistance, qui ont utilisé les tableaux récapitulatifs sous forme d'histogrammes et qui se livrent, à la suite du contrôle statistique, à des tests de normalité ou autres ?

M. Goureau

Nous avons, à USINOR, beaucoup d'histogrammes mais nous n'avons pas de contrôle statistique. Autrement dit, nous faisons l'opération finale dans les bureaux centraux mais la carte de contrôle n'existe pas encore. Le problème est à l'étude.

Melle Ulmo

A quoi vous sert exactement cette dernière opération ?

M. Goureau

C'est simplement une observation très à posteriori de ce qui s'est passé, pour éventuellement voir quels sont les secteurs où on pourrait mettre une carte de contrôle.

M. Bazin

A mon avis, l'histogramme est un bon moyen de synthèse et de récapitulation, c'est un moyen de pression pour l'amélioration de la qualité à l'échelon Direction d'Usine et Ingénieurs. Cela permet à un directeur d'appeler un de ses ingénieurs et de lui dire : "Il y a quelque chose qui ne va pas, vous avez fait 15 % d'éléments hors tolérances le mois dernier, pourcentage calculé sur 300 mesures; regardez donc ce qui se passe". Ces histogrammes sont établis en 4 exemplaires et sont envoyés, l'un à l'ingénieur intéressé par la fabrication, 1 au directeur de l'usine, 1 au laboratoire pour information et 1 chez moi. Nous avons donc des collections tenues à jour où chacun peut trouver son bien quand il en a besoin pour des études. Le graphique récapitulatif résume l'histogramme dans le temps.

Les histogrammes et les mesures enregistrées servent également à différentes études de fabrication qui sont presque toutes à base d'analyse de la variance. En particulier, pour déterminer les limites de contrôle, nous calculons l'écart-type moyen soit d'après l'amplitude moyenne, soit d'après la moyenne des écarts-types des différents échantillons. On obtient ainsi évidemment l'estimation de l'écart-type instantané (variabilité instantanée du lot par rapport à sa moyenne). Il arrive quelquefois que les moyennes varient beaucoup sans qu'on en sache les causes, et sans qu'on puisse y remédier. Prenons, par exemple, des caractéristiques mécaniques; on sait très bien que, quand on recuit des lots dans des fours statiques, on a beau régler le four à la même température, deux lots recuits à la suite n'auront pas les mêmes caractéristiques moyennes, ou tout au moins, les différences seront statistiquement significatives, compte tenu de la dispersion à l'intérieur de chaque lot. Si vous estimez dans ces conditions l'écart-type à partir de la moyenne des écarts-types des échantillons successifs, vous obtiendrez pour l'écart-type des limites de contrôle extrêmement serrées, entre lesquelles les écarts-types de vos échantillons se tiendront superbement. Vous obtiendrez également pour les moyennes des limites extrêmement serrées, mais les moyennes ne s'y tiendront pas. Vous irez dire aux gens : "c'est anormal". Ils vous répondront : "On le sait bien, mais on n'y peut rien. Faites des transformations, achetez un four à passage, par exemple". Remarquez d'ailleurs que la question

n'est pas tellement d'assurer des produits rigoureusement identiques à eux-mêmes mais plutôt d'assurer des produits dans les tolérances. Il est alors indiqué d'utiliser, au lieu des limites de contrôle classiques des limites reliées aux tolérances. (Les méthodes étudiées par M. Cavé dans son ouvrage "Le contrôle statistique des fabrications" sont celles qui m'ont rendu le plus de services pour ces problèmes). Avoir des limites de contrôle reliées aux tolérances, c'est d'autant plus intéressant que, comme la variabilité à l'intérieur des lots est très faible, vous êtes amenés à décaler vos limites de contrôle par rapport aux tolérances d'une quantité  $t\sigma$  faible, ce qui vous laisse une très grande latitude pour laisser jouer votre moyenne. Vous constatez alors que des fours de traitement thermique qui vous donnent des résultats que l'on ne peut pas considérer comme statistiquement homogènes, sont néanmoins largement suffisants compte tenu des tolérances demandées par le client. On ne risque pas d'imposer inutilement à l'atelier des limites trop sévères et des réglages inutiles.

