Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 47 (1956)
Heft: 6

Artikel: Les méthodes statistiques de contrôle des fabrications
Autor: Ortlieb, I.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058198

47e année | N° 6 | Samedi, le 17 mars 1956

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN
DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

Les méthodes statistiques de contrôle des fabrications

Par *I. Ortlieb*, Zurich

658.562.6 : 519.24

L'article traite de l'application pratique et de l'utilité du contrôle statistique de la qualité. Les principes de la statistique sont commentés, dans la première partie, par un exemple. La deuxième partie traite de la méthode des cartes de contrôle et de ses principaux domaines d'application, tels que le contrôle du matériel et le contrôle en cours de fabrication. Quelques exemples pratiques montrent la variété des systèmes existants. Les principes théoriques de la statistique ne sont exposés que dans la mesure nécessaire à la compréhension des idées émises dans l'article.

Die Arbeit behandelt die praktische Anwendung und die Nützlichkeit der statistischen Qualitätskontrolle. Im ersten Teil werden die Grundlagen der Statistik anhand eines Beispieles besprochen. Der zweite Teil behandelt die Kontrollkartenverfahren und deren hauptsächliche Anwendungsgebiete, wie die laufende Materialkontrolle und die laufende Produktionsüberwachung. Einige praktische Beispiele sollen auf die Vielseitigkeit dieser Verfahren hinweisen. Auf die theoretischen Grundlagen der Statistik wird nur soweit eingegangen, als dies zum Verständnis der Zusammenhänge notwendig ist.

A. Généralités

1. Principes et buts du contrôle statistique

Le domaine de la statistique appliquée à la technique est très vaste. On commence à comprendre, dans de nombreux milieux, qu'il est inutile de procéder aux vérifications quand cela est trop tard et qu'il faut prendre suffisamment à temps des mesures de rationalisation appropriées, de manière à éliminer d'avance tout ce qui pourrait donner lieu à des réclamations à propos du produit ou de sa qualité.

En principe, le contrôle de la qualité de la production ne diffère pas du problème de l'établissement du programme de fabrication ou du contrôle de réception. Le contrôle de la qualité n'est qu'une autre phase de la conduite de l'exploitation, de sorte que les principes applicables à celle-ci le sont également, comme pour les autres fonctions de la production.

A l'aide de matières plus ou moins bonnes, des ouvriers plus ou moins habiles, utilisant des machines plus ou moins bien appropriées, fabriquent selon des méthodes plus ou moins convenables une marchandise destinée à la vente. Ces quatre facteurs: matières, ouvriers, machines et méthodes, ont sur les rebuts au cours de la fabrication une influence qui est en partie voulue, en partie prévue, mais aussi en partie très indésirable. Dans de nombreux cas, il n'est pas possible d'analyser ces différentes influences et il est rare de pouvoir en suivre les variations. Pourtant, la qualité du produit ne doit pas être inférieure à un certain niveau. Dans l'industrie, on admet généralement qu'une production uniformément bonne est bien préférable et plus économique qu'une production parfois très bonne et parfois mauvaise. La renommée et le succès d'un produit dépendent en effet du maintien de sa qualité.

2. Application

Il a toujours été utile d'avoir quelques notions de statistique. Preuve en soient les grandes sociétés d'assurances dans le monde entier. Le domaine de la statistique technique étant étroitement lié à celui des mathématiques, certains praticiens ne sont pas encore pleinement convaincus de la portée des méthodes statistiques. A l'étranger, la statistique technique est néanmoins appliquée de plus en plus souvent, notamment dans l'industrie américaine, où elle est déjà largement introduite. Les procédés sont maintenant bien adaptés aux besoins de la pratique et ils ont trouvé de multiples domaines d'application durant la seconde guerre mondiale et depuis lors: aviation, métallurgie, machines agricoles, armements, appareils chirurgicaux, fonderie, radiodiffusion, téléphonie, électricité, chimie, céramique, droguerie, alimentation, verrerie, papeterie, optique, matières synthétiques, caoutchouc, fourrages, textiles, etc.

Dans la pratique, on a souvent à contrôler un grand nombre de produits fabriqués en séries. Un contrôle à 100 % étant généralement trop onéreux, il faut se borner à un contrôle partiel. Celui-ci est d'ailleurs parfois le seul qui puisse entrer en considération, lorsque le contrôle conduit à une destruction de l'objet, par exemple pour les essais de résistance à la perforation de condensateurs ou le contrôle du courant de fonctionnement de coupe-circuit à fusible. D'autre part, il faut tenir compte du fait qu'un contrôle à 100 % n'est pas exempt d'erreurs, surtout quand il s'agit d'un grand nombre de pièces. Cela tient à la monotonie du travail, ainsi qu'à la fatigue et à l'inattention du personnel chargé du contrôle. L'exactitude maximum ne dépasse guère 98 % et elle est généralement bien inférieure.

La statistique permet de juger de la qualité de toute la production en se basant sur le résultat obtenu par prélèvement d'échantillons. Ce système permet de réduire considérablement le coût du contrôle, mais il faut admettre certaines incertitudes, car une estimation exacte est impossible et on court toujours le risque de se tromper. Dans de nombreux cas, ce risque est toutefois maintenu entre de très étroites limites. On dit alors que l'estimation est «suffisamment sûre».

Un autre domaine d'application très utile de la statistique est celui de la production échelonnée, où les différents stades du travail doivent être parfaitement coordonnés. Dans ce qui suit, nous tenterons d'expliquer le principe du contrôle statistique à l'aide de quelques exemples. Son application n'exige pas de grandes connaissances en mathématiques, car on a surtout affaire à de simples valeurs numériques.

3. Avantages du contrôle statistique

Le grand avantage du contrôle statistique des fabrications réside avant tout dans le fait qu'il permet d'éviter un contrôle à 100 %, ce qui réduit considérablement les frais et est beaucoup plus économique. En outre, le contrôle statistique en cours de fabrication permet pratiquement d'éliminer tout rebut, lorsque les résultats constatés sont utilisés judicieusement et que le processus de fabrication est ajusté en conséquence.

B. Bases de la statistique

1. Liste à coches, diagramme des fréquences et diagramme des fréquences cumulées

Supposons qu'une fabrique de produits textiles reçoive du fil qu'elle contrôle à la réception. Le tableau I indique les valeurs numériques d'un prélèvement de 120 échantillons. Les 120 valeurs sont additionnées ligne par ligne (sommes 796, 836, 822, etc.) et colonne par colonne (sommes 882, 902, 957, etc.). Ni la série des sommes de ligne, ni celle des sommes de colonne ne montrent une tendance à grandir ou à diminuer; les grandes et les petites valeurs sont réparties irrégulièrement dans les deux séries. Ce fait peut servir de premier et de plus simple critère pour le choix fait au hasard parmi les 120 valeurs numériques trouvées.

