

REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

J. MOTHES

D'un exemple d'application de la carte de contrôle

Revue de statistique appliquée, tome 1, n° 1 (1953), p. 55-64

http://www.numdam.org/item?id=RSA_1953__1_1_55_0

© Société française de statistique, 1953, 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/>

D'UN EXEMPLE D'APPLICATION DE LA CARTE DE CONTRÔLE

par
J. MOTHES

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique.

A l'occasion de la Biennale des machines-outils qui s'est tenue à Paris en septembre 1951, M. MOTHES, auteur de cet article, a été amené à mettre sous contrôle statistique un tour automatique en fonctionnement sur un stand.

En moins de trois jours, l'emploi de la carte de contrôle permet d'obtenir des résultats particulièrement spectaculaires ainsi qu'en témoignent les indications qui vont suivre.

En vue de faciliter aux lecteurs non avertis la compréhension de cet exposé, son auteur l'a volontairement scindé en trois parties. Dans la première sont décrits les principes de la technique dite de Carte de Contrôle ; dans la seconde l'appareil de mesure (dynamique) mis au point par la Société Solex ; dans la troisième l'expérience de mise sous contrôle proprement dite.

En début septembre 1951 s'est tenue à Paris la Biennale des machines-outils, exposition internationale au cours de laquelle de très nombreux constructeurs européens et certains constructeurs extra-européens ont présenté, au public industriel, leur matériel.

Deux Sociétés françaises ont, à cette occasion, accepté de tenter une expérience sans précédent (en Europe au moins) expérience qui a consisté à présenter, sur stand, un tour automatique en fonctionnement sous contrôle statistique (1).

Bien qu'une exposition se prête à priori assez peu à des expériences de ce type et bien que les démonstrateurs n'aient pas été formés, préliminairement; à la technique de carte de contrôle, les résultats obtenus ont dépassé les espérances les plus optimistes.

Nous en décrivons ci-dessous les aspects essentiels.

I. LES PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA CARTE DE CONTRÔLE.

La mise sous contrôle du tour automatique dont il sera question au cours de cet exposé a consisté à lui adapter ce qu'il est convenu d'appeler une « Carte de Contrôle ». Cette technique étant encore assez peu répandue en France, nous nous proposons d'en décrire, tout d'abord, les principes. Ils sont très élémentaires.

De façon générale, la carte de contrôle répond au souci de surveiller au cours d'une fabrication la stabilité des propriétés de cette fabrication. Elle repose sur un petit nombre d'idées très simples et sur lesquelles il est d'ailleurs facile de revenir en termes strictement expérimentaux.

Considérons dans un atelier un tour automatique usinant des pièces, du type schématisé sur la figure 1, dont on surveille le diamètre extérieur.

Sans trop nous avancer, nous pouvons admettre que dans cet atelier, comme dans la plupart des autres ateliers, le contrôle de la bonne marche du tour consiste pour le régleur :

- 1) à passer de temps à autre devant le tour ;
- 2) à prélever une pièce ;

(1) En nous autorisant à faire état des résultats acquis au cours de cette expérience de mise sous contrôle, la Société Nouvelle Cuttat et la Société Solex font preuve d'un libéralisme qu'il nous plaît de souligner et dont nous ne saurions trop les féliciter.

- 3) à mesurer cette pièce (plus souvent à la passer aux calibres) ;
 - 4) à laisser poursuivre la fabrication si le diamètre examiné s'avère conforme aux spécifications imposées ou bien à arrêter le tour, pour réglage, dans le cas contraire.
- Imaginons alors qu'au lieu de procéder ainsi, le régleur s'impose un certain temps :
- 1) de prélever périodiquement une pièce et de la mesurer comme par le passé ;
 - 2) de consigner sur une feuille de papier chaque résultat enregistré et, quel que soit ce résultat, de ne pas toucher à la machine.

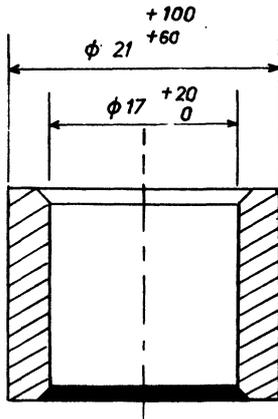


Fig. 1.

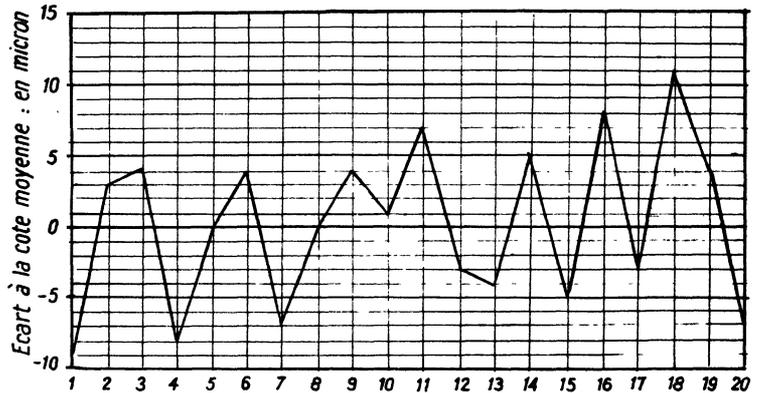


Fig. 2. Tour n° 1 - Prélèvements de 20 pièces.