L'analyse de la variance sert également à affiner les estimations de l'écart-type. On est parfois amené à prendre comme estimation de l'écart-type celle qu'on a sur l'histogramme. Si la fabrication est à peu près sous contrôle, elle est bien homogène, l'écart-type de l'histogramme ne doit pas notablement différer de l'écart-type moyen calculé d'après les échantillons. Il est bon, de temps à autre, de faire une analyse de la variance pour s'assurer qu'il n'y a pas de différence significative entre les différents échantillons. Par exemple, on suit la dureté des tubes de formats différents, en traitant l'ensemble des tubes de divers formats comme une population homogène; il est bon de s'assurer de temps à autre que, d'un format à l'autre, il n'y a pas eu de changement significatif. Il arrive en effet qu'on change un peu, pour chaque format, les vitesses de passage dans le four.

En résumé, les résultats des mesures faites dans l'atelier en cours de fabrication sont regroupés sous forme d'histogrammes, de graphiques récapitulatifs, synthèses qui sont destinées aux renseignements. Les contrôles appelant une réaction d'autorité sont :

- 1° Les contrôles par carte : réaction d'autorité au niveau de l'atelier.
- 2° Les tests acceptation-refus : réaction d'autorité de l'ingénieur chargé de l'atelier.
- 3° D'après les graphiques récapitulatifs et les histogrammes : réaction d'autorité de la Direction pour pression sur ses ingénieurs.

Nous avons donc à tous les stades, actuellement, les moyens d'imposer le contrôle même aux gens qui sont un peu réticents. Pratiquement, on n'a pas eu beaucoup de difficultés. On a adopté des formules qui, tout de même, "collaient" à peu près aux habitudes de l'usine; cela s'est passé en souplesse.

Je voudrais vous dire maintenant un mot des méthodes employées. Nous n'avons pas, malheureusement, à la Compagnie, de théoriciens capables de résoudre des problèmes difficiles. Nous avons cherché, dans toute la documentation dont nous disposons, les méthodes qui nous paraissaient convenir le mieux à nos problèmes. J'en ai fait, pour ce qui est des tests des études, une petite récapitulation en un petit guide pratique de calcul à l'usage de l'employé chargé des études. Son seul mérite, c'est de réunir, sous un volume relativement faible, des résultats qu'on ne trouverait que dans une bibliothèque de taille imposante, qui devrait exister en trois exemplaires au moins, dans l'usine, si on voulait qu'il y en ait pour tout le monde. Nous avons appliqué aussi des méthodes de contrôle qui commencent maintenant à être classiques, méthodes de contrôle d'excentricité, par exemple. Nous avons vérifié sans peine que le carré de l'excentricité constatée sur les tubes suit une loi du  $x^2$ , d'où carte de contrôle particulière. Nous avons pris les limites indiquées par M. Mothes dans son livre; cela marche très

bien. On décèle, grâce à cette carte, des dérèglages dus à des erreurs du personnel ou à des erreurs de chauffe; on les signale et tout rentre dans l'ordre.

Je vous signale aussi une méthode très intéressante à mon avis que nous employons extensivement pour le contrôle acceptation-refus. C'est la méthode préconisée par Bowker et Goode dans le livre "Sampling by variables". On prélève un échantillon de  $n$  pièces, on mesure la caractéristique à contrôler, l'épaisseur par exemple, on calcule la moyenne  $m$  de l'échantillon, l'écart-type  $s$  et on forme les combinaisons

$$m + k s ; m - k s$$

$k$  étant donné en fonction de l'efficacité qu'on veut obtenir (à la fin de l'ouvrage se trouvent les courbes d'efficacité correspondant à l'effectif  $n$  de l'échantillon et aux différentes valeurs de  $k$ ).

