

REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

R. BONNAVAUD

II. Le contrôle en fonderie Essais d'utilisation des méthodes statistiques

Revue de statistique appliquée, tome 2, n° 4 (1954), p. 69-82

http://www.numdam.org/item?id=RSA_1954__2_4_69_0

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

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

NUMDAM

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

II

LE CONTROLE EN FONDERIE ESSAIS D'UTILISATION DES METHODES STATISTIQUES

par

R. BONNAVAUD

Ingénieur à la Société Métallurgique d'Aubrives et Villerupt

I. — LE CADRE

Il s'agit d'une fonderie de pièces relativement légères (40 kg à 100 kg), fabriquées en assez grandes séries (6 à 1.000 pièces/heure) et coulées en fonte grise perlitique de résistance mécanique et d'usinabilité bien définies.

II. — LES BUTS RECHERCHÉS

1) Amener les livraisons au niveau de qualité imposé par le client.

Les normes de réception qui sont appliquées par l'acheteur comportent en l'occurrence :

- le cahier des charges proprement dit, énumérant les caractéristiques à vérifier et les tolérances correspondantes;
- la norme générale de contrôle, précisant les méthodes de réception en vigueur. Celles-ci se ramènent, dans la plupart des cas, à l'application d'un plan d'échantillonnage simple avec risque de l'acheteur bien défini, c'est-à-dire assurant au client que les coulées ainsi réceptionnées comportent un pourcentage de rebuts inférieur au maximum fixé au préalable par les ateliers d'usinage.

Ces conditions étant imposées, deux méthodes paraissent s'offrir pour amener les lots livrés à satisfaire aux normes de réception de l'acheteur :

a) Le contrôle à 100 % de toutes les caractéristiques indiquées au cahier des charges, c'est-à-dire caractéristiques du matériau (dureté Brinell, structure micrographique, résistance mécanique, usinabilité), caractéristiques dimensionnelles et caractéristiques de santé (défauts d'aspect et défauts internes).

Outre qu'un tel contrôle serait extrêmement coûteux, l'expérience a montré que les erreurs dues à la fatigue des opérateurs entraînent souvent la livraison de lots inacceptables.

b) Un contrôle par échantillonnage permettant de s'assurer que les lots présentés comportent un pourcentage de rebuts inférieurs au taux-limite imposé par la clientèle.

Les méthodes statistiques permettent souvent d'organiser une telle vérification à moindre frais et avec une sécurité au moins aussi grande que dans l'hypothèse d'un contrôle à 100 %.

D'autre part, il est incontestable que le client et le fournisseur parlant le même langage (statistique en la circonstance), leurs relations s'en trouvent nettement clarifiées.

Ainsi peut-on envisager la réception d'un lot chez le client, se faisant uniquement sur présentation par le fournisseur des résultats de son propre contrôle, jouant alors le rôle d'un « véritable certificat de qualité », de la coulée considérée.

Ainsi le fondeur est-il conduit à introduire chez lui les nouvelles méthodes déjà grandement appréciées dans l'industrie mécanique.

2) Diminuer les prix de revient de fabrication par la diminution des rebuts.

Le maintien de la qualité élevée des livraisons n'assure malheureusement pas la subsistance d'une industrie si les prix de revient sont grevés par un important pourcentage de rebuts de fabrication.

Il est logique de penser que l'énergie dépensée par un service de contrôle est nettement dégradée quand son seul but est la protection du client. Au contraire, quand il est possible de l'utiliser à l'élimination des rebuts dans l'atelier même de fabrication, elle sert à la fois les intérêts du fabricant et de l'utilisateur, puisque les qualités des pièces fabriquées et donc des pièces livrées s'en trouvent simultanément améliorées.

a) Généralement les rebuts de fonderie, inhérents à une certaine journée de fabrication, ne sont décelés complètement qu'après décochage, dessablage et même ébarbage grossier des pièces de la coulée, c'est-à-dire le plus souvent dans le courant de la journée suivante. Lorsqu'un nouveau défaut apparaît, il n'est pas rare que plusieurs milliers de pièces soient coulées dans les mêmes conditions, avant que le responsable n'en soit averti et puisse y remédier.

Il s'avère donc intéressant de pouvoir *connaître le plus rapidement possible la qualité de la fabrication, au fur et à mesure de son déroulement*, pour pouvoir réduire au minimum l'amplitude des dérèglements éventuels.

Là encore, un examen à 100 % suffisamment rapide est irréalisable. Par contre, on peut concevoir l'existence d'un processus d'échantillonnage étalé dans le temps, réalisant le compromis entre deux sujétions apparemment contradictoires : la rapidité et la certitude dans l'information. Les méthodes statistiques, là encore, permettent souvent de résoudre le problème tout en l'élargissant. En effet elles sont susceptibles de déceler parfois les effets de tendance dans la fabrication et d'affecter ainsi un caractère prévisionnel extrêmement utile.

b) Parfois, bien que parfaitement informé de la non-conformité de la fabrication vis-à-vis des normes de l'acheteur, le chef de fonderie ne parvient pas à éliminer un certain défaut. Il est possible qu'on se trouve devant un rebut systématique décelant une incompatibilité, dans l'état actuel de la technique, entre les exigences de la clientèle et les possibilités du fournisseur.

Il arrive d'ailleurs que cette incompatibilité apparaisse lors de l'étude de la pièce avant mise en fabrication. Beaucoup plus souvent elle se fait jour avec les premières grandes séries.

Quoiqu'il en soit, cette situation exige une prise de contact avec l'utilisateur pour une révision du cahier des charges. Il est assez rare que telles révisions interviennent rapidement. En l'absence de preuves irréfutables, l'acheteur est toujours disposé à considérer ses desiderata comme absolument normaux.