Que peut-on faire en outre avec un tel tableau de valeurs? Peut-on en tirer des déductions quelconques? Le fournisseur peut-il être amené à réduire son prix, parce que certaines valeurs sont très basses, par exemple 54 g dans la première colonne et 53 g dans la seconde? Mais il y a également des valeurs élevées, par exemple 108 g dans la

Détermination de la résistance d'un fil textile

Tableau I

Charge de rupture, en g										
62	56	106	105	104	65	68	74	79	77	796
70	72	74	108	95	98	69	95	90	65	836
65	69	72	76	103	99	89	84	85	80	822
54	81	70	71	82	88	80	82	67	76	751
55	*53*	95	98	87	76	68	70	96	89	787
86	77	76	61	63	67	79	76	82	88	755
88	82	72	83	68	64	89	93	85	80	804
82	70	75	81	81	95	81	68	81	86	800
72	74	90	79	92	75	98	62	70	82	794
64	82	81	88	98	94	104	103	65	61	840
91	95	69	81	85	103	86	85	80	72	847
73	91	77	90	71	74	90	93	92	88	836
862	902	957	1021	1029	998	1001	985	972	944	9671

quatrième colonne. Pour chaque colonne et chaque ligne, on peut obtenir une valeur moyenne, ce qui ne donne toutefois qu'une représentation imprécise. Pendant plusieurs jours, la production pourrait se poursuivre avec des valeurs inférieures, jusqu'à ce qu'une livraison de meilleure qualité rétablisse la moyenne mensuelle. Dans ces conditions, il en résulterait d'importants rebuts.

La représentation selon le tableau II, dite *liste à coches*, est beaucoup plus compréhensible, du fait que les 120 valeurs sont groupées en classes. La différence entre la plus grande et la plus petite des

Liste à coches

Tableau II

	Classe	Milieu de clas.	Liste à coches	Fréquence	Fréquence en %	Fréquence cumulée en %
1	46...56	51	III–	3,5	2,92	2,92
2	56...66	61	𝍸 𝍸 I–	11,5	9,59	12,51
3	66...76	71	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 –	30,5	25,40	37,91
4	76...86	81	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 IIII	34,0	28,34	66,25
5	86...96	91	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 II	27,0	22,50	88,75
6	96...106	101	𝍸 𝍸 II	12,0	10,00	98,75
7	106...116	111	I–	1,5	1,25	100,00
				120,0	100,00	

valeurs mesurées (53 et 108) s'appelle «étendue de l'échantillon». Elle est répartie d'une manière équidistante entre un certain nombre de classes, les limites de celles-ci étant autant que possible des valeurs entières, afin de faciliter les calculs. (Pour le choix du nombre de classes, on a constaté qu'il est préférable de ne pas adopter moins de 6 classes et qu'il suffit généralement de 10 à 20 classes.) D'après la liste des 120 valeurs, on obtient la fréquence pour chacune des classes à l'aide d'une liste à coches, qui est établie avec une étendue de classe de 10 g, dans le cas d'une répartition en 7 classes. Lorsqu'une valeur tombe exactement à la limite d'une classe, elle est comptée par moitiés dans la classe supérieure et dans la classe inférieure.

C'est ce qui explique la présence des demi-valeurs dans la liste des coches et dans la colonne des fréquences.

On peut aussi dresser directement une liste à coches et renoncer à écrire la liste des valeurs numériques, surtout lorsque la répartition des classes est connue à la suite d'essais précédents.

Un très bon aperçu de la distribution des valeurs d'un prélèvement s'obtient facilement en dessinant le *diagramme des fréquences* (fig. 1a). On reporte sur l'axe horizontal la répartition en classes, puis au-dessus du milieu de chaque classe la fréquence correspondante, soit en valeur numérique, soit en pour cent. L'exemple précédent nous donne le diagramme des fréquences de la fig. 1a. 3,5 échantillons ont une résistance à la traction comprise entre 46 et 56 g, 11,5 échantillons entre 56 et 66 g, 30,5 échantillons entre 66 et 76 g, etc. Cette courbe en escaliers ne permet toutefois qu'un jugement qualitatif. Pour obtenir une valeur quantitative de l'irrégularité de la qualité, il faut aller plus loin. Ce qui importe, ce n'est pas de grouper convenablement les valeurs dans des colonnes et de les interpréter par des calculs, mais bien le temps dont on dispose pratiquement pour cela. Le dessin des courbes en escaliers est un moyen très utile, mais ce n'est pas le plus rapide. Pour le contrôle de la fabrication, les résultats de l'interprétation statistique doivent être déterminés rapidement, car les machines fonctionnent sans arrêt et il est fort peu intéressant d'apprendre, le soir, que toute la production de la journée n'était pas en ordre. Afin de faciliter également les calculs et d'accélérer le procédé, il est préférable d'établir le *diagramme des fréquences cumulées* (fig. 1b), en reportant graphiquement les sommes de tous les résultats jusqu'à la classe considérée, à l'aide des valeurs de la dernière colonne du tableau II. Il y a lieu de noter que les ordonnées doivent être reportées à la limite supérieure de la classe et non au milieu de celle-ci. Le polygone des sommes indique l'accroissement de la somme des fréquences (de 0 à 100 %), l'accroissement étant le plus rapide au milieu, c'est-à-dire à la ligne 50 %.

2. Courbe en cloche, valeur moyenne et écart-type

La courbe idéale de la succession des échelons est indiquée en traits interrompus sur la fig. 1a. Il s'agit de la courbe en cloche de Gauss, qui n'est atteinte que dans les cas théoriques, lors de l'examen d'un nombre infini de valeurs. Pour nos observations, qui ne concernent qu'un nombre limité de valeurs, il en résulte une courbe en escaliers, qui se rapproche toutefois de la courbe en cloche théorique. La valeur moyenne $\bar{x}$ des mesures est obtenue en additionnant les 120 valeurs et en divisant par 120. Dans notre exemple, elle est de 9671 : 120 = 80,6 g. La distance s a une signification directe et compréhensible pour la courbe. Les deux points d'inflexion W de la courbe en cloche se trouvent à la distance s de part et d'autre de la valeur moyenne $\bar{x}$. La distance s est l'écart-type et c'est une indication de l'étendue de la distribution des valeurs mesurées. Lorsque s est grand, cela signifie que la distribution est large, c'est-à-dire dispersée, et vice versa.