Deux cas peuvent se présenter :

1° Vous avez à tenir une seule tolérance. Si c'est une tolérance inférieure  $T_i$ , vous acceptez le lot si  $m - ks > T_i$ ; vous rebutez le lot et vous le trie à 100 % si  $m - ks < T_i$ . Si c'est une tolérance supérieure  $T_s$ , vous acceptez le lot si  $m + ks < T_s$ .

2° Vous avez deux tolérances à tenir. La méthode précédente peut s'appliquer dans le cas où les tolérances sont très écartées : on applique individuellement chacune de ces inégalités; une seule non réalisée entraîne automatiquement le rebut du lot. Bowker et Goode fixent pratiquement  $T_s - T_i > 8\sigma$  pour pouvoir raisonner séparément sur les deux limites. Pour  $T_s - T_i < 8\sigma$ , ils proposent une méthode graphique assez intéressante, mais qui demande des calculs préalables; il faut faire un petit diagramme qui détermine une zone d'acceptation et une zone de refus. Je ne l'ai pas mise à l'essai; je ne peux pas vous dire ce qu'elle vaut. Mais dans le cas des tolérances larges ( $T_s - T_i > 8\sigma$ ) je n'ai pas eu de difficultés.

#### Melle Ulmo

Y a-t-il quelqu'un qui ait appliqué cette méthode ? Je pense que la plupart d'entre vous font du contrôle aux attributs plutôt que du contrôle par variables.

#### M. Sergent

Je l'ai appliquée pour le contrôle à la réception de raideurs de ressorts et cela marche assez bien.

#### M. Bazin

Cela suppose évidemment que la distribution dans le lot est acceptablement normale. Là encore, il ne faut pas être trop absolu. Si la distribution est normale, le calcul marche toujours; si elle n'est pas normale et s'il s'agit d'un mélange de deux populations d'importance à peu près équivalente, avec de la chance, vous aurez des échantillons prélevés un peu dans les deux populations. La moyenne va tomber quelque part au milieu mais l'écart-type va être beaucoup plus élevé que chacun des écarts-types individuels (fig. 1).

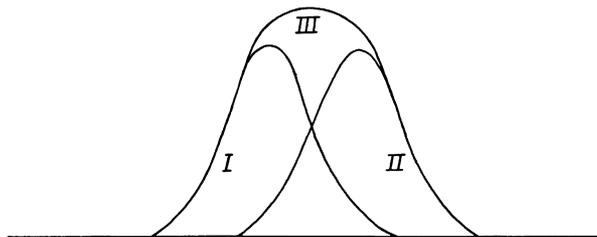


Fig. 1

Si l'écart-type de III est nettement plus élevé que l'écart-type vrai (de I et II) vous serez donc plus sévère qu'il n'est nécessaire mais il vaut mieux l'être trop que pas assez. Le cas évidemment fâcheux, c'est le cas où vous avez le mélange de deux distributions d'importance extrêmement différente, une distribution de 800 éléments et une de 50 éléments, par exemple. Si vous prélevez 20 tubes, vous avez alors très peu de chances d'en sortir beaucoup de la distribution correspondant aux 50 éléments. C'est la faiblesse de la méthode. Nos lots de fabrication comprenant un assez grand nombre d'éléments étirés avec un assez grand nombre d'outillages différents on obtient en pratique des mélanges de 3 ou 4 populations normales de moyennes assez voisines. L'ensemble est très acceptablement normal, et je n'ai jamais eu de surprises désagréables. Chaque fois qu'on a refusé un lot on a trouvé au tri à peu près ce qu'on cherchait et les lots qui ont été acceptés n'ont jamais donné lieu à aucune réclamation. Une table du livre de Bowker et Goode donne l'économie de prélèvements que donne le contrôle par mesures, par rapport au contrôle par attributs. Si je me souviens bien, l'économie de prélèvements va de 15 % pour les petits lots à 97 % pour les gros lots. C'est-à-dire que même dans les cas intermédiaires, c'est excessivement intéressant.

#### Melle Ulmo

Tout dépend du prix du contrôle par attributs par rapport au prix du contrôle par mesures.