Les notions de dispersion et la construction d'histogrammes, se rattachant au contrôle statistique des fabrications, permettent une comparaison aisément chiffrable entre les tolérances imposées et les précisions habituelles obtenues.

L'intérêt de l'une et l'autre des parties est alors de rechercher l'équilibre conduisant au rebut minimum, à l'aide des données ainsi mises en évidence.

III. — LES RÉALISATIONS PRATIQUES

Nous précisons tout de suite que les méthodes statistiques d'investigation sont loin d'être les seules méthodes de contrôle utilisées pour atteindre les deux buts que nous nous sommes proposés.

Les examens micrographiques et gammagraphiques, les essais mécaniques et d'usinabilité, le contrôle de certaines caractéristiques à loi de variation absolument incohérente, ne permettent pas toujours de mettre en œuvre avec efficacité les lois de probabilité.

Nous nous bornerons à citer dans cet exposé les seules phases du contrôle de qualité auxquelles nous avons jugé bon de les appliquer pour le moment.

A) En dehors de la fabrication proprement dite : le problème de l'amplitude et du respect des tolérances.

Il nécessite la comparaison de la précision inhérente au procédé de fabrication avec la tolérance admise au cahier des charges. Si cette dernière valeur est en général bien explicitée, souvent la précision due au procédé de fabrication est mal connue en fonderie.

En pratique, toutes les caractéristiques contrôlées en fonderie suivent, avec une approximation suffisante, la loi de répartition de Gauss. Nous entendons par caractéristique leur matérialisation donnée par les résultats d'appareils de mesure (dureté Brinell, dimensions, résistance à la compression des sables, etc...).

Ceci veut dire, par exemple, que les résultats de billage de 50 pièces, tirées au hasard d'un lot homogène, se répartissent symétriquement autour d'une valeur moyenne, leur étalement depuis la valeur minima jusqu'à la valeur maxima pouvant intervenir directement dans l'appréciation de la dispersion de la fabrication au point de vue dureté.

La moyenne m et l'écart-type σ sont les deux notions mathématiques qui définissent de telles répartitions, 6σ représentant en gros l'amplitude de l'étalement de mesures trouvées.

Exemple : De nombreux résultats nous ont permis de constater que l'écart-type des répartitions de dureté sur la plupart de nos pièces était voisin de 5 Brinell. On peut donc s'attendre à trouver dans un lot homogène des duretés s'étalant sur 30 Brinell environ (ceci est vrai pour des duretés allant de 190 à 230 Brinell environ. Au-dessus l'écart-type diminue).

— La valeur 6σ permet de chiffrer la précision obtenue normalement en fonderie, sur la caractéristique considérée. Comparée aux tolérances imposées elle permettra, soit de les accepter, soit de demander leur révision au client. En ce qui nous concerne, nous estimons que la tolérance ne doit pas être inférieure aux $3/2$ des 6σ trouvés.

— La moyenne m permet de vérifier le centrage de la fabrication par rapport aux maxima et minima tolérés. C'est une indication précieuse pour la retouche éventuelle de modèles (dans le cas d'un contrôle dimensionnel).

Le calcul de ces deux paramètres, m et σ , nécessite seulement la mesure d'un certain nombre de pièces (50 à 60 en moyenne) et des notions élémentaires d'arithmétique.

Personnellement, nous avons eu l'occasion de présenter ainsi de nombreuses demandes de révision de tolérances (soit de dureté, soit de dimensions) à un acheteur initié à ces méthodes : jamais elles n'ont été refusées.

Elles nous ont permis de mettre en évidence un phénomène dont on ne tient pas assez compte dans l'établissement des tolérances sur pièces de fonderie : parfois la dispersion d'une cote prise en différents points d'une même pièce est du même ordre de grandeur que la dispersion de la même cote, prise en un même point, sur les différentes pièces d'un lot.

$$\sigma^2 \text{ résultant} = \sigma^2 \text{ intrapièce} + \sigma^2 \text{ interpièces}$$

Or, il est très rare que le bureau d'études, auteur de la tolérance, ait pensé, par exemple, à la convergence inévitable entre deux plans venant dans deux parties de châssis différentes. D'ailleurs cette dispersion « intrapièce » dépend surtout de la méthode de moulage adoptée et il est difficile de l'apprécier à l'avance.

Ce n'est que l'étude statistique ultérieure qui la délimitera nettement. On est alors obligé de faire deux mesures par pièce pour déterminer les valeurs maximum et

minimum de la caractéristique considérée. On calcule les valeurs m et σ correspondant à l'ensemble des maxima et celles correspondant à l'ensemble des minima. La dispersion totale s'en trouve évidemment augmentée.

B) Le contrôle en cours de fabrication et après finition.

Nous avons vu que le premier tend à éviter les rebuts de fabrication, l'autre à les séparer des pièces bonnes avant livraison.

Nous avons essayé de coordonner les activités de ces deux sortes de contrôleurs en partant des principes suivants :

1) Le meilleur contrôle par échantillonnage d'un lot à livrer, quand ce contrôle suffit, est celui qui est fait au fur et à mesure de sa fabrication.

En effet, au lieu d'opérer sur un seul lot (la coulée entière), présentant comme pourcentage de rebuts le pourcentage moyen de la journée, on opère alors sur une suite de lots plus petits, découpés dans le temps, dont le pourcentage individuel de rebuts se rapprochera d'autant plus du pourcentage instantané que ces lots seront plus petits.

Or, mis à part le cas très rare du pourcentage de rebut restant constant pendant toute la journée, le pourcentage instantané de rebut est soumis à des fluctuations plus ou moins importantes autour du rebut moyen.