Nous pouvons affirmer — aussi paradoxal que cela paraisse — qu'il sera amené à faire un certain nombre de remarques fondamentales.

Pièce n°	Ecart à la cote moyenne 21.80 mm. (en micron)	Pièce n°	Ecart à la cote moyenne 21.80 mm. (en micron)
1	- 9	11	7
2	3	12	- 3
3	4	13	- 4
4	- 8	14	5
5	0	15	- 5
6	4	16	8
7	- 7	17	- 3
8	0	18	11
9	4	19	4
10	1	20	- 7

Ayant par exemple observé les 20 résultats qui figurent dans le tableau ci-dessus, il sera obligatoirement amené à conclure :

1° que le tour n'a cessé d'être convenablement réglé durant le laps de temps où les prélèvements ont été opérés ;

2° qu'en dépit de l'exactitude du réglage, les diamètres usinés ont oscillé autour de la valeur (idéale) imposée par les spécifications.

Le régleur prendra ainsi conscience du fait qu'une machine, si bien réglée soit-elle, donne des résultats néanmoins dispersés.

Si d'autre part, dans le même atelier, se trouve un autre tour automatique (de même modèle ou de modèle différent, peu importe) usinant le même type de pièce et si notre régleur, assumant de façon analogue la surveillance de ce second tour, recueille dans le même laps de temps, les 20 résultats suivants :

Pièce n°	Ecart à la cote moyenne 21.80 mm. (en micron)	Pièce n°	Ecart à la cote moyenne 21.80 mm. (en micron)
1	15	11	- 2
2	26	12	- 17
3	- 33	13	23
4	22	14	11
5	12	15	- 5
6	- 20	16	- 18
7	- 11	17	- 23
8	- 6	18	- 25
9	19	19	10
10	- 10	20	31

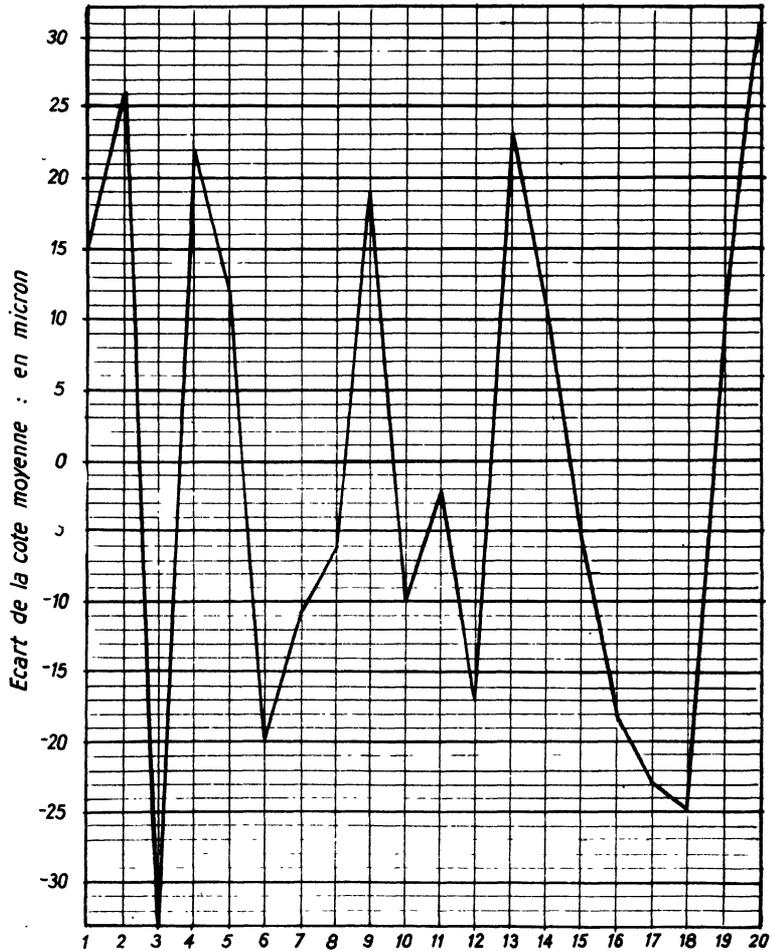


Fig. 3. Tour n° 2 - Prélèvements de 20 pièces.

il sera amené à conclure :

1° que le second tour n'a également cessé d'être convenablement réglé ;

2° mais que l'ampleur des oscillations des diamètres observés autour de la cote (idéale) spécifiée se révèle beaucoup plus forte que dans le premier cas.