#### M. Bazin

Dans le cas de notre fabrication, l'économie varie de 34,6 % pour les lots d'environ 250 pièces à 91,5 % pour les lots d'effectif très élevé pour lesquels on aurait prélevé en contrôle par attributs 1.000 pièces. C'est donc intéressant. Dans mon cas, c'est encore plus intéressant parce que ce n'est pas facile de prélever un échantillon sur un produit métallurgique. Faire une mesure sur un tube, cela veut dire couper un bout de tube. Couper un bout de tube qui fait 5 m, c'est une entreprise assez longue et assez désagréable. On est limité en nombre de prélèvements, il y a donc intérêt à utiliser les méthodes les plus économiques. Lorsque le contrôle par calibres ne pose pas de problème, le contrôle par attributs reprend de l'intérêt du point de vue économique.

#### M. Sergent

Votre méthode est intéressante. On peut l'appliquer sans avoir à calculer l'écart-type. Il suffit de séparer l'échantillon en plusieurs sous-échantillons, de prendre l'étendue de chaque sous-échantillon et de faire la somme. C'est beaucoup plus simple.

#### M. Bazin

Les calculs sont faits à la machine au bureau de contrôle. Un test acceptation-refus demande 5 à 7 minutes de calcul pour 20 tubes.

Nous doublons le contrôle aux mesures par le contrôle aux attributs mais pour la raison inverse. Quand nous contrôlons par exemple des diamètres de tubes, le contrôle par mesures peut indiquer que le lot est bon, bien qu'il y ait un ou deux éléments hors tolérances dans l'échantillon. Or, d'après la pratique de l'étirage, nous savons que s'il y a un ou deux tubes qui ne sont pas au diamètre, c'est qu'on les a étirés avec une filière qui n'était pas bonne, et il y en a sûrement d'autres mauvais. Pour parer justement à cette difficulté, on fait un double échantillonnage; on se fixe des limites pour  $m + ks$  et  $m - ks$  et on se fixe les nombres

pour acceptation et pour refus, pour la proportion de défectueux. Par exemple, pour les lots de 800 tubes, si dans un échantillon de 60 tubes, on en trouve deux qui sont mauvais, on refuse le lot même s'il satisfait aux conditions d'acceptations par mesures.

Melle Ulmo

A ce moment-là, l'économie des prélèvements est moindre.

M. Bazin

Non. Je prends pour les deux contrôles le nombre de prélèvements correspondant au niveau de qualité que je me suis fixé pour le contrôle par mesures. Je sais que mon contrôle par attributs aura une efficacité moindre, en moyenne. Donc, en moyenne, les lots acceptés au contrôle aux mesures doivent toujours être acceptés au contrôle par attributs. Mais, de temps à autre, il n'en est rien.

Je vais maintenant vous dire un mot de la méthode de contrôle que nous utilisons pour les épaisseurs des tubes. Comme je vous l'ai dit, les tubes présentent un excentrage. Il faut donc définir l'épaisseur. C'est un problème qu'on rencontre également pour les fils ovalisés. Quand vous mesurez le diamètre d'un fil, parlez-vous du mini, du maxi, ou du moyen ? Une planche laminée ne fait pas la même épaisseur sur les bords et au milieu; parlez-vous de l'épaisseur moyenne (correspondant au poids de la planche), de l'épaisseur médiane  $\mu$  (c'est un terme impropre, mais usité à Givet) qui correspond à la moyenne entre la plus faible et la plus forte épaisseur; de l'épaisseur mini  $m$  ou de l'épaisseur maxi  $M$  ?