Ces fluctuations multiplient la sensibilité de l'échantillonnage puisqu'en fait elles ségrègent la plupart des pièces rebutées dans un petit nombre de lots partiels correspondant aux périodes de poussée du rebut instantané.

Il arrive ainsi très souvent qu'un rebut moyen de 4 % sur une coulée entière provient surtout d'une heure de fabrication pendant laquelle le pourcentage a atteint 20 %. On conçoit, qu'à sécurité égale, il sera plus facile et donc moins coûteux de repérer un lot comportant 20 % de pièces mauvaises qu'un lot en comportant 4 %.

2) Le contrôle de fabrication, outre sa mission d'information rapide envers la fonderie, doit servir « d'antenne avancée » au contrôle de finition, permettant à celui-ci de choisir à tout moment la méthode de contrôle la mieux appropriée au pourcentage de rebuts qui lui est annoncé (tri à 100 %, contrôle sur échantillons, absence de toute vérification).

En tenant compte de ces deux principes, nous sommes arrivés alors à l'organisation suivante :

CONTROLE EN COURS DE FABRICATION

effectué par des contrôleurs « volants », sur des pièces périodiquement échantillonnées dans la fonderie.

Trois séries de caractéristiques sont vérifiées sur les pièces elles-mêmes : la dureté Brinell, l'aspect extérieur, certaines dimensions importantes ou essentiellement variables. Sur le sable de moulage on suit la valeur de la compression à vert.

1) Les prélèvements et la mesure.

a) Les pièces étant décochées dans des caisses, l'échantillonnage de dureté n'est effectué qu'après refroidissement de l'ensemble de la caisse en dessous de 450° environ (pièces noires), pour assurer aux pièces prélevées la même vitesse de refroidissement et donc la même dureté qu'aux autres pièces. Le prélèvement comporte cinq pièces par caisse, choisies à des emplacements déterminés, refroidies à part et billées sans être dessablées.

Dans le cas de pièces recuites dans un four tunnel, les lots-unités sont constitués par l'ensemble des pièces contenues dans le même emballage. Le prélèvement comporte également cinq pièces.

b) Les prélèvements destinés au contrôle des dimensions et de l'aspect extérieur sont faits au décochage même, sur des pièces rouges. Les échantillons sont de taille variable, mais fixés à l'avance. Ces pièces sont aussitôt mises sur un chariot automoteur et conduites à la grenailleuse située à l'ébarbage. Dès que leur température leur permet, les pièces prélevées sont dessablées et contrôlées par les contrôleurs volants.

c) Le contrôle du sable comporte actuellement deux séries de prélèvements : l'un est chargé de suivre toutes les battées de sable neuf de régénération, sortant des broyeurs; l'autre, au contraire, est effectué aux machines à mouler elles-mêmes, sur le sable de circuit. Dans chaque cas, un échantillon comporte trois prises sur lesquelles on effectue la mesure de la compression à vert.

2) L'exploitation des mesures. L'information des services de fabrication.

a) En ce qui concerne la dureté, les dimensions et la compression à vert du sable de moulage, les résultats des mesures effectuées sont exploités sous forme de « cartes de contrôle » moyenne - range. Ces cartes permettent de mettre en évidence les variations de la moyenne et du range des échantillons tout au long de la coulée. Le « range » étant la différence entre la valeur la plus forte et la plus faible trouvées dans chaque échantillon, on conçoit que cette technique permet d'apprécier d'une part le niveau moyen atteint par la caractéristique étudiée et d'autre part la dispersion qu'elle présente dans la fabrication à chaque instant.

Les techniques statistiques permettent de calculer facilement, à partir des tolérances imposées à chaque caractéristique, des limites dites « de contrôle » que ne doivent pas franchir sous peine de rebuts, la moyenne et le range de chaque échantillon.

Pratiquement on opère de la manière suivante : le contrôleur volant après avoir effectué ses mesures sur les pièces prélevées, calcule immédiatement la moyenne et le range de l'échantillon et marque les points correspondants sur des graphiques placés près de la machine responsable (cubilot pour la dureté Brinell, machine à mouler pour les dimensions, broyeurs pour le sable).

Ou bien les points tombent « dans les limites de contrôle » : la fabrication est correcte et il y a excessivement peu de chances pour qu'il y ait des rebuts. Ou bien les points tombent « en dehors des limites de contrôle » : il y a de très fortes chances pour que la fabrication soit déréglée et émette des rebuts.

Le contremaître de chantier est de toutes façons renseigné de manière régulière sur la qualité de son travail. Des ordres stricts lui sont donnés par le chef d'atelier pour stopper la fabrication dès que le contrôle détecte un dérèglement quelconque.

Bien plus, par le fait même de son caractère périodique ce contrôle peut affecter parfois un caractère prévisionnel : en effet quelque peu d'expérience permet d'interpréter les tendances au dérèglement, avant que celui-ci n'ait lieu effectivement. Ainsi une succession de trois ou quatre échantillons présentant un déplacement de la caractéristique toujours dans le même sens est souvent significative : s'il s'agit de la dureté il est probable que la fonte durcit et sans attendre que la limite de contrôle soit atteinte, l'agent de maîtrise agit immédiatement soit sur le lit de fusion, soit sur les inoculations (fig. 1 et 2).

De même cet effet de tendance a été utilisé pour pallier aux variations de moules dues à l'usure des bagues de châssis. Sur la carte de contrôle la variation croît en général régulièrement : on a convenu alors de réviser les châssis au moment où elle atteint une certaine cote d'alerte, inférieure cependant à la limite de contrôle. La variation diminue alors fortement et le cycle recommence (fig. 3).