Le régleur prendra ainsi conscience du fait que la dispersion, inévitable, des résultats de fabrication est susceptible de varier largement d'une machine à une autre.

Si à ce moment-là — et, à ce moment là seulement, d'ailleurs — notre régleur pense à comparer les fluctuations des résultats obtenus à l'intervalle ($\pm 20 \mu$) de tolérance fixé par le bureau d'études, il y a gros à parier qu'il sera tout naturellement amené à conclure :

1° que le premier tour, dans ses conditions de marche du moment, est capable de faire le travail qu'on lui demande ;

2° que le second tour en est, au contraire, incapable.

Il découvrira ainsi, tout seul, la notion d'aptitude d'un outillage au travail qui lui est confié.

A ce stade, examinant de plus près les résultats obtenus sur le second tour, il se dira sans doute : « Si, au lieu de faire l'expérience que je viens de faire, c'est-à-dire si, au lieu de me contenter de prélever des pièces et de consigner sur une feuille de papier les mesures effectuées sans toucher à la machine, j'avais procédé comme je le fais d'habitude, j'aurais pensé, dès la deuxième mesure, que mon tour était mal réglé (diamètre trop élevé) et, dans ces conditions, en voulant le régler je l'aurais, en fait, dérégulé, puisque la suite de l'expérience m'a prouvé que si les oscillations des diamètres usinés ont été fortes, leur centrage n'a cessé d'être correct ».

Cette remarque faite, il est douteux qu'il reprenne par la suite sa façon de faire usuelle : il n'y croira plus.

S'il a le génie de Shewart, ingénieur à la Bell Telephone Co et créateur de la « Carte de Contrôle », il raisonnera, le lendemain, comme suit : « Mon tour n° 1 a fonctionné hier dans de bonnes conditions de réglage, or, du fait de ses conditions de marche, il a néanmoins dispersé les résultats qu'il a fournis, mais il ne les a pas dispersés dans un intervalle supérieur à l'intervalle (-9, 11) : je vais donc admettre aujourd'hui, me basant sur ce phénomène, que tant que le tour n° 1 me donnera des résultats compris entre -9 et 11 il marchera correctement et je n'interviendrai que si j'observe des résultats extérieurs à cet intervalle. De façon analogue, je n'interviendrai sur le tour n° 2 que si j'observe des résultats extérieurs à l'intervalle (-33, 26). »

Ce faisant, il s'assignera des limites de contrôle basées sur les possibilités de ses machines.

Par comparaison de ces limites de contrôle à l'intervalle de tolérance de la fabrication, il sera, de plus, en mesure de faire observer à ses chefs que le tour n° 2 n'est pas capable de fournir ce qu'on attend de lui.

Enfin, tout le monde dans son entreprise comprendra que le contrôle n'est pas une activité coercitive mais un facteur efficace de « gestion » optima de la fabrication.

Cette description de la « Carte de Contrôle » est évidemment très sommaire mais elle permet d'en préciser les aspects fondamentaux et c'est là l'essentiel. En vue de décrire la véritable technique de la carte de contrôle, il suffit d'ailleurs de mentionner :

1° qu'au lieu de prélever une à une les pièces à examiner, on les prélève par groupe (échantillon de 4 à 10 pièces, en général) cette façon de faire permettant d'accroître l'efficacité de la surveillance de la fabrication ;

2° qu'au lieu de surveiller la cote de la pièce prélevée, on surveille d'une part la moyenne des cotes des pièces figurant dans l'échantillon et d'autre part l'amplitude de cet échantillon, c'est-à-dire la différence entre le plus fort et le plus faible résultat observé ;

3° que les limites de contrôle à adopter — d'une part pour les moyennes d'autre part pour les amplitudes — sont définies par des tables numériques toutes calculées et donc que leur détermination reste absolument immédiate.

A titre indicatif, nous reproduisons ci-contre quelques types de « carte de contrôle » fréquemment rencontrés en pratique (Figures 4 à 7).

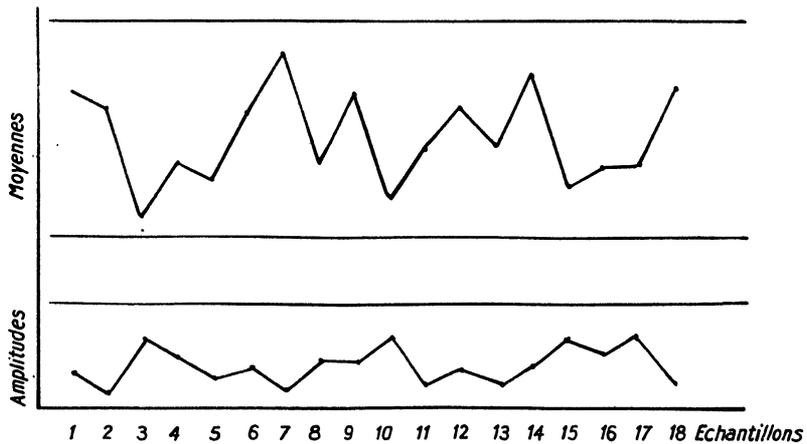


Fig. 4. Fabrication sous contrôle.