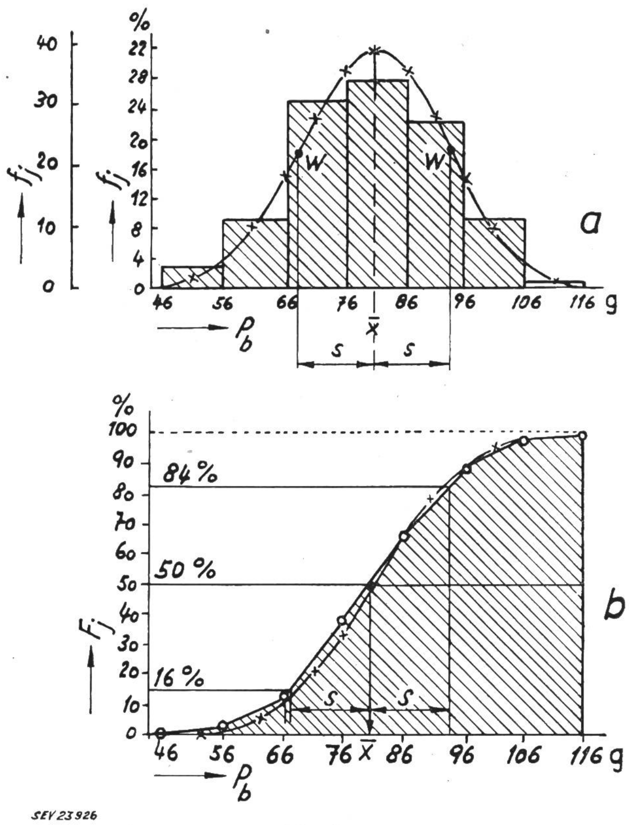


Fig. 1

Diagramme des fréquences a et diagramme des fréquences cumulées b pour la détermination de la résistance d'un fil textile

f_j fréquence; F_j fréquence cumulée; P_b charge de rupture; W points d'inflexion

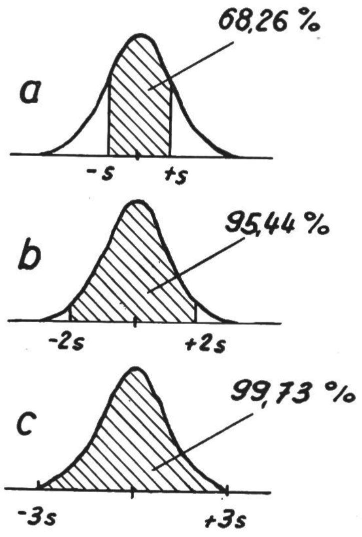
——— allure théorique — — — allure pratique

$\bar{x}$ = 80,6 g s = 12,5 g

Une détermination particulièrement simple et rapide de la valeur moyenne s'obtient en coupant le polygone des sommes par l'ordonnée 50 %. Ce point de sectionnement indique alors directement la valeur moyenne $\bar{x}$ = 80,6 g (fig. 1b). Les points de sectionnement des ordonnées 15,9 % (environ 16 %) et 84,1 % (environ 84 %) projetés sur l'axe des abscisses donnent deux valeurs se trouvant théoriquement à égale distance de $\bar{x}$. Les deux distances disposées symétriquement par rapport à la valeur moyenne ne sont pas autre chose que l'écart-type s et peuvent donc être directement lues sur la ligne des fréquences cumulées, sans aucun calcul. Pour l'exemple considéré, nous avons s = 12,5 g.

Pour déterminer encore plus simplement la valeur moyenne et l'écart-type, on peut dessiner le polygone des sommes sur un papier gradué en fréquences cumulées proportionnelles, selon Daeves-Beckel (fig. 3), au lieu de se servir d'un papier millimétrique ordinaire.

Dans ce cas, les arcs de la courbe en S s'étirent vers le haut et le bas, de sorte que dans des cas particuliers une distribution normale donne une droite rectiligne. En pratique, on a constaté que de très nombreuses distributions de la technique (mais pas toutes) sont normales ou approximativement normales. Si cela est le cas, on tire au jugé la «meilleure» droite à travers la famille de points et on se rapporte à cette droite pour juger ensuite de la distribution. Si l'on ne peut pas trouver de droite convenable, cela signifie que la distribution n'est pas normale. Cette droite coupe également l'ordonnée 50 % en un point qui, projeté sur l'abscisse, donne la valeur moyenne $\bar{x}$ de la distribution, comme nous l'avons vu précédemment. Dans notre exemple, nous obtenons à nouveau une valeur $\bar{x}$ = 80,6 g. Les points de sectionnement de la droite avec les ordonnées 84 et 16 %, projetés sur l'axe des abscisses, donnent à leur tour deux valeurs équidistantes de $\bar{x}$; les deux distances disposées symétriquement de part et d'autre de la valeur moyenne sont l'écart-type s qui peut être lu commodément sur le diagramme, sans calcul. Il est de 12,5 g, comme précédemment. Il en résulte donc des chiffres bien nets, qui peuvent être communiqués au fournisseur en cas de réclamation.



SEV 23927

Fig. 2
Les limites usuelles et les aires correspondantes

a 68,26 % de toutes les valeurs sont probablement comprises entres + s et — s

b 95,44 % de toutes les valeurs sont probablement comprises entre + $2s$ et — $2s$

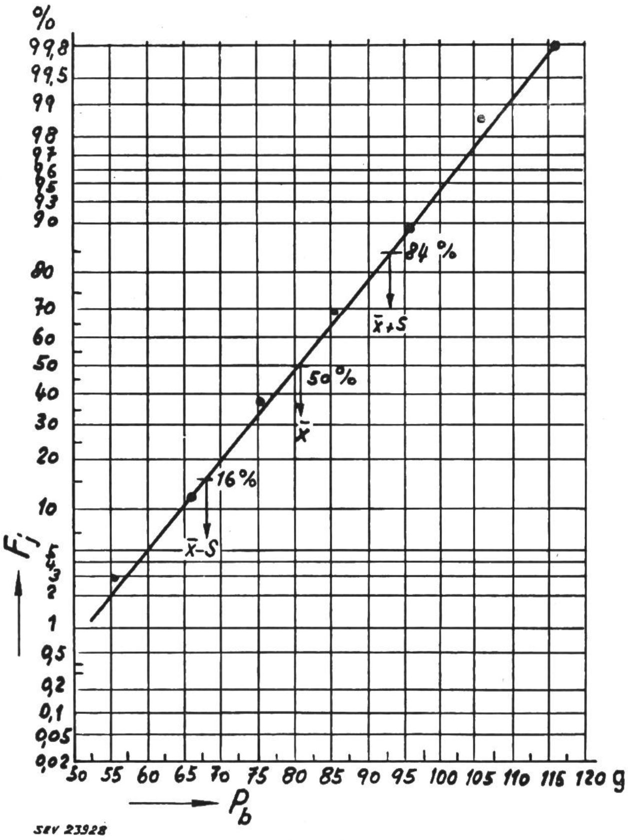
c 99,73 % de toutes les valeurs sont probablement comprises entre + $3s$ et — $3s$