Un autre exemple montrera l'efficacité de ce contrôle : les mesures de dispersion sur la compression à vert du sable de moulage de chaque battée avaient permis de calculer les limites de contrôle de la moyenne pour cette même compression. Or, malgré toutes les instructions données aux ouvriers s'occupant de la sablerie, les points de contrôle continuaient à décrire des sinusoides impressionnantes, sortant régulièrement des limites fixées. Sur ce résultat on signifia au contremaître responsable que ses hommes n'opéraient certainement pas les mélanges avec toutes les précautions demandées.

Bien que certainement peu convaincu, il resserra la surveillance et s'aperçut assez rapidement que lorsqu'il avait le dos tourné, les additions, au lieu d'être pesées étaient faites directement à la pelle. Quelques jours plus tard, les points de contrôle oscillaient dans les limites normales (fig. 4 et 5).

b) Nous n'avons pas encore mentionné le contrôle d'aspect extérieur des pièces. En effet, nous abandonnons alors le domaine quantitatif (où les mesures sont possibles) pour le domaine qualitatif pur.

SOCIÉTÉ D'ABRIVÉS
ET VILLERUPT

CONTROLE STATISTIQUE

DATE

CARTE DES DONNÉES

COMMANDE	DESSIN N°	OPERATEUR	DESIGNATION DE LA PIECE	CARACTERISTIQUE CONTROLEE	ECHANTILLONNAGE	NOMBRE DE PIECES PAR ECHANTILLON
	29460		Tambour de frein	HB 195 - 240	5 pièces par Cajax	5
REPERE D'ECHANT.						
REPERE DES PIECES						
A	225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240					
B	225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240					
C	225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240					
D	225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240					
E	225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240					
TOTAL	1142 1132 1125 1116 1106 1122 1102 1095 1122 1125 1117 1133 1101 1115 1112 1116 1112 1127 1115 1125 1104 1117 1119					
MOYENNE	228 226 227 223 221 224 220 219 224 225 223 226 220 223 222 223 222 225 223 225 220 223 225					
RANGE	7 15 16 18 18 10 22 20 12 19 18 19 22 14 18 14 7 18 19 5 14 10 15					
						700

Fig. 1 - Cartes des données pour la dureté : calcul des moyennes et des ranges .

CARTE DE CONTROLE

I. R. L. 54559

DATE : 5-10-54

COMMANDE	DESSIN N° 29460 • 1 - 8	OPERATEUR Baudet Cubilotto	DESIGNATION DE LA PIECE Tambour	CARACTERISTIQUE CONTROLEE HB 195 - 240	ECHANTILLONNAGE 5 pieces par caisse	NOMBRE DE PIÈCES PAR ECHANTILLON 5
----------	-------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	--	---	--