La solution que j'ai adoptée est presque rigoureuse à un petit détail près. L'épaisseur maxima mesurée sur un produit présentant de l'excentrage est égale à l'épaisseur médiane plus l'excentrage :

$$M = \mu + x$$

(Par épaisseur médiane, j'entends la moyenne arithmétique de la plus forte et la plus faible épaisseurs mesurées sur un produit :  $\mu = (M + m)/2$ ). L'épaisseur minima est égale à la médiane moins l'excentrage :

$$m = \mu - x$$

Les deux variables  $\mu$  et  $x$  sont indépendantes. Pour les tubes, l'épaisseur médiane ne dépend que de la différence de cote, entre la filière et le mandrin qui ont servi à l'étirage. L'excentrage ne dépend que du passé des ébauches. Les ébauchés ont été filés à la presse, ils ont pris un certain excentrage, ils le conserveront en valeur relative pendant toute la fabrication. On doit donc avoir, d'après la propriété d'additivité des variances,

$$\sigma_m^2 = \sigma_M^2 = \sigma_\mu^2 + \sigma_x^2$$

Le seul point où j'avoue pêcher est que l'excentricité ne suit pas une loi normale. Mais, à l'approximation près des mesures, on peut considérer que la loi est normale, les variances étant additives dans l'hypothèse envisagée de l'indépendance. On peut donc représenter une population d'épaisseurs de tubes, de planches ou de fils, par le schéma suivant (fig.2)

Les épaisseurs minima sont réparties suivant une loi de Gauss (I)  
 Les " maxima " " " " " " " " (II)

La distance entre les moyennes  $\bar{m}$  et  $\bar{M}$  est égale à deux fois l'excentricité moyenne :  $\bar{M} - \bar{m} = 2 \bar{x}$

Les épaisseurs médianes suivent une loi de Gauss de dispersion très inférieure puisque  $\sigma_\mu^2 = \sigma_m^2 - \sigma_x^2$

Tout le problème revient à placer cet ensemble de 3 distributions dans un intervalle de tolérances donné. Prenant toujours la méthode préconisée par M. Cavé, on calcule l'écart-type  $\sigma_m$  de la distribution des minima et on considère une limite située à une distance  $\tau \sigma_m$  de la tolérance inférieure  $T_i$ ,  $\tau$  étant choisi en fonction de l'effectif des échantillons et de l'efficacité que l'on veut obtenir. En

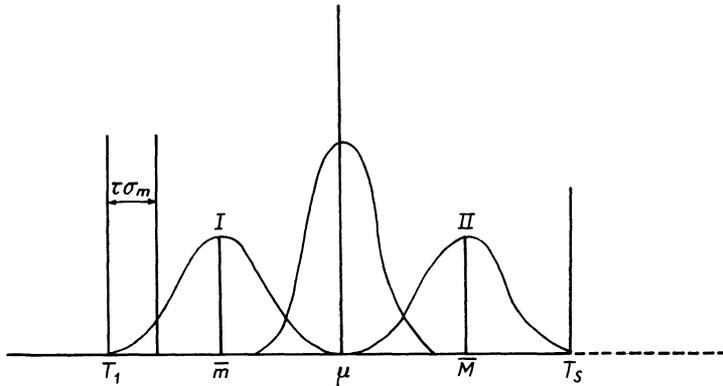


Fig. 2

pratique, je travaille avec des échantillons de 5 tubes et j'utilise un coefficient  $\tau$  de l'ordre 1,8 à 2,3 suivant le niveau du contrôle; ceci correspond à un risque de 1 % d'accepter comme convenable un lot présentant 10 % d'éléments en dehors de la tolérance. En cours de fabrication, c'est tout à fait acceptable. J'ai donc déterminé la limite pour le minima. Pour le maxima, je peux faire la même chose :  $\tau \sigma_m$ . Vous me disiez hier que, pour la médiane, il suffit de prendre le milieu de l'intervalle de tolérance, de calculer  $\sigma_\mu$  et de prendre des limites de contrôle à  $1,96 \sigma_\mu$ . En pratique, nous ne faisons pas ainsi parce que ce qui nous intéresse, c'est que la médiane soit centrée de telle manière que les maxi et les mini mesurés sur les tubes soient dans la tolérance et non que la médiane soit centrée au milieu de l'intervalle de tolérance. Les tolérances de la médiane sont donc reliées aux tolérances sur maxi et mini. Le calcul est assez simple. On a pour la limite inférieure de contrôle la valeur suivante :

$$LIC = T_i + \tau \sigma_m + t_\alpha \frac{\sigma_m - \sigma_\mu}{\sqrt{n}} + \bar{x}$$