Si l'on choisit une répartition toujours plus fine des classes et si l'on renonce en outre à n'utiliser que des valeurs entières, les classes selon la distribution normale de Gauss (fig. 1a) se rapprochent infiniment les unes des autres et donnent une distribution continue. Cette distribution normale est la plus importante de toutes les distributions qui peuvent se présenter en pratique. Les procédés de contrôle sont presque tous basés sur cette distribution. Comme nous l'avons déjà mentionné, il s'agit d'une courbe en cloche, symétrique de part et d'autre de son sommet. Cette forme exprime le fait qu'un événement est d'autant plus rare qu'il est plus éloigné de la valeur moyenne, cet éloignement pouvant être indifféremment d'un côté ou de l'autre de la valeur moyenne.

Les valeurs ci-après ont une importance essentielle en statistique technique:

1. Dans l'étendue de — s à + s (symétriquement par rapport à la valeur moyenne) on peut s'attendre à 68,26 % ou environ 2/3 de toutes les valeurs, car l'aire délimitée par la courbe en cloche représente l'ensemble des mesures (fig. 2a).

2. Dans l'étendue de — $2s$ à + $2s$, on peut s'attendre à 95,44 % de toutes les valeurs. L'aire non hachurée au-delà de la limite de $2s$ représente les valeurs dont nous ne tenons plus compte dans nos calculs, c'est-à-dire le risque d'erreur d'estimation, qui est de l'ordre de 4,56 %, puisque 4,56 % de toutes les valeurs mesurées se trouvent hors de la limite $2\,s$ (fig. 2b).



SEV 23928

Fig. 3
Ligne des sommes, reportée sur papier spécial de probabilité

F_j fréquence cumulée; P_b charge de rupture
Limite supérieure de contrôle
Limite inférieure de contrôle

3. Dans l'étendue de — $3\,s$ à + $3\,s$ se trouvent 99,73 % de toutes les valeurs, c'est-à-dire pratiquement toutes. Le risque d'erreur d'estimation n'est donc plus que d'environ 0,3 % (fig. 2c).

Domaine de dispersion des valeurs individuelles pour un risque d'erreur d'estimation de 0,3 %

Dans notre exemple, nous avons déterminé une résistance moyenne à la traction

$$\bar{x} = 80{,}6 \text{ g}$$

et un écart-type

$$s = 12{,}5 \text{ g}$$

Les limites $3s$ peuvent être déterminées très simplement, comme suit:

Limite supérieure de contrôle:

$\bar{x} + 3s = 80{,}6 + 3 \cdot 12{,}5 = 118{,}1$ g (arrondi 118 g)

Limite inférieure de contrôle:

$\bar{x} - 3s = 80{,}6 - 3 \cdot 12{,}5 = 43{,}1$ g (arrondi 43 g)

Entre 43 et 118 g se trouvent donc 99,7 % de toutes les valeurs mesurées. Ainsi que l'on peut facilement s'en rendre compte, toutes les 120 valeurs du tableau I se trouvent entre ces limites, c'est-à-dire entre 43 et 118 g. Les valeurs individuelles peuvent donc différer de la valeur moyenne de $\pm 3s = \pm 37{,}5$ g. La limite supérieure est sans importance, car la résistance du fil peut avoir une valeur élevée quelconque. En revanche, si l'une des valeurs est inférieure à 43 g, l'écart est *excessif*, ce qui peut motiver un rejet de la livraison si le fait se renouvelle.

Domaine de dispersion des valeurs moyennes pour un risque d'erreur d'estimation de 0,3 %

La valeur moyenne de nos 120 valeurs mesurées est de 80,6 g. Lors de la prochaine livraison, on note une valeur moyenne de 81 g, par exemple, lors des livraisons suivantes une valeur moyenne de 80 g, etc. Les valeurs moyennes varient donc également, comme les valeurs individuelles. D'une manière analogue, on peut indiquer une limite au domaine de variation de la valeur moyenne, qui ne doit pas dépasser $\pm 3s/\sqrt{N}$ ou, dans notre exemple:

$$\pm 3 \cdot 12{,}5/\sqrt{120} = \pm 3{,}4 \text{ g}$$

par rapport à la grande moyenne $\bar{\bar{x}}$ de toutes les livraisons, sinon cela donnerait lieu à une réclamation. (N et le nombre 120 sous le radical désignent le nombre de valeurs mesurées par prélèvement.) Lorsque le client réclame pour des écarts plus petits, qui demeurent dans le domaine des écarts purement aléatoires, le fournisseur peut se défendre.

3. Résumé

Nous avons donc prélevé 120 échantillons d'une première livraison. A la suite d'une répartition convenable en classes, qui peut être maintenue pour les livraisons suivantes, nous avons déterminé d'une manière très simple les fréquences par classe et les fréquences cumulées. Ces dernières sont reportées point par point sur un papier millimétrique ou spécial pour diagrammes de probabilité. Dans le premier cas, on obtient une courbe en S, dans le second cas une droite. Sans avoir recours à des calculs, on détermine la valeur moyenne $\bar{x}$ et l'écart-type s de cette première livraison. Une livraison suivante donne un autre $\bar{x}$ et un autre s, la suivante d'autres valeurs, et ainsi de suite. A partir de quelle grandeur des écarts avons-nous alors droit de réclamer? A cette question, la statistique donne une réponse nette, qui dépend de la sûreté statistique qu'exige cette réponse. Si nous admettons un risque d'erreur de 0,3 %, les valeurs individuelles ne devront pas être inférieures, dans notre exemple, de plus de 37,5 g (3 s) à la grande moyenne $\bar{\bar{x}}$ et les valeurs moyennes ne devront pas être inférieures de plus de 3,4 g. La grande moyenne sera très rapprochée de la simple valeur moyenne de 80,6 g.

Pour un risque d'erreur de R %, on a d'une manière tout à fait générale la règle suivante:

Les valeurs individuelles ne doivent pas s'écarter de plus de $\pm as$ de la grande moyenne et les valeurs moyennes de plus de $\pm as/\sqrt{N}$. Les différents facteurs a sont indiqués au tableau III pour les risques correspondants.