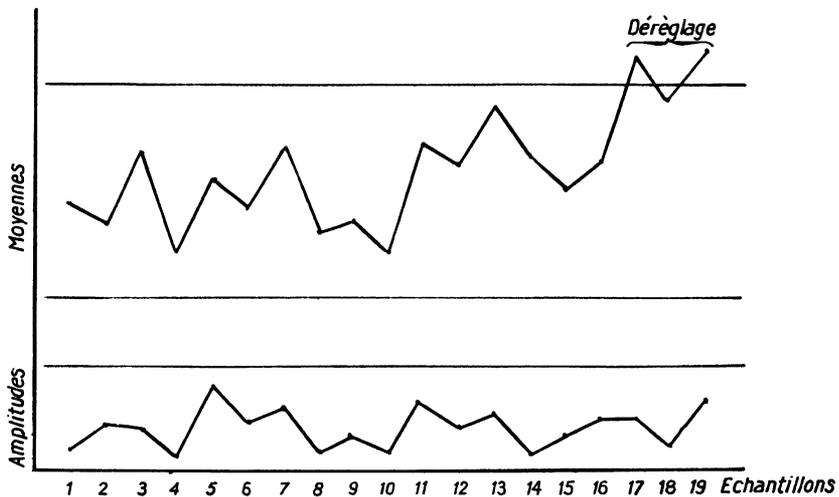


Fig. 5. Dérèglement d'une fabrication jusque-là sous contrôle.

II. LE MESUREUR PNEUMATIQUE SOLEX, A COTE MOYENNE.

Le tour automatique mis sous contrôle à l'occasion de la Biennale des machines-outils usina pendant toute la durée de cette exposition des pièces du type représenté sur la figure 1 et l'expérience consista à surveiller d'une part le diamètre extérieur ϕ_1 d'autre part l'alésage ϕ_2 .

Avant même d'entamer la mise sous contrôle de la fabrication se posa donc le problème de l'organisation des mesures.

Ce que l'on entend par l'organisation de la mesure peut se traduire de la façon suivante : il faut que l'on puisse mesurer aisément.

Cette aisance présente divers aspects dont le plus délicat concerne le choix de la valeur caractéristique de la cote. Il est, en effet, erroné de penser que cette valeur n'a pas à être choisie sous prétexte qu'elle est donnée par l'appareil de mesure. En fait, les pièces mécaniques ne présentent jamais une perfection géométrique telle qu'on puisse les définir par une seule dimension. Il n'est d'ailleurs pas nécessaire d'avoir une grande expérience en matière de fabrications mécaniques pour savoir que les arbres, les alésages, les plans, etc... présentent des erreurs de forme ou erreurs macrogéométriques que l'on désigne dans les ateliers par les mots d'ovalisation, conicité, ondulations, etc..., etc...

Pour simplifier une question qui est souvent beaucoup plus complexe qu'on ne l'imagine, raisonnons sur le cas d'un arbre qui présenterait une ovalisation régulière.

Une telle pièce comporte une infinité de cotes allant du petit axe au grand axe de l'ellipse. Or, le contrôleur chargé de tenir la carte de contrôle ne peut pas se livrer à l'exploration complète de chaque pièce, exploration qui, seule, lui permettrait de connaître la valeur des deux axes et de choisir l'un ou l'autre.

On sent, d'autre part, intuitivement que l'une ou l'autre de ces valeurs n'est pas satisfaisante pour caractériser la pièce et l'idée qui vient immédiatement à l'esprit est de choisir la cote équidistante ou cote moyenne, mais les opérations qu'il faut effectuer pour connaître cette cote moyenne