( $t_\alpha$  correspondant au niveau  $\alpha$  de contrôle choisi;  $t_\alpha = 3,09$  pour  $\alpha = 2 \text{ ‰}$ .  $\bar{x}$  = excentricité moyenne calculée sur les tubes, quantité connue). La limite supérieure de contrôle se calcule de la même manière. Dans le cas où vous n'avez qu'une tolérance à tenir (tolérance inférieure, par exemple pour les condenseurs) vous fixez comme précédemment la limite inférieure, vous déterminez la limite supérieure en fonction du dépassement de poids admis par le client. Ceci permet de dire à l'étireur : Pour faire des tubes en toute sécurité au-dessus d'une valeur minima donnée, il faut que la moyenne de 5 médianes tombe entre les limites fixées. Si elle sort des limites, on change d'outillage.

La carte de contrôle se présente donc de la manière suivante : On porte en traits pleins les limites de contrôle pour les mini; les moyennes de 5 médianes mesurées sur l'échantillon sont portées en traits pleins; les moyennes des 5 mini sont portées en pointillé. Quand une moyenne des médianes sort, par en haut ou par en bas, on change l'outillage. Quand le point moyenne des médianes tient bien entre les limites et que le point moyenne des mini sort des limites, il y a un excentrage trop fort. On change alors l'outillage de manière à avoir un dépassement plus marqué vers le haut, sans dépassement vers le bas, la tolérance mini étant la plus importante à respecter.

M. Michel me parlait hier du cas des fils ovalisés. Il considère que l'ovalisation moyenne sur ses tubes est de l'ordre de grandeur de la précision des mesures et qu'on ne peut pas considérer qu'elle varie substantiellement d'un bout à l'autre du fil. Cela conduit à considérer que l'ovalisation est constante.

$$\sigma_{\mu} = \sigma_m \quad \text{donc} \quad \sigma_m - \sigma_{\mu} = 0$$

La formule de calcul de la limite de contrôle serait :

$$LIC = T_j + \tau \sigma_m + \bar{x}$$

Ceci revient à retrancher à l'intervalle de tolérance une quantité égale à la moitié de l'ovalisation moyenne de chaque côté. Vous avez ainsi la carte de contrôle des diamètres moyens. J'ai adopté cette carte de contrôle pour des planches de faible épaisseur pour lesquelles on pouvait considérer en moyenne que les différences d'épaisseurs entre bords et milieux étaient à peu près constantes et de l'ordre de grandeur de 4/100 à peu près. Cela peut aller quand on fait un contrôle finition acceptation-refus; les résultats obtenus en cours de fabrication étant confirmés par le contrôle finition.

Je n'aurai guère le temps de parler des études que nous faisons à Givet. Je me contente simplement de vous signaler qu'on utilise le plus possible les techniques statistiques d'études, les tests. Je suis arrivé à obtenir de mes employés les plus évolués d'exécuter sur demande, suivant un plan de calcul déterminé à l'avance les tests suivants : Test de Student, Behrens, Sukhatme, pour comparaison des moyennes; Test de Snédécour pour comparaison des variances; tests d'homogénéité des variances de Hartley, de Neyman et Pearson et de Cochran; analyse de la variance à 1, 2, 3 dimensions (pour 3 dimensions il faut les aider pour le calcul des interactions) corrélation, régression linéaire, régression polynômiale (en les aidant); éventuellement, analyse de la covariance sur les régressions linéaires et test du  $\chi^2$ . Vous voyez qu'on arrive à obtenir de gens d'intelligence ouverte, mais de formation théorique très moyenne pas mal de résultats à condition de leur donner une bonne machine à calculer.

#### M. Ory

Avez-vous donné, aux ingénieurs de fabrication, au directeur, des éléments précis de formation statistique ?