Facteurs

Tableau III

Risque d'erreurs R %	Facteur a
0,1	3,291
1	2,576
2	2,326
5	1,960
10	1,645
0,27	3,0
4,56	2,0

C'est ainsi, par exemple, que pour un risque d'erreur de 0,27 % les valeurs individuelles ne doivent pas s'écarter de plus de $\pm 3s$ et les valeurs moyennes de plus de $\pm 3s/\sqrt{N}$ de la grande moyenne.

C. Les cartes de contrôle

1. Généralités

Dans l'exposé qui précède, nous avons considéré essentiellement le contrôle statistique d'observation d'un seul ordre. Nous décrirons maintenant les procédés qui concernent non pas un contrôle unique, mais bien un contrôle constant, par exemple celui de la fabrication ou de la réception, c'est-à-dire l'application des méthodes statistiques au contrôle de la production durant la fabrication. Cela permet de surveiller directement le processus de fabrication et d'intervenir immédiatement dès qu'une certaine caractéristique (résistance, diamètre d'arbres, etc.) du produit commence à s'écarter de la valeur de consigne ou qu'il menace d'atteindre des valeurs dépassant inadmissiblement l'écart-type. Un rebut peut ainsi être constaté et éliminé au moment même où il se produit et non pas seulement *après* sa production. La grande valeur du procédé des cartes de contrôle est précisément de permettre un tel contrôle, qui a une extrême importance au point de vue économique. Les principaux domaines d'application de ce procédé sont le contrôle continu des matériaux et la surveillance permanente de la production.

Cartes de contrôle de réception: Dans ce qui précède, il s'agissait du contrôle de la résistance à la traction de fils et de son interprétation statistique. Nous avons montré qu'il est possible de déterminer sans difficulté la valeur moyenne et l'écart-type. Il suffit d'aller légèrement plus loin et de reporter les valeurs ainsi déterminées dans l'ordre de leur succession dans le temps. Le résultat est une *carte de contrôle,* qui permet de constater d'un seul coup d'œil la qualité du matériau livré, par exemple le fil, durant la période considérée. Cette carte a en outre une autre propriété importante: elle peut donner l'alarme en cas d'écarts excessifs. Dans ce but, les limites de contrôle sont indiquées sur la carte. Lorsqu'un point sort de ces limites, il attire immédiatement l'attention, ce qui permet de prendre les mesures qui s'imposent.

Carte de contrôle de fabrication: Les exemples pratiques suivants, qui ne se rapportent pas seulement au contrôle de réception, mais aussi à la *production courante,* doivent permettre de mieux comprendre de quoi il s'agit.

La première carte (fig. 4) est établie pour le diamètre d'un type d'arbre. Elle est extrêmement simple. Sur l'abscisse sont indiqués les jours et sur l'ordonnée les diamètres des arbres. La ligne médiane indique 1,75 mm (valeur de consigne). On choisit chaque fois 5 arbres, qui sont mesurés individuellement et inscrits les uns au-dessus des autres. Les croix désignent les valeurs de la matinée, les points celles de l'après-midi. Les limites de contrôle sont marquées spécialement par des lignes horizontales en traits interrompus. C'est entre ces lignes que doivent se trouver les valeurs mesurées. Comme on le voit en considérant la carte, le processus de fabrication est sous contrôle. On reconnaît également une certaine fluctuation des valeurs mesurées, qui demeure toutefois dans les limites de contrôle.

L'avantage de la carte de contrôle est d'indiquer directement si une valeur mesurée est simplement aléatoire ou si elle est excessive. Comme nous l'avons montré, on peut s'attendre à ce que 95,44 % de toutes les mesures se trouvent entre les limites $\bar{x} + 2s$ et $\bar{x} - 2s$. En outre, il est très improbable qu'une valeur doive être inscrite en dehors de la limite $3s$. (Pour 100 valeurs mesurées, cela peut arriver 0,27 fois et pour 1000 valeurs 2,7 fois.) Lorsque ce cas se produit, il y a donc lieu de modifier l'ajustage des machines.

De même, il est peu probable qu'une valeur mesurée se trouve entre $2s$ et $3s$ (4,29 fois sur 1000), de sorte que si cela se présente, il faut le considérer comme un signe d'avertissement et procéder alors peu après à une nouvelle mesure à titre de contrôle intermédiaire. Si l'on constate à nouveau un écart dans le même sens, il y aura lieu de modifier l'ajustage. La limite $2s$ est souvent appelée limite d'alerte.

La représentation graphique de la carte de contrôle permet en tout cas une meilleure indication qu'une simple liste de valeurs. Même à un simple ouvrier, la carte de contrôle montre clairement les variations de la qualité. Ces cartes donnent presque partout de bons résultats. On les établit pour des valeurs individuelles ou moyennes, pour des écarts-types, des étendues, etc.

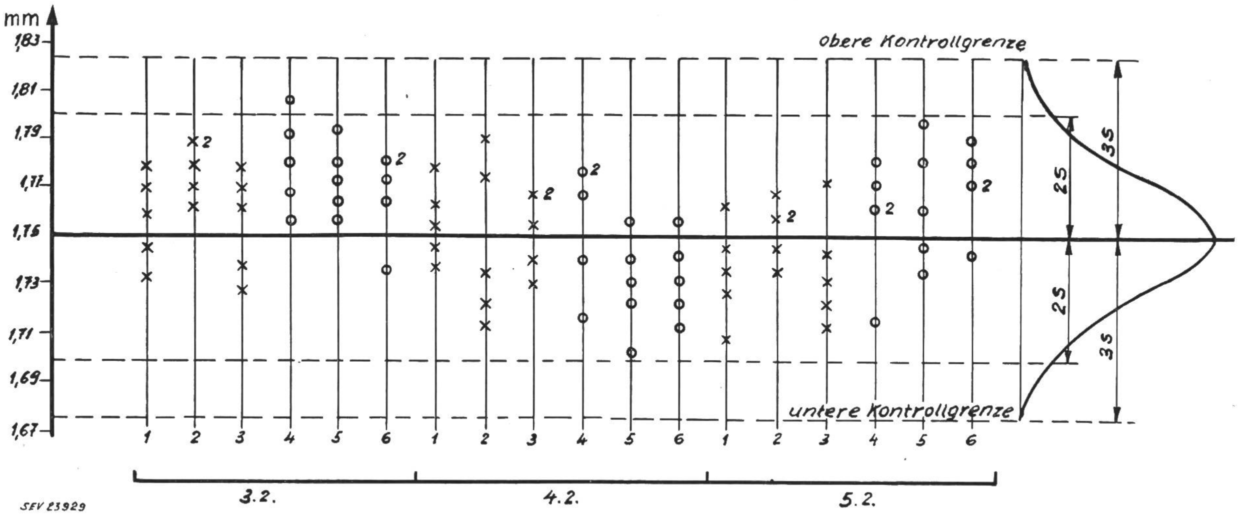


Fig. 4

Carte de contrôle pour la surveillance continue

Valeurs + 2,14 Limite supérieure de contrôle
— 0,27 Ligne médiane
— 2,29 Limite inférieure de contrôle