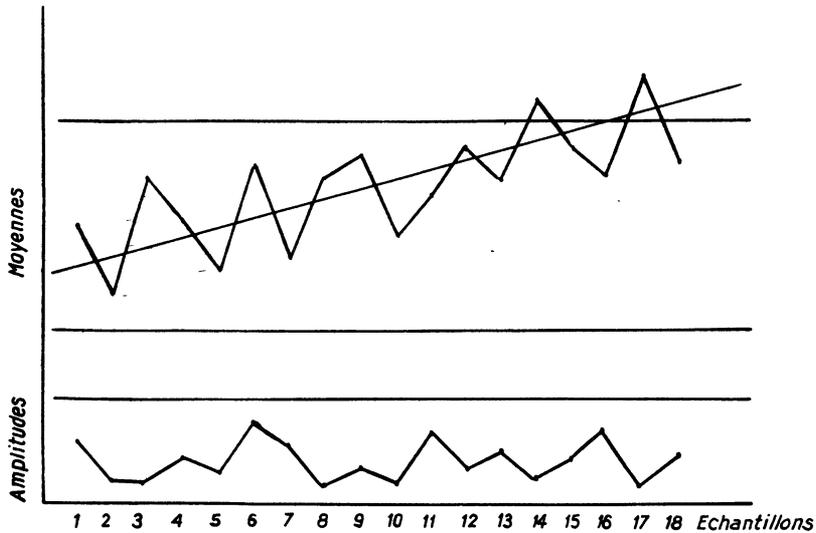


Fig. 6. Evolution systématique de résultats de fabrication provoquée par l'usure de l'outil.

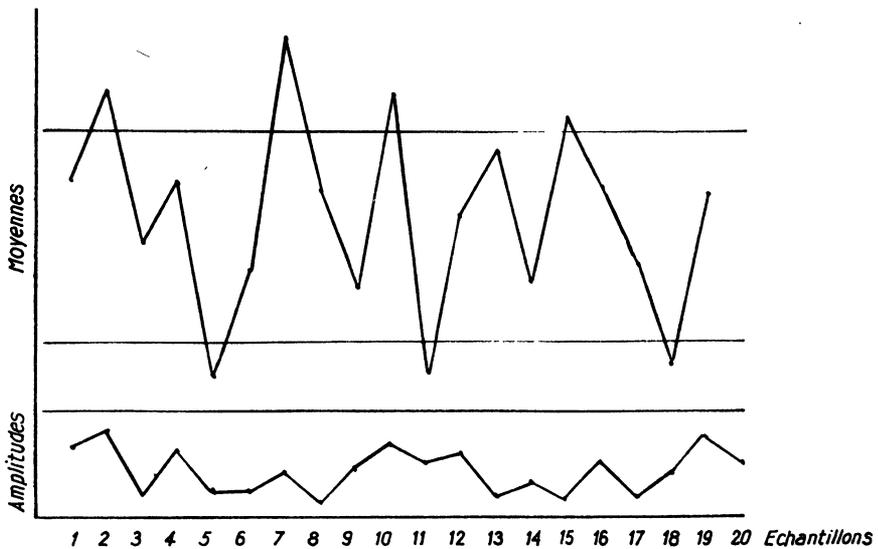


Fig. 7. Fluctuations accidentelles de résultats de fabrication à l'extérieur de leurs limites de contrôle statistique. Ce phénomène est le plus souvent provoqué par une trop forte hétérogénéité de la matière première.

apparaissent immédiatement comme prohibitives. On pense aussitôt à un appareil qui donnerait directement et instantanément cette valeur moyenne.

Un autre facteur caractérisant l'aisance recherchée n'est autre que la rapidité d'exécution des mesures. Il faut éviter les manipulations difficiles et les réduire à leur plus simple expression.

Enfin, il est nécessaire de prévoir des dispositions telles que les prélèvements soient automatiques, c'est-à-dire que le contrôleur ne soit pas obligé de compter les pièces.

Partant de ces considérations, la Société Solex, qui s'était chargée de l'organisation métrologique de l'expérience, fut amenée à adopter certains dispositifs qui méritent, de par leur originalité même, d'être ici décrits.

a) Mesure dynamique.

Il n'est sans doute pas nécessaire de rappeler les principes techniques utilisés pour la réalisation des appareils SOLEX. On sait que la lecture de la mesure se fait à l'aide d'un simple manomètre à eau dont la colonne s'arrête à une hauteur fonction de la cote de la pièce. La cote correspondante est connue immédiatement grâce à une règle graduée qui équipe le manomètre.

On sait également que, en raison du volume interne des diverses canalisations qui composent l'ensemble des appareils, l'équilibre des pressions n'est pas instantané. Si, par un procédé quelconque on fait varier le débit d'air dans l'appareil, alternativement en plus et en moins, les oscillations de la colonne d'eau suivent exactement ces variations, à la condition évidente qu'elles soient suffisamment lentes pour que l'inertie du système puisse être négligeable. Mais, si l'on accélère la vitesse des variations, l'inertie intervient et l'amplitude des oscillations décroît au fur et à mesure que la vitesse augmente.

Cela posé, les sollicitations auxquelles la colonne d'eau est soumise peuvent, d'autre part, être considérées avec une approximation largement suffisante comme étant réparties de part et d'autre d'un point moyen. On peut admettre, en reprenant l'exemple schématique précité, que ce dernier correspond à la cote moyenne de l'arbre elliptique. Par conséquent, si cet arbre est entraîné à une vitesse de rotation suffisante, lorsqu'il est placé en position de mesure entre les touches d'un appareil SOLEX, la colonne d'eau doit se stabiliser immédiatement à une valeur correspondant à la cote moyenne, telle qu'on vient de la définir.