#### M. Bazin

J'ai un directeur passionné par la question qui lit les ouvrages sur les méthodes statistiques quand ils arrivent avant de me les passer. Au stade ingénieurs, ils n'ont guère le temps de se plonger dans les détails. Il y a eu quelques petits résultats un peu marquants qui ont servi de thème à la propagande de mon directeur, car il collectionne soigneusement les petites anecdotes qui peuvent frapper les gens et les leur rappelle pour leur montrer que le contrôle statistique sert à quelque chose. Cette action a eu pas mal d'effet sur les gens et ils sont un peu en confiance. Ils admettent sans difficulté les résultats qu'on leur propose.

#### M. Blin

Avez-vous essayé de faire des séances d'information pour les contremaîtres ?

#### M. Bazin

Non. Je préfère les contacts directs : aller montrer à un contremaître sa carte de contrôle obtenue sur tel produit et le résultat de tri du lot en fin de fabrication, quand il y a eu un ennui.

M. Blin

Mais l'agent de maîtrise doit pouvoir comprendre la carte de contrôle.

M. Bazin

Les contrôleurs qui font les mesures pointent les cartes de contrôle et vont dire au chef d'équipe chargé du travail : "le point sort des limites, il est trop faible ou il est trop fort". Ils l'interprètent. Le chef d'équipe n'a pratiquement qu'à se conformer aux conseils du contrôle.

M. Blin

Y croit-il ?

M. Bazin

Bien souvent, il n'y croit pas mais il le fait, c'est tout ce qu'on lui demande. Ils sont persuadés qu'il y a un peu de sorcellerie là-dedans, mais avec du temps, cela viendra. Surtout quand on a la chance d'être épaulé par la direction. Ce sera pour la génération suivante.

M. Goureau

Je voudrais poser une question de détail à M. Bazin : existe-t-il une carte de contrôle des grains ?

M. Bazin

J'en ai mise une à l'essai. Ce n'est pas un problème simple à mon avis.

M. Hibon

Comment faites-vous pratiquement pour mesurer le minimum, le maximum et la moyenne sur un tube ?

M. Bazin

On mesure l'épaisseur sur un tube en six points, tout autour du tube, sur la même section; on prend la moyenne des six mesures ainsi que le mini et le maxi. Dans la pratique, il se révèle que la moyenne du mini et du maxi est acceptablement près de la moyenne des six mesures, ce qui permet, si on le désire, de simplifier le calcul. On fait ces mesures sur 3 sections, 3 diamètres à un bout. On ne peut pas le faire sur toute la longueur du tube, puisqu'on coupe le tube à une extrémité. Mais, l'excentricité varie aléatoirement tout le long du tube et la dispersion, tout au long du tube, est comparable par une chance remarquable à la dispersion entre tubes. Dans ces conditions, que vous mesuriez tout au long du tube ou que vous mesuriez sur des tubes différents, cela revient au même.

M. Blin

Vous avez fait des études préliminaires ?

M. Bazin

J'ai fait découper une vingtaine de tubes que j'ai fait mesurer de 10 cm en 10 cm. J'ai relevé la variation d'excentricité tout au long du tube et j'ai constaté qu'elle variait aléatoirement et non systématiquement. A ceci près qu'il y a une augmentation au début, à l'attaque, mais, comme c'est la partie qu'on chute, ça n'a pas d'importance. On admet donc, par la suite, que toutes les sections sont équivalentes.

M. Sandjivy

Je vous signale que vous pouvez faire des mesures sans détruire le tube, en plusieurs points, par un appareil à ultra-sons qui a été mis au point ces temps-ci.

M. Bazin

Nous pouvons faire aussi des mesures d'épaisseur par notre appareil de contrôle électronique : quand on travaille avec un probologue ou avec un structographe, le décalage de 0 de l'appareil est proportionnel à la différence d'épaisseur entre votre tube et le tube témoin avec lequel vous avez étalonné l'appareil. Ce n'est pas très satisfaisant du point de vue précision.