2. Carte $\bar{x}$-R et $\bar{x}$-s

En appliquant les principes du contrôle statistique, on a été amené à ne plus indiquer toutes les cinq mesures d'un échantillon, mais la valeur moyenne de celui-ci. En outre, on reporte les étendues dans une deuxième représentation graphique, établie en même temps que la première. Comme nous l'avons expliqué, l'étendue est la différence entre la mesure la plus élevée et la mesure la plus faible des pièces d'un même échantillon. Cette carte de contrôle est donc une carte des moyennes et des étendues ou carte $\bar{x}$-R, dont nous nous occuperons dans l'exemple ci-après. Au lieu de l'étendue, on peut également reporter l'écart-type s de l'échantillon et il s'agit alors d'une carte $\bar{x}$-s.

3. Premier exemple

Qualité exprimée par une valeur de longueur

La fig. 5 représente des cartes concernant la rectification d'arbres. Le diamètre prescrit est de 60 000 ± 0,005 mm. Selon l'ancienne méthode, on prélevait un arbre quelconque de la production en cours et l'on réajustait la machine en se basant sur le résultat de cette unique mesure, dans l'espoir d'améliorer l'usinage. En principe, on ne rencontre de la sorte que par pur hasard une cote nominale

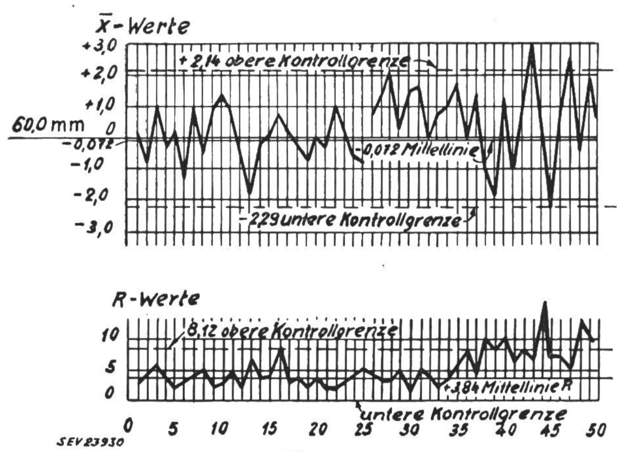


Fig. 5

Carte de contrôle pour la rectification d'arbres

0,1215 Limite supérieure de contrôle
Ligne médiane

de 60 000 mm, car ces mesures individuelles dont dépendent les corrections risquent toujours d'être affectées d'erreurs. Avec les méthodes statistiques, on parvient au but d'une façon bien plus élégante. Pour cela, il y a lieu de prélever un échantillon de 5 arbres par heure, par exemple.

Un premier prélèvement a donné les résultats suivants:

Premier arbre	60,002	+ 2	(Ecriture abrégée)
Deuxième arbre	59,999	— 1	
Troisième arbre	60,001	+ 1	
Quatrième arbre	60,000	0	
Cinquième arbre	60,000	0	
Somme	300,002	+ 2	

On calcule, pour chaque échantillon, la valeur moyenne $\bar{x}$ et l'étendue R. Les valeurs moyennes $\bar{x}$ sont reportées à la partie supérieure de la carte, les étendues (différence entre la valeur la plus élevée et la valeur la plus faible de l'échantillon) à la partie inférieure. En abscisse, on note dans ce cas le nombre d'ordre successif des échantillons: échantillon 1, 2, etc. Sur ces cartes, les limites de contrôle sont indiquées en traits interrompus. On constate que les valeurs des 25 premiers échantillons sont toutes à l'intérieur de ces limites, tandis que du côté droit quelques valeurs des échantillons 26 à 50 dépassent les limites de contrôle, ce qui signifie que des erreurs systématiques se sont produites dans la production, dont il y a lieu de rechercher les causes.

4. Deuxième exemple

Qualité exprimée par «bon» et «rebut»

Dans bien des cas, il est impossible et trop onéreux de déterminer la qualité d'une pièce par une dimension. On ne peut pas mesurer si un ressort présente des éraflures ou non. Un contrôle du processus de fabrication est néanmoins nécessaire et, dans un pareil cas, les pièces prélevées sont désignées comme bonnes ou mauvaises. La carte de contrôle de la fig. 6 concerne la fabrication de ressorts. Les pièces qui présentent des éraflures sont rebutées. La proportion des rebuts est contrôlée constamment, afin de découvrir à temps des dérangements. On procède, à intervalles réguliers, à des prélèvements de 50 ressorts et l'on calcule le nombre de pièces défectueuses en pour cent p des 50 pièces.

Le nombre de pièces rebutées varie selon les prélèvements d'échantillons. La question qui se pose est de savoir dans quelles limites ces variations aléatoires peuvent être admises et comment fixer les limites de contrôle. Dans ce cas également, on établit des cartes de contrôle, qui ne renferment toutefois qu'une seule bande. On reporte sur l'horizontale les numéros des échantillons et, sur la verticale, le nombre relatif p des rebuts d'un échantillon. On y note également les lignes médianes et les limites de contrôle. Il est évident que, dans ce cas, seule la limite de contrôle supérieure joue un rôle, tandis que la limite inférieure est considérée comme 0, car il n'est pas possible de trouver moins de zéro faute.

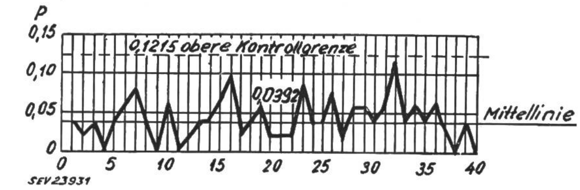


Fig. 6

Carte de contrôle pour la surveillance des rebuts dans la fabrication de ressorts

Epaisseur de fil Longueur de fil

Dans le premier échantillon, on a constaté deux ressorts défectueux, de sorte que $p = 0{,}04$. Les autres résultats montrent que le processus de fabrication est sous contrôle. En moyenne, il y a environ 4 % de pièces rebutées. Certains échantillons n'ont présenté que très peu de rebuts, parfois même aucun, mais cela n'autorise pas à faire de la réclame, car il s'agit de variations aléatoires. De temps à autre, la valeur atteint 7 %, ce qui ne donne toutefois pas lieu à des craintes, étant donné que les valeurs demeurent dans les limites de contrôle.