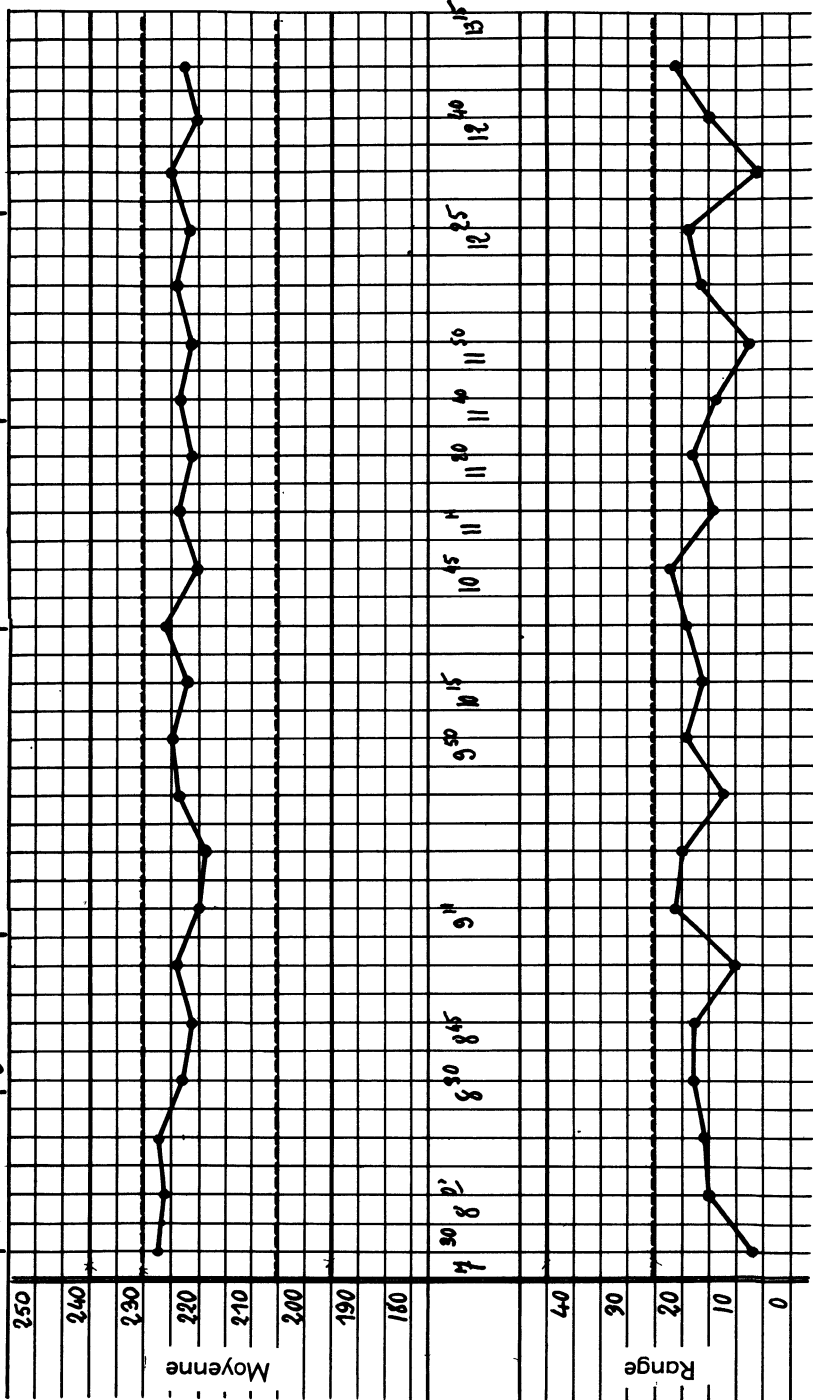


Fig. 2 - Carte de contrôle de dureté. — les tolérances
----- les limites de contrôle

CARTE DE CONTRÔLE

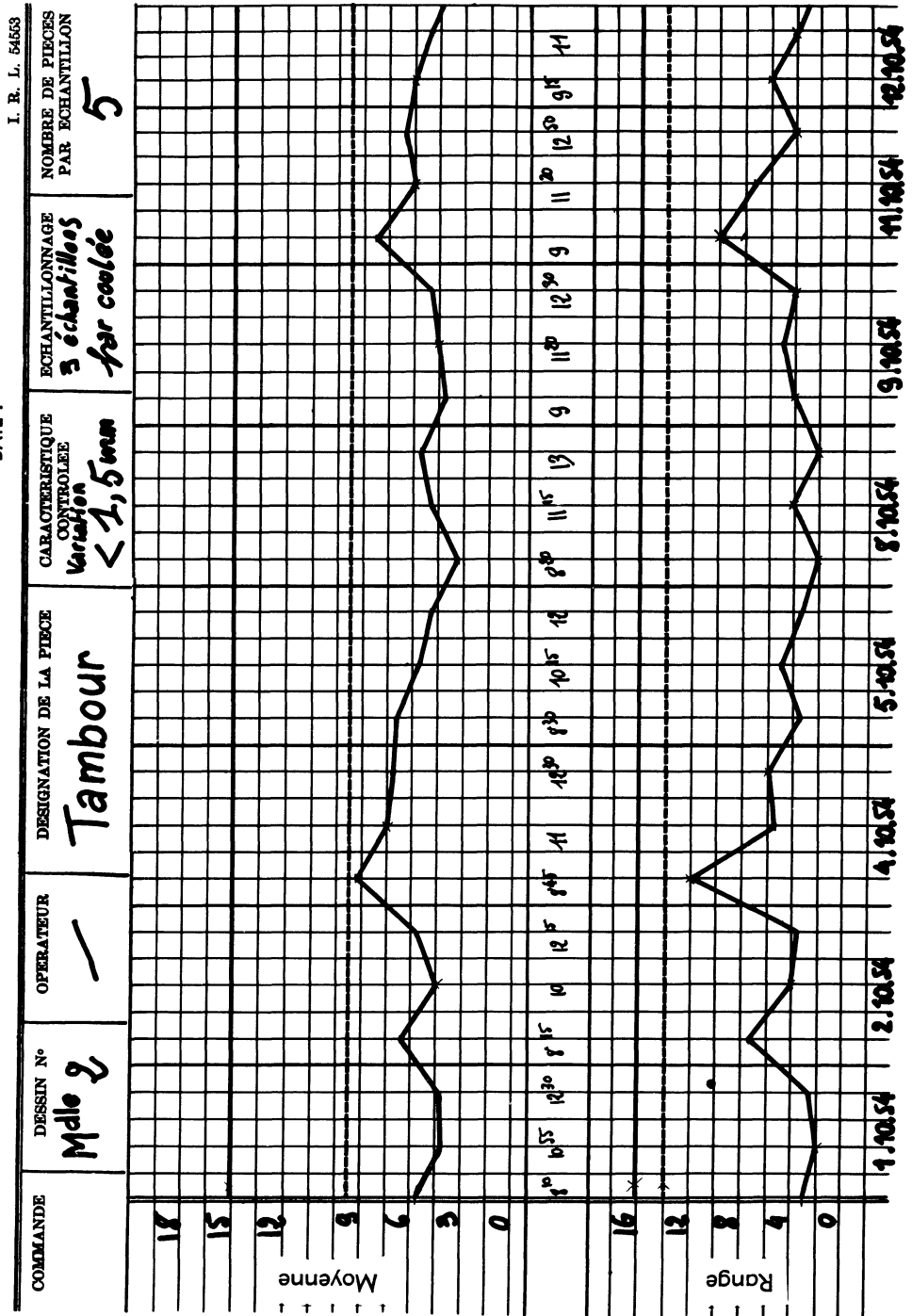


Fig. 3 - Carte de contrôle dimensionnelle : variation sur tambours de frein.