En bref, de nombreuses expériences et études de laboratoire ayant confirmé la validité de ce point de vue théorique et la stabilité (au micron près) des lectures ainsi obtenues, c'est donc simplement en équipant le mesureur d'un dispositif rotatif qu'a été résolu le problème de la mesure de la cote moyenne donnée directement par l'appareil sans aucune recherche ni aucun calcul de la part de l'opérateur. La pièce était entraînée, par frottement, par un cylindre tournant, ce dernier étant lui-même entraîné par un flexible relié à un moteur quelconque (1).

b) Mesure double.

Le mesureur était prévu pour effectuer simultanément la mesure de l'alésage et du diamètre extérieur. L'alésage était mesuré à l'aide d'un tampon à gicleurs classique servant en même temps de support à la pièce. La mesure du diamètre extérieur était faite à l'aide d'un cé oscillant, ce qui éliminait tout problème de mise en position précise de la pièce.

Le tampon à gicleurs et le cé oscillant étaient reliés à un micro-mesureur à double lecture qui comportait un double manomètre permettant de lire en même temps la cote intérieure et la cote extérieure. Pour pouvoir appuyer la pièce à mesurer contre le cylindre tournant, une pièce d'appui, tenue à la main par l'opérateur, était en outre prévue.

c) Mode opératoire.

Pour préparer automatiquement le travail du contrôleur, les pièces étaient placées dans des boîtes spéciales étudiées en conséquence, les cinq dernières, constituant l'échantillon, étant automatiquement mises à part dans une partie de la boîte spécialement disposée pour cela.

(1) Le dispositif rotatif peut être conçu de différentes façons et il est d'autant plus facile à réaliser que la pièce est elle-même de forme simple.

Ainsi, les pièces à mesurer se trouvaient immédiatement à la disposition du contrôleur et si le résultat des mesures faisait apparaître une anomalie sur la carte de contrôle, il suffisait de mettre de côté la boîte considérée pour procéder à l'inspection à cent pour cent prévue dans ce cas.

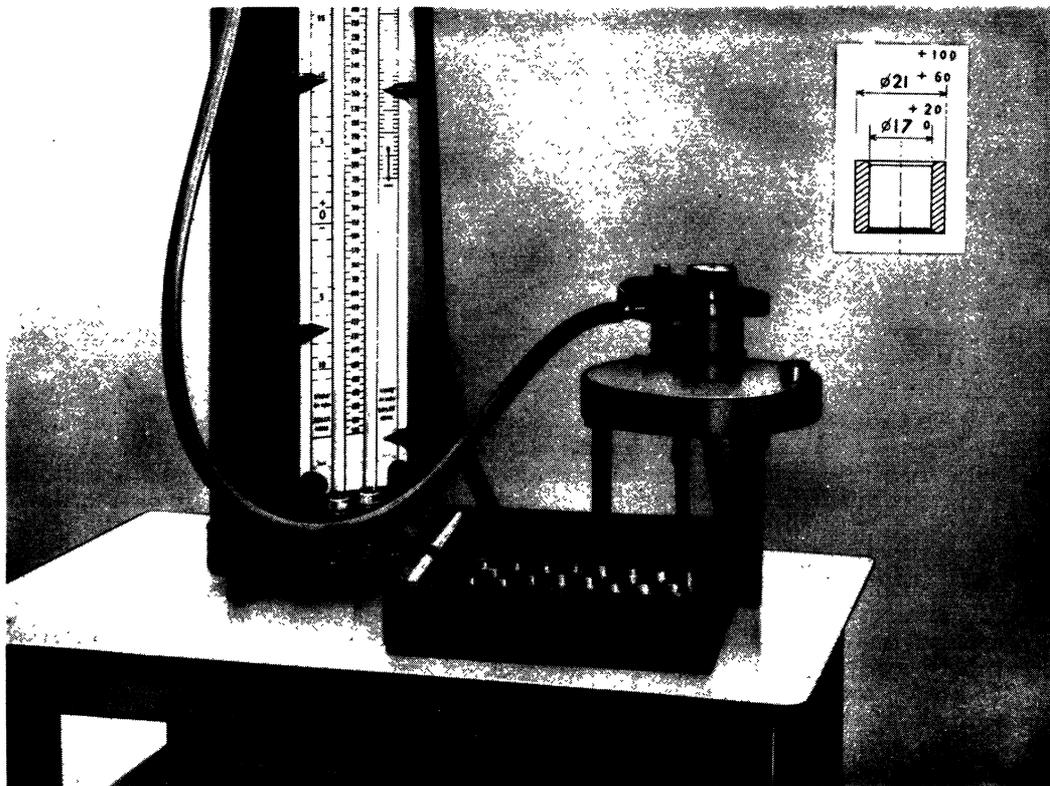


Fig. 8.