M. Sandjivy

L'appareil à ultra-sons donne de très bonnes mesures.

M. Bazin

L'appareil à ultra-sons est plus précis parce qu'il doit être indépendant a priori, des questions de composition chimique du tube (résistivité) et peut-être des questions de cristallisation et d'état final.

M. Sandjivy

On arrive à avoir avec l'appareil à ultra-sons l'épaisseur et en même temps la structure du métal; l'épaisseur n'est pas liée à la structure du métal.

M. Bazin

A ce moment là, un appareil de ce genre est extrêmement intéressant; il est à monter en série avec un appareil de contrôle électronique, et on passe tous les tubes.

M. Blin

Quelle maison fabrique cet appareil à ultra-sons ?

M. Sandjivy

Il s'agit d'un appareil "Ultra sonic". La précision est de l'ordre du micron. Vous nous avez parlé tout à l'heure d'un contrôle en cours de fabrication sur les pièces. Avez-vous envisagé un contrôle des moyens de fabrication : j'entends température de recuit, par exemple, température de trempe, s'il y a lieu ?

M. Bazin

Non, parce que les traitements sont suffisamment simples pour être justiciables d'une régulation automatique par potentiomètre précis. Puisqu'il y a une régulation automatique de la température, nous ne pouvons pas faire plus. D'ailleurs, ce qui compte, ce n'est pas tellement la température qui vous est indiquée par une canne pyrométrique, c'est la température effective du four, et la quantité de calories emmagasinée en moyenne. Le problème est difficile. On a très peu de données. Je travaille pour recuire les planches, par exemple, dans un four qui est réglé aux environs de 550. Si je laisse un intervalle de 2m sur le tapis, c'est-à-dire un passage, pendant ces 2m le four va se gorger de calories; la température ne montera pas, elle est maintenue rigoureusement constante; il dégorgera ces calories sur les premières planches qui arriveront et qui auront un gros grain. Le contrôle de température n'est ni suffisamment efficace ni suffisamment précis pour que ça vaille le coup de le faire. On s'assure simplement que le débit

des résistances électriques qui chauffent le four, ou le débit des brûleurs à gaz, quand c'est un four à gaz, à propane, reste suffisamment constant pour maintenir sur la canne pyrométrique la température que l'on demande.

M. Ory

Depuis l'instauration du contrôle statistique dans votre usine, avez-vous réussi à faire modifier les tolérances de dureté qui sont, en général, trop resserrées. Car la dureté, qu'elle soit "Rockwell" ou "Brinell" est toujours une estimation.

M. Bazin

Nous sommes arrivés à faire admettre que la tolérance imposée était tenable avec un pourcentage raisonnable de chances. Nous avons admis que la tenue à 100 % d'une tolérance telle que 70-86 Rockwell n'était pas réalisable; mais qu'on pouvait garantir que 95 % des lots expédiés comme bons contiendraient moins de 5 % d'éléments défectueux, et que les lots rebutés au contrôle seraient triés à 100 % donc ne contiendraient en principe pas d'éléments défectueux (sauf erreurs de mesures).

M. Moriceau

Je voudrais donner une réponse à la question posée par M. Ory, à savoir si le contrôle statistique a fait modifier des tolérances de dureté brinell. J'ai un cas dans une usine de l'Est où pour des tambours de freins de voitures automobiles, à la suite du contrôle statistique on a élargi les tolérances qui étaient imposées au départ par le constructeur.

M. Ory

Cela s'impose bien souvent. Prenez, par exemple, une tolérance de dureté en brinell de 17/10, 19/10 lorsque les contrôleurs ont à leur disposition des lunettes qui sont précises à  $\pm 1/10$  mm, il faut considérer la dispersion de la mesure et la dispersion du contrôleur.

M. Bazin

A ces clients qui me demandaient des planches avec dureté brinell 90/100, il m'est arrivé de leur répondre : "Non. Je peux vous donner 90  $\pm$  10, c'est-à-dire 80/100 minimum.