- les tolérances
- - - les limites de contrôle

CARTE DE CONTRÔLE

I. R. L. 54583

DATE : / /

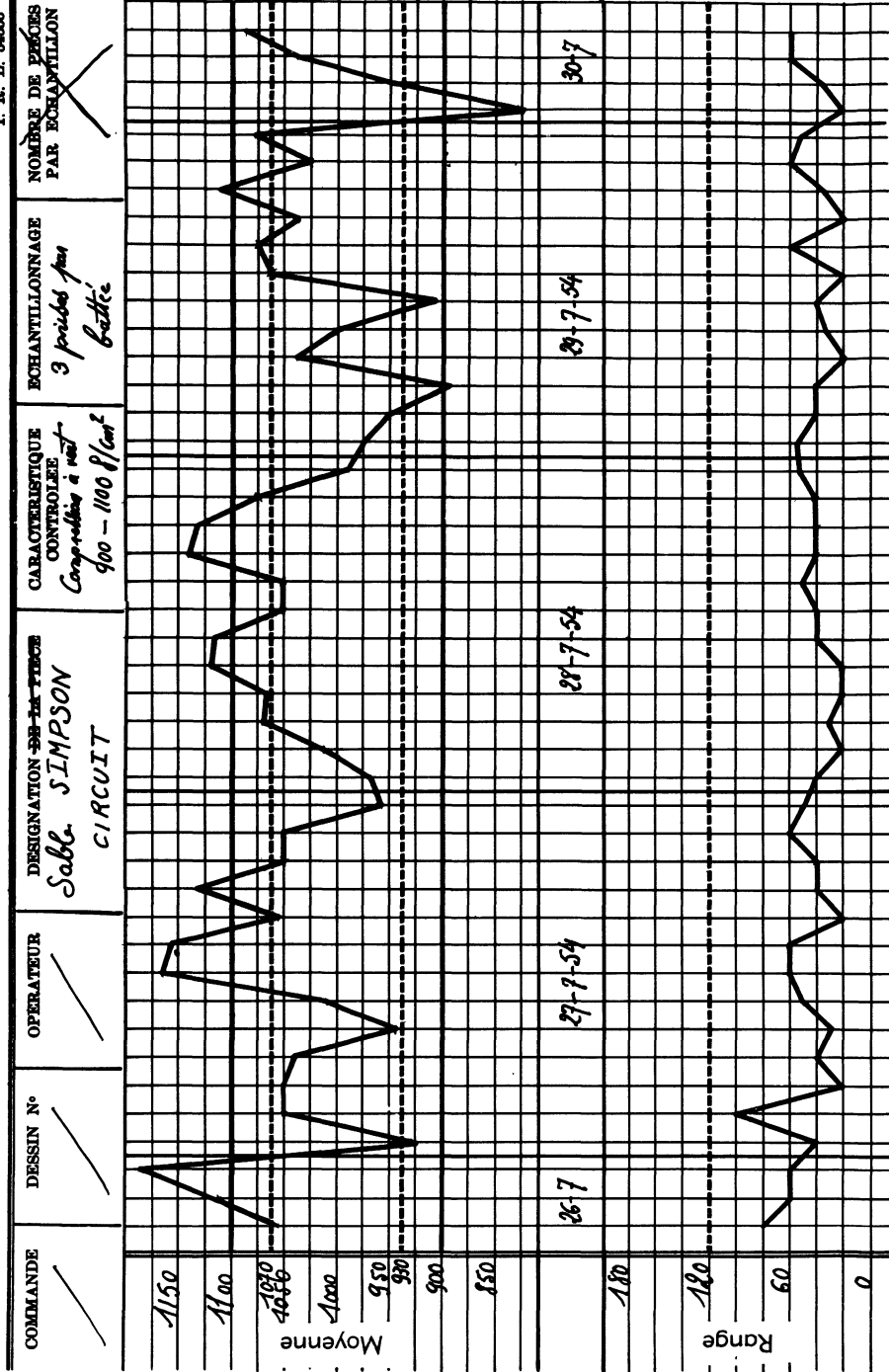


Fig. 4 - Carte de contrôle de la compression à vert du sable : du début de la mise sous contrôle.

Il existe des cartes de contrôle utilisant le pourcentage de pièces mauvaises trouvées dans chaque échantillon. Nous n'avons pas adopté cette technique car elle ne permettait pas de tenir compte, ni des pièces devant être retouchées, ni des défauts n'entraînant pas le rebut systématique. Or, d'une part l'apparition d'un léger défaut est souvent l'indice d'une tendance au dérèglement qui provoquera plus ou moins tardivement le rebut, d'autre part l'augmentation du prix de revient dû à la retouche en ébarbage équivaut parfois à la perte occasionnée par le rebut pur et simple.

Nous ne garantissons nullement que notre méthode repose sur des fondements statistiques inattaquables car les résultats que nous avons obtenus sont la seule démonstration que nous ayons cherchée à en faire.

Les prélèvements sont plus importants que dans le cas des cartes « aux mesures » : ils conduisent à des courbes d'efficacité acceptables pour des échantillons de 20 à 40 pièces.

Un système de cotation est utilisé permettant d'affecter une « note » à chaque pièce examinée suivant qu'elle est plus ou moins bonne. En réalité quatre catégories sont prévues :

- Pièces bonnes, sans aucun défaut note 10
- Pièces présentant un léger défaut n'entraînant ni le rebut, ni la retouche note 8
- Pièces devant être retouchées note 5
- Pièces rebutées note 0

On somme l'ensemble des notes affectées aux pièces de chaque échantillon, on divise par le nombre de pièces et on trouve alors un chiffre représentatif du « taux de qualité » de l'échantillon examiné.

Un graphique, portant ainsi les chiffres successivement trouvés, est placé à côté des autres cartes de contrôle.

Comment utilise-t-on cette « carte » ? Au début surtout, en fonction des variations relatives qu'elle peut présenter, décelant même prévisionnellement les baisses de qualité de la fabrication.

Après quelques semaines d'utilisation, il est assez facile de déterminer arbitrairement une limite minima de qualité compatible avec le prix de revient recherché.

Il est possible que cette limite soit calculable : cependant, le choix même des quatre coefficients de qualité (10, 8, 5, 0) est lui-même arbitraire et dépend essentiellement de l'importance qu'on attache aux pièces douteuses.

En ce qui nous concerne, un taux de qualité égal à 9 a été choisi comme limite minima.