Pour les échantillons 32 à 35, le procédé de fabrication a été modifié, ce qui est mis en évidence par les valeurs plus favorables qui suivent.

Lorsque les cartes de contrôle sont systématiquement établies pour chaque échelon de la production, pour chaque département, voire même du fournisseur jusqu'au client, chaque section peut contrôler celle qui précède. Le fournisseur et le client peuvent même convenir de procéder, l'un et l'autre, à l'établissement de mêmes cartes de contrôle en appliquant les mêmes méthodes.

Lors de l'introduction du système de cartes de contrôle, il est vivement recommandé de prévoir tout d'abord de larges limites, sans tenir compte de la théorie, afin de ne pas entraver constamment la production. Au bout de quelques mois, lorsque la fabrication est bien sous contrôle, les limites pourront alors être lentement rétrécies, jusqu'à ce que l'on obtienne la valeur théorique.

5. Troisième exemple

Résultats des mesures sous forme de diagramme

La question suivante peut se poser: De quelle façon peut-on obtenir rapidement et sûrement les valeurs qu'il s'agit de reporter sur les cartes de contrôle et qui sont fournies sous forme d'un diagramme continu, au lieu de l'être par des valeurs individuelles? Si l'ensemble de toutes les mesures

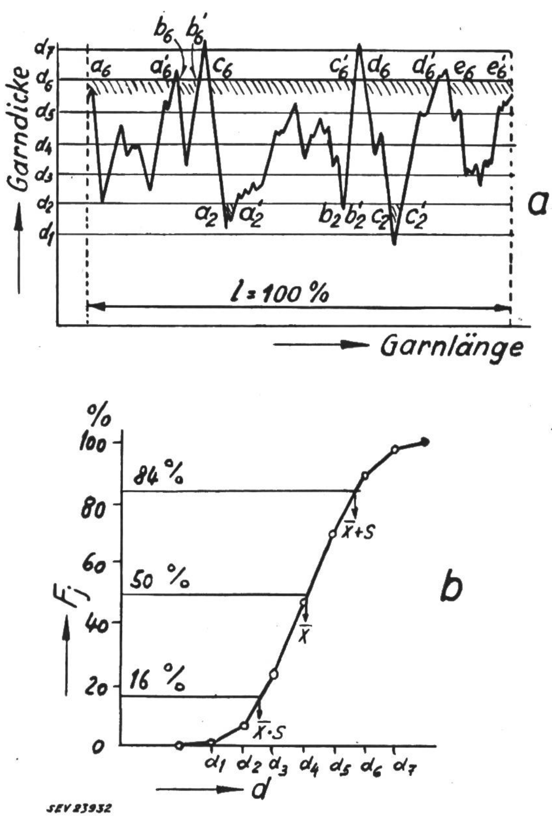


Fig. 7
Diagramme d'épaisseur de fil a et diagramme des sommes correspondant b
F_j fréquence cumulée
d épaisseur de fil

est distribué normalement ou à peu près normalement, c'est-à-dire sous forme de courbe en cloche — ce qui est très fréquent en pratique — l'écart-type et la moyenne peuvent être facilement obtenus. Considérons l'exemple illustré par la fig. 7, tirée de l'industrie textile. Il s'agit du diagramme d'épaisseur de fil, enregistré par un appareil de contrôle de l'uniformité. Chaque fabrique de produits textiles possède des kilomètres de ces enregistrements, qui ne sont malheureusement pas souvent suffisamment interprétés. Ils renferment pourtant de précieuses indications.

Dans notre exemple, l'axe horizontal concerne la longueur et l'axe vertical l'épaisseur du fil. Dans la courbe enregistrée sont dessinées des droites parallèles à l'abscisse et dont les distances uniformes sont mesurées en unités d'épaisseur. Il est donc facile d'obtenir la ligne de la somme pour une certaine longueur de l'enregistrement, en mesurant sur chaque droite parallèle la somme des largeurs. Pour la parallèle d_2, cette somme est:

$$(\Sigma\%)_2 = (a_2 a_2' + b_2 b_2' + c_2 c_2') \frac{100}{l}$$

Cette valeur est reportée sur une nouvelle représentation (fig. 7b) au-dessus de d_2. La somme des largeurs pour la parallèle d_6 est:

$$(\Sigma\%)_6 = (a_6 a_6' + b_6 b_6' + c_6 c_6' + d_6 d_6' + e_6 e_6') \frac{100}{l}$$

La valeur trouvée est reportée au-dessus de d_6 sur la fig. 7b. En procédant ainsi pour toutes les parallèles de d_1 à d_7, on obtient la ligne des sommes cherchée. En dessous de d_1, il n'y a pratiquement pas de valeurs, en d_2 7 %, en d_3 25 %, en d_4 48 %, en d_5 70 %, en d_6 90 % et en d_7 déjà 99 % de toute la courbe.

Dans cet exemple, les creux de la courbe concernant les deux parallèles choisies sont mis en évidence par des hachures. (Si l'on choisit exactement 1 m comme longueur à mesurer, les tronçons compris entre les creux de la courbe peuvent être additionnés en cm et donnent la fréquence cumulée désirée en %.)

Pour obtenir la moyenne et l'écart-type, on se sert alors de la ligne des sommes. Comme nous l'avons expliqué précédemment, on coupe cette ligne par les horizontales 16 %, 50 % et 84 % et on lit les valeurs $\bar{x}$ et s. Si l'on dispose d'un papier à réseau Daeves-Beckel, on y inscrira les différents points de la fréquence cumulée. La courbe des s sera une droite si la distribution est normale; sinon elle ne sera qu'approximativement droite. Au cas où l'on ne disposerait pas de papier spécial, il ne sera pas absolument nécessaire de dessiner toute la ligne des sommes, et il suffira de déterminer quelques sommes aux alentours de 16 à 84 %, puis de dessiner la courbe entre $\bar{x} + s$ et $\bar{x} - s$. L'interprétation de notre exemple donne une paire de valeurs pour $\bar{x}$ et s, de sorte que l'on a les points $\bar{x}$ et s pour les cartes de contrôle. Un autre échantillon donnera d'autres valeurs $\bar{x}$ et s. Ces valeurs seront inscrites au fur et à mesure sur les cartes de contrôle.

6. Initiation des contremaîtres au contrôle statistique

Dans ce cas également, les limites de contrôle seront tout d'abord très larges. Puis, lorsque le processus de fabrication aura été durant quelques mois sous contrôle, les limites pourront être progressivement resserrées jusqu'à la valeur théorique.