III. — LA MISE SOUS CONTRÔLE PROPREMENT DITE DU TOUR AUTOMATIQUE EXPOSÉ A LA BIENNALE DES MACHINES-OUTILS (Paris, Septembre 1951).

Comme on a déjà eu l'occasion de l'indiquer, la figure 1 donne le dessin de la pièce usinée par le tour automatique considéré lors de l'expérience ici décrite et la mise sous contrôle de cet appareil consista d'une part à surveiller les alésages, d'autre part à surveiller les diamètres extérieurs des pièces usinées.

Au départ de l'expérience — on l'a également indiqué — les démonstrateurs n'avaient reçu aucune formation particulière.

Dès l'abord un double problème se posa donc. Il apparut qu'il convenait :

- 1° de former — au cours des premières journées de démonstration — les régleurs ;
- 2° ensuite, seulement, d'établir les deux cartes de contrôle relatives l'une aux diamètres extérieurs, l'autre aux alésages.

En vue de former rapidement le personnel disponible, on décida d'utiliser la technique d'approche décrite à la section 1. On se contenta donc de demander aux démonstrateurs d'opérer à peu près tous les trois-quarts d'heure le prélèvement des 5 dernières pièces fabriquées ; de mesurer leurs diamètres extérieurs et leurs alésages ; de calculer la moyenne et l'amplitude des 5 diamètres extérieurs et de porter sur un graphique les points représentatifs des résultats ainsi obtenus ; de procéder de même pour les alésages. Les mesures, grâce à l'appareil décrit à la section 2, étaient effectuées au micron.

Les résultats obtenus au cours des deux premières journées (ramenés dans chaque cas à la cote moyenne) furent les suivants :

Jour	Echantillon	Diamètre extérieur		Alésage	
		Moyenne	Amplitude	Moyenne	Amplitude
2-9-51	n° 1	8	13	- 7	5
	n° 2	13	10	- 8	11
	n° 3	- 16	18	- 4	5
	n° 4	1	18	- 7	7
	n° 5	6	25	- 9	8
	n° 6	- 10	7	- 12	9
	n° 7	1	12	- 14	11
	n° 8	- 3	13	- 6	17
3-9-51	n° 1	- 5	10	- 5	18
	n° 2	- 1	15	- 7	10
	n° 3	- 9	14	- 7	5
	n° 4	11	19	- 3	21
	n° 5	6	17	5	8
	n° 6	- 3	6	4	10
	n° 7	- 9	6	11	4
	n° 8	- 8	3	11	6

Examinant ces résultats on constata donc :

1° une forte stabilité des amplitudes ;

2° une forte instabilité des moyennes ;

or, un calcul rapide — sur la technique duquel il paraît inutile d'insister ici (il est classique en carte de contrôle) — montra que l'instabilité des moyennes était incompatible avec la stabilité des amplitudes. Pour des amplitudes moyennes de l'ordre de 10 à 12 μ , comme c'était le cas, les moyennes des échantillons devaient normalement, tant pour les diamètres extérieurs que pour les alésages, se situer entre les limites (- 7, + 7).

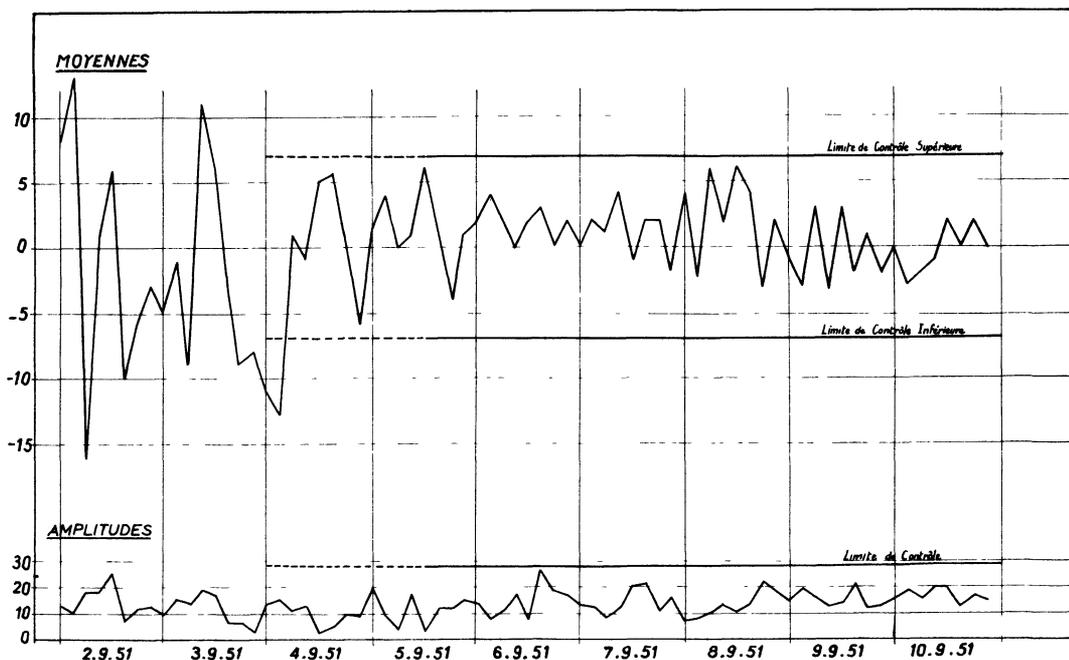


Fig. 9. Carte de contrôle du diamètre extérieur.