Par la suite, nous avons ajouté à ce graphique le pourcentage de pièces rebutées et de pièces à retoucher par échantillon, à titre de renseignements complémentaires. Ceci répond au processus même de l'information : quand il y a baisse de qualité, d'où vient-elle ? (fig. 6).

Quelle que soit la caractéristique étudiée, les rebuts et les retouches d'ébarbage qui ont un caractère spécifique sont ramenés au chantier de fabrication pour être présentés au contremaître responsable, lorsque le contrôleur vient afficher les résultats du prélèvement sur la carte de contrôle.

CONTROLE APRÈS FINITION.

Le contrôle de fabrication exigeant déjà un échantillonnage de la coulée au fur et à mesure de son élaboration, il est logique d'utiliser cet échantillonnage dans le cadre du contrôle de réception finale.

On procède de la manière suivante : tant que les « cartes de contrôle » ne déclenchent pas de dérèglement, aucun contrôle final n'est effectué sur la caractéristique correspondante. Dès qu'un point sort des limites de contrôle (moyenne ou range), un tri à 100 % est déclenché au contrôle après finition, portant sur la partie douteuse de la coulée (c'est-à-dire celle qui suit immédiatement le dernier prélèvement correct).

CARTE DE CONTROLE

DATE : 1954

I. R. L. 54553

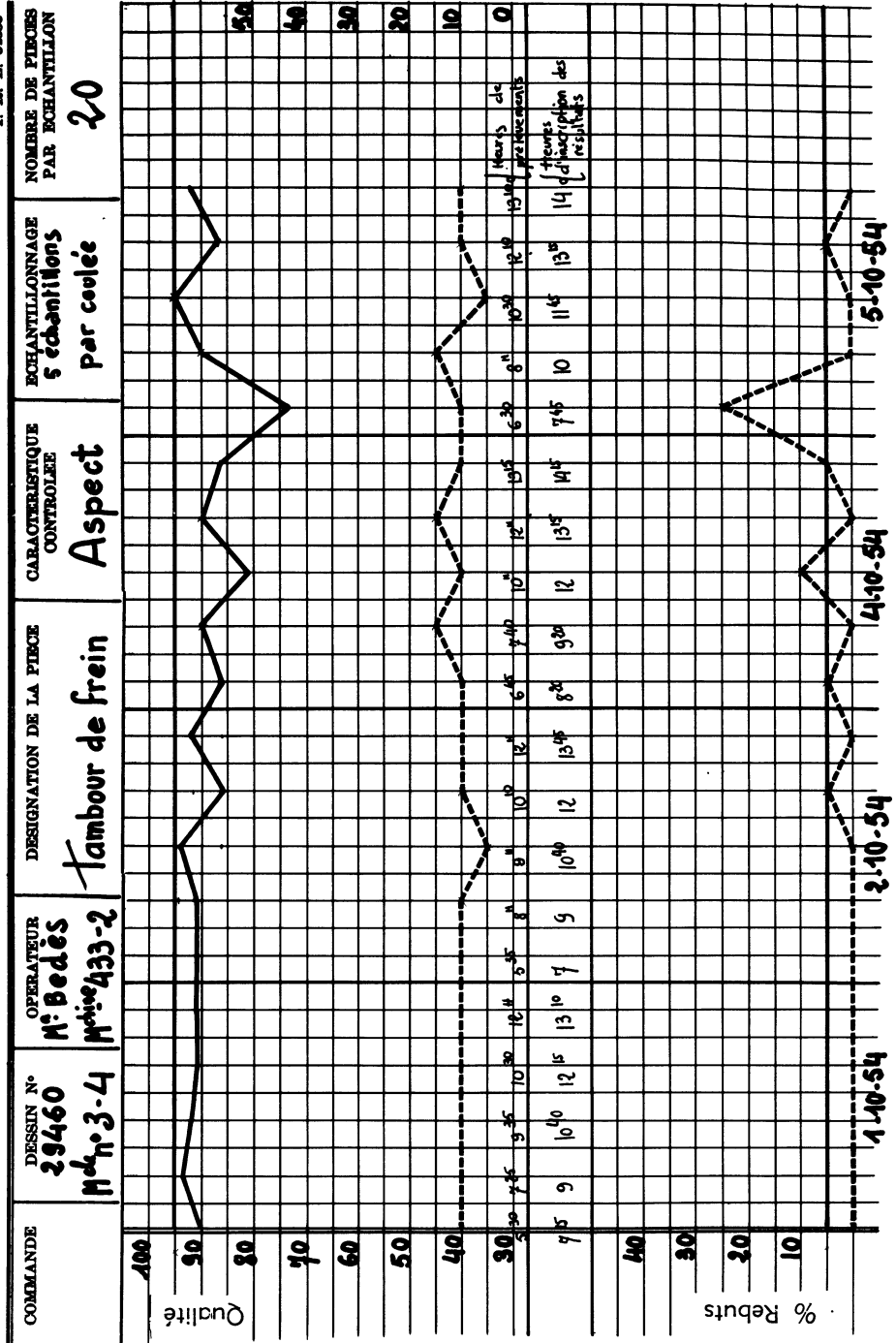


Fig. 6 - Carte de contrôle d'aspect extérieur .

- courbe de qualité
- - - pourcentages de pièces à retoucher
- · · pourcentages de rebuts

En pratique, nous prenons dans ce cas-là une certaine marge de sécurité en effectuant le tri un peu plus tôt dans la suite des temps. Le léger décalage entre la fonderie et l'ébarbage nous laisse le temps d'allotir les caisses destinées au tri à 100 %.