Cela prendra naturellement un certain temps, car les contremaîtres et les ouvriers doivent tout d'abord apprendre à penser «statistiquement». Il va de soi qu'il ne faut pas leur exposer des mathématiques, mais bien leur inculquer que le but est de maintenir sous contrôle les valeurs mesurées et par conséquent la fabrication. Ils devront comprendre que des variations sont inévitables, mais qu'elles doivent être maintenues entre certaines limites. Il est très important qu'ils sachent que les variations ne peuvent jamais être complètement supprimées, ou du moins très rarement. Le contrôle statistique de la fabrication ne cherche qu'à supprimer les irrégularités qui sont vraiment gênantes. Ce qui ne gêne pas doit demeurer, car il est pratiquement et théoriquement impossible d'intervenir dans une distribution aléatoire.

Supposez que vous conduisiez une automobile le long d'une route. Vous dirigez la voiture de manière à vous trouver constamment entre le milieu de la chaussée et le fossé. Si vous vouliez compenser toutes les inégalités de la route et tous les coups de vent, de manière à demeurer strictement dans l'axe de la route, cela serait beaucoup plus fatigant que de permettre à la voiture de faire quelques petits écarts. Il va de soi que ces écarts ne doivent jamais être si grands, au point de dépasser le milieu de la chaussée ou de tomber dans le fossé. Ce sont là les limites de contrôle lors de la conduite d'une automobile.

Il faut noter que le contrôle de la qualité prend de plus en plus d'importance, au fur et à mesure que la concurrence se fait sentir. La direction de l'entreprise devrait donc faire en sorte que les contremaîtres et même certains ouvriers soient convenablement initiés à la technique du contrôle statistique, qui est désormais indispensable pour toute production.

D. Conclusions

Ainsi que nous l'avons vu, le contrôle statistique de la fabrication a pour but essentiel de contrôler la qualité de la production dans les limites déterminées. L'interprétation correcte de ce contrôle renseigne la personne responsable de la conduite de la fabrication. L'ingénieur chargé du contrôle doit tenir compte de ces renseignements. Il doit savoir à quel moment la production doit être freinée, afin de permettre une mise au point du procédé et d'éviter ainsi de trop grands rebuts. On prétend souvent que le contrôle statistique selon les méthodes modernes n'entre en considération que pour les très grandes productions. Il est évident que l'établissement des cartes de contrôle convient mieux aux productions en grandes séries, mais les mêmes principes peuvent néanmoins être appliqués utilement à des productions moins importantes. Le contrôle statistique n'est pas une méthode rigide et peut fort bien être utilisé également par les petites entreprises. Il suffit d'adapter les méthodes de contrôle aux exigences de l'exploitation. Les avantages d'un contrôle convenablement exécuté sont un accroissement de la production, un abaissement du coût par unité produite, un meilleur moral du personnel et une qualité d'un niveau plus élevé.

Bibliographie

[1] *Statistical Research Group, Columbia University:* Sampling Inspection. New York und London: McGraw-Hill 1948.
[2] *Dodge, H. F. und H. G. Romig:* Sampling Inspection Tables; Single and Double Sampling. New York: Wiley; London: Chapman & Hall 1949.
[3] *Mothes, J.:* Techniques modernes de contrôle des fabrications. Paris: Dunod 1952.
[4] *Grant, E. L.:* Statistical Quality Control. New York: Mc Graw-Hill 1946.
[5] *Linder, A.:* Statistische Methoden für Naturwissenschafter, Mediziner und Ingenieure. 2. erw. Aufl. Basel: Birkhäuser 1951.
[6] *Graf, U.* und *H. J. Henning:* Statistische Methoden bei textilen Untersuchungen. Berlin: Springer 1952.
[7] *Weber, E. A.:* Statistische Methoden der Fabrikationskontrolle. Industr. Organis. Bd. 20(1951), Nr. 8, S. 227...237.
[8] *Wagner, G.:* Statistische Grundlagen der Stichprobenprüfung in der Mengenfertigung. Werkstattstechn. u. Maschinenbau Bd. 41(1951), Nr. 7, S. 270...276.

Adresse de l'auteur:

I. Ortlieb, ing. dipl. EPF, Institut d'organisation industrielle à l'EPF, 33, Leonhardstrasse, Zurich 6.

Le projet d'article constitutionnel sur la radiodiffusion et la télévision

Communiqué par le Département fédéral des Postes et Chemins de fer

342(494) : 654.19 + 654.172

Lors de la discussion parlementaire de son rapport à l'Assemblée fédérale concernant le statut du service suisse de radiodiffusion, du 13 janvier 1953, le Conseil fédéral a été invité par un postulat du Conseil national, du 22 septembre 1953, à présenter aux Chambres, dans le délai de quatre ans, un rapport et des propositions sur la création d'une base juridique spéciale pour le service suisse de radiodiffusion et la télévision.

Il s'agit avant tout de créer une telle base juridique dans la constitution fédérale. L'actuel article 36 consacre la régale fédérale des télégraphes quant à leur installation et à leur exploitation. L'aspect technique des émissions de radiodiffusion et de télévision tombe sous le coup de cet article, mais non pas le service des programmes. Il faut donc donner une *base constitutionnelle* aux aspects de la radiodiffusion et de la télévision qui ne sont pas couverts par l'actuel article 36 de la constitution. Ce dernier dispose que, dans toute la Suisse, les postes et les télégraphes sont du domaine fédéral. Il donne ainsi à la Confédération la compétence d'exploiter elle-même ces services; en d'autres termes, il lui confère la régale des postes et des télégraphes. L'article constitutionnel ne prévoit pas l'application de la régale à des institutions techniques assimilables aux télégraphes. Cependant, l'Assemblée fédérale a toujours été d'avis que l'article 36 signifie, par analogie, «que la transmission des pensées doit être, en tant que système de communications nécessairement homogène, réservée à la Confédération» (cf. Burckhardt, Kommentar zur Bundesverfassung, 3e édition, p. 312; Fleiner, Bundesstaatsrecht, p. 509). C'est cette considération qui a prévalu pour le téléphone et a justifié la loi fédérale du 27 juin 1889. Cette loi fut abrogée par celle du 14 octobre 1922 réglant la correspondance télégraphique et téléphonique, dont l'article premier — rédigé en prévision de l'avenir — donne à la Confédération le droit exclusif d'établir et d'exploiter des installations expéditrices et réceptrices ou des installations de n'importe quelle nature servant à la transmission électrique ou radioélectrique de signaux, d'images ou de sons.

La loi et la constitution ont donc permis à la Confédération de seconder dès le début les promoteurs de la radio-