L'explication du phénomène tenait à ce que les démonstrateurs — soucieux de trop bien faire — réglèrent trop fréquemment leur machine et cela, de façon souvent inopportune.

Le 3ème jour, on commença donc, en s'aidant des graphiques jusque là obtenus :

1° à expliquer au personnel ce qui s'était passé la veille et l'avant-veille ;

2° à lui présenter les idées fondamentales concernant la carte de contrôle.

Dès le lendemain, les diamètres extérieurs se stabilisèrent et purent être considérés comme « contrôlés ». On n'enregistra, de plus, aucun incident de cette date à la fin de l'exposition.

Enfin, après deux jours d'application de la méthode aux diamètres extérieurs, on s'occupa des alésages qui, à leur tour, furent très rapidement ramenés à l'intérieur de leurs limites de contrôle.

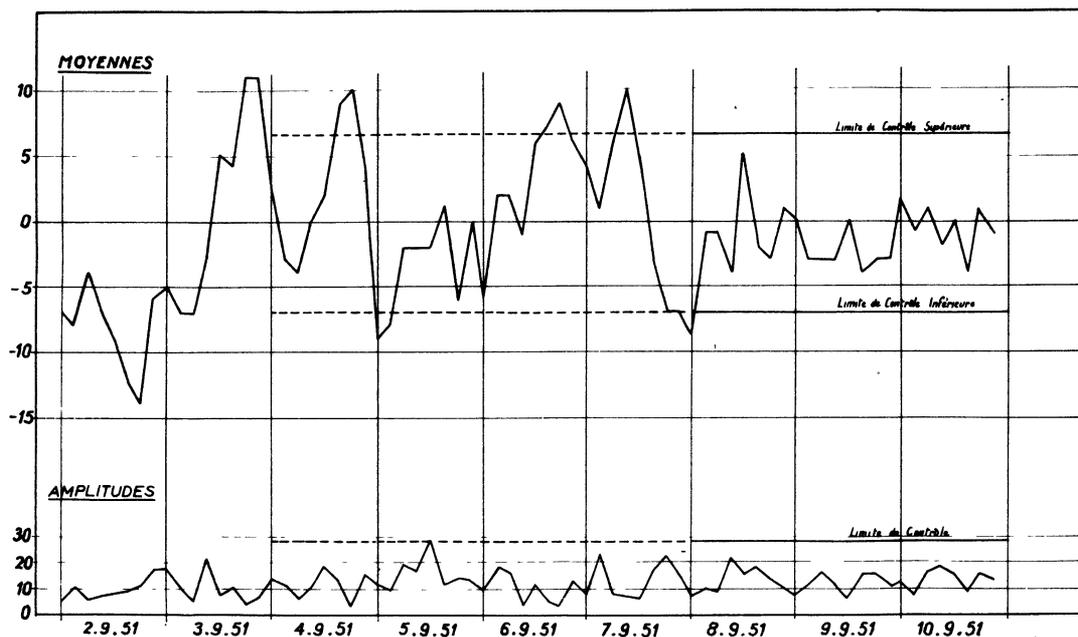


Fig. 10. Carte de contrôle de l'alésage.

Les figures 9 et 10 reproduisent l'ensemble des résultats obtenus durant la Biennale. Nous les croyons trop spectaculaires pour mériter d'être davantage commentées. On constate, en effet, qu'en moins d'une semaine, l'emploi de la carte de contrôle a permis à des régleurs de qualité de diviser par 2 la dispersion de leur fabrication.

En terminant, nous ajouterons qu'il a également été possible, au vu de ces résultats, de préciser l'aptitude du tour au travail qui lui était confié. Un calcul classique (et toujours élémentaire) a en effet conduit à chiffrer à $\pm 15 \mu$ la dispersion, autour du diamètre extérieur moyen (21.80) et de l'alésage moyen (17.10), des résultats fournis — dans les conditions de marche examinées — par l'appareil sous contrôle. Par comparaison aux intervalles de tolérance assignés à ces deux cotes soit :

21.600 — 22.00 pour les diamètres extérieurs ;

17.00 — 17.20 pour les alésages,

il est ainsi devenu clair que, si le tour répondait dans le premier cas à ce qu'on attendait de lui, il n'en était pas tout à fait de même dans le second.