Ceci ne s'applique actuellement qu'au contrôle de dureté et au contrôle dimensionnel. Le pourcentage de rebuts sur l'aspect extérieur des pièces ne nous a pas encore permis d'en supprimer la vérification individuelle d'autant plus que le problème statistique se double alors d'un problème psychologique : peut-on envisager de livrer au client des pièces visiblement mauvaises (soufflures, retassures...), même si leur pourcentage est extrêmement faible ? Nous n'avons pas encore atteint ce stade dans l'évolution entreprise.

Pour ce qui est du sable, un dérèglement constaté sur la valeur de la compression à vert déclenche le contrôle de l'humidité, de la perméabilité et de la granulométrie sur l'échantillon incriminé, pour être en mesure de préciser le réglage qu'il convient d'effectuer.

IV. — LE BILAN DE L'OPÉRATION

Au passif, il faut parfois prévoir une certaine augmentation du personnel de vérification. Nous disons « parfois » car tout dépend de la qualité antérieure du contrôle effectué.

Les méthodes statistiques, remplaçant purement et simplement les méthodes de tri à 100 %, demandent, sans aucun doute, un nombre d'heures de travail plus faible. Mais l'organisation d'un contrôle volant implique généralement l'affectation à ce poste d'un ou plusieurs ouvriers qui ne peuvent partager leur temps avec les postes de contrôle après finition.

On cherche donc à utiliser au mieux ces vérificateurs en mettant éventuellement sous contrôle des caractéristiques qui étaient jusqu'alors négligées. En outre, la partie administrative (préparation des cartes, classement des résultats, etc.) est plus développée.

Toutes ces nouvelles activités se sont révélées rapidement rentables, permettant de réduire encore le nombre de rebuts expédiés à la clientèle.

A l'actif, même à effectif égal, le contrôle statistique en fabrication multiplie l'efficacité des heures de contrôle car il élimine le rebut avant sa fabrication.

Il faut quelquefois assez longtemps pour que ce rôle d'information soit apprécié complètement par la maîtrise de fonderie : deux ou trois occasions, où l'efficacité de ces nouvelles méthodes apparaît clairement, sont nécessaires pour convaincre les derniers réfractaires. Nous arrivons actuellement à connaître la dureté des pièces coulées 1 heure à 1 h. 30 après avoir fait le moule. Les résultats concernant les dimensions et l'aspect extérieur sont fournis 1 h. 30 à 2 heures après serrage du moule.

En mettant à part les ouvriers affectés au tri à 100 %, les contrôleurs volants sont au nombre de 4 pour un effectif total de fonderie atteignant 180. Une quarantaine de cartes de contrôle sont ainsi tenues à jour sur les différents chantiers. Le nombre d'échantillons journaliers figurant sur chaque carte varie de 4 à 30 environ, suivant les caractéristiques étudiées.

Le tonnage moyen coulé (poids des pièces seules) oscille autour de 700 tonnes par mois.

V. — QUELQUES APPLICATIONS ANNEXES DES MÉTHODES STATISTIQUES

L'introduction de la notion de dispersion dans la mesure d'une caractéristique conduit quelquefois à des résultats intéressants pour autant que beaucoup de ces mesures étaient effectuées très souvent de manière isolée.

a) Ainsi, l'étude de dispersion des différents essais de sable communément utilisés nous a conduit à abandonner l'essai de cisaillement, très peu sensible : l'étalement total des résultats trouvés sur un sable homogène (valeur approximative des ϵ σ) a été trouvé égal à 1 livre/pouce carré alors que certains pensaient pouvoir interpréter de manière péremptoire une variation de 0,5 livre/pouce carré, les valeurs moyennes oscillant elles-mêmes entre 3 et 4 pour un sable synthétique.

L'essai de compensation est nettement plus sensible : $6 \sigma = 1,8$ livres/pouce carré pour des valeurs moyennes oscillant entre 12 et 16.

Il a été choisi comme essai-pilote dans le contrôle par carte, puisqu'en outre il constitue une certaine synthèse des variations individuelles de la qualité dues à l'humidité et à la perméabilité.

b) Les mêmes études ont été appliquées à l'essai de traction normalisé, sur éprouvette usinée : là encore, les premiers résultats conduisent à une valeur de 6σ voisine de 3 kg/mm^2 pour des essais effectués dans des conditions industrielles normales, sur des fontes grises perlitiques de résistance oscillant entre 18 et 26 kg.

c) Les mêmes études sont en cours sur les analyses chimiques des éléments communs : C, Si, P, Mn, S.

En général, il s'avère qu'à priori, on attache presque toujours à une mesure individuelle, une précision exagérée, alors que beaucoup de soi-disant variations s'expliqueraient tout naturellement dans le cadre de la dispersion des mesures elle-même.

Les méthodes statistiques ont eu le grand mérite d'introduire ici la notion de différence significative sans laquelle le brouillard des variations aléatoires masque les phénomènes purs.

VI. — CONCLUSIONS

Le domaine d'application des méthodes statistiques ne se borne pas au contrôle de fabrication. La réception des matières premières (fontes, sables, cokes, etc.) pourra être réalisée avec profit le jour où les fonderies pourront établir des cahiers des charges précis et efficaces. Malheureusement, ce problème n'est actuellement que très mal dégrossi.

L'analyse de la variance et les corrélations peuvent orienter favorablement les recherches de causes de rebuts, par exemple, où plusieurs facteurs interdépendants ne peuvent être étudiés par les méthodes expérimentales classiques. Ces études sont longues en général, nécessitent du personnel occupé uniquement à en suivre leurs développements : elles peuvent cependant être tout à fait rentables lorsque le rebut est systématique.

Le contrôle de fabrication, par contre, s'avère toujours susceptible de bénéficier immédiatement de l'apport de ces nouvelles techniques.