REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

G. BOREL

Exemples d'application de la méthode des indices de qualité par pondération des défauts dans une entreprise de télécommunications

Revue de statistique appliquée, tome 7, nº 3 (1959), p. 43-54

<http://www.numdam.org/item?id=RSA_1959__7_3_43_0>

© Société française de statistique, 1959, 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/

EXEMPLES D'APPLICATION DE LA MÉTHODE DES INDICES DE QUALITÉ PAR PONDÉRATION DES DÉFAUTS DANS UNE ENTREPRISE DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

G. BOREL
Directeur du Contrôle de la Qualité à la Société L.M.T.

INTRODUCTION -

Le but de cette annexe à l'étude de Monsieur Férignac est d'évoquer l'aspect industriel du problème des indices de qualité en citant des exemples concrets. L'expérience de notre Société dans ce domaine est courte et partielle. Cependant, il semble que l'exposé même des difficultés que nous rencontrons tant sur le plan théorique de la conception que sur le plan pratique de la mise en œuvre puisse être de quelque utilité aux entreprises désireuses de s'engager dans cette voie.

Nécessité d'utiliser des indices de qualité - Les activités de la Société LMT couvrent des branches très diverses :

- commutation téléphonique (centraux automatiques PTT et privés relevant des systèmes Rotary et Pentaconta, dispatching pour la SNCF) ;
- radio professionnelle (émetteurs de puissance, appareils émetteurs-récepteurs mobiles, radiogoniomètres, équipements au sol et de bord pour navigation aérienne, faisceaux hertziens FM et PTM, équipements pour marine marchande, etc.) :
- récepteurs de radio-diffusion et de télévision ;
- électronique industrielle (simulateurs de vol électromécaniques et électroniques, redresseurs secs, quartz, ...).

Quelques chiffres permettent d'évaluer cette diversité :

- le nombre des commandes principales d'équipements complexes et relevant de techniques très diverses, simultanément en fabrication, s'élève à environ 25.
- le nombre des pièces détachées achetées ou fabriquées utilisées annuellement est d'environ 100 millions, relevant de 50 mille types différents.

En raison de cette complexité, pour définir et suivre la qualité des fabrications, il est nécessaire de disposer d'indices faisant la synthèse des performances ou des défectuosités pondérées suivant leur importance.

Dans la pratique, on s'aperçoit que, par la force des choses, les contrôleurs et inspecteurs à tous les échelons ainsi que les agents techniques et ingénieurs qui effectuent les essais finals prennent en note un grand nombre de résultats de mesures. Mais ils vont rarement jusqu'à condenser ces résultats sous forme d'indices globaux. S'ils le font, c'est dans l'ignorance du degré de

confiance à accorder aux valeurs trouvées qui sont presque toujours basées sur une masse de données insuffisantes pour la précision requise; car, si le sens commun joint à un peu de pratique permet d'apprécier l'exactitude du calcul d'une caractéristique technique ou même d'un prix de revient, il est nettement insuffisant pour évaluer empiriquement le caractère significatif d'une variable aléatoire(1). Il s'ensuit que des conclusions erronées sont déduites des tentatives de calcul d'indices de qualité insuffisamment élaborés sur le plan théorique, ce qui conduit à des échecs.

Si bien que les renseignements relatifs à la qualité des fabrications n'atteignent trop souvent les chefs de service qu'en cas d'incidents graves ou, tout au moins, ne leur sont pas communiqués d'une façon suffisamment objective et complète. Les mesures à prendre pour corriger les défauts sont souvent décidés à un échelon subalterne, sans que les dispositions d'ensemble nécessaires apparaissent toujours clairement.

En somme, la matière première pour l'élaboration d'indices de qualité est disponible en abondance, il ne reste qu'à l'élaborer ; mais ce n'est pas si facile !

Distinction de deux types d'indices - Dès nos premières tentatives, il est apparu nécessaire, pour clarifier les idées, de distinguer deux catégories d'indices de qualité :

a) les indices représentatifs de la *qualité des produits finis* qui peuvent rendre compte :

- de la qualité du produit fini proprement dit (performances fonctionnelles des équipements),
- ou de la qualité du service rendu au client (durée de fonctionnement moyenne sans défaillance ni déréglage, tenue aux épreuves de vieillissement, etc.).

b) les indices représentatifs de la *qualité des fabrications* (pertes dues aux déchets, aux réparations, aux frais de garantie, etc.).

Ces deux catégories d'indices correspondent aux deux missions dévolues au contrôle de la qualité :

a) chiffrer et contrôler la qualité nécessaire et suffisante,

b) obtenir cette qualité au moindre prix.

En effet, on peut toujours observer à tout prix un niveau de qualité élevé, même dans le cas où les moyens de production et les méthodes de fabrication sont difficilement capables du niveau de qualité exigé, en effectuant sur le produit fini des tris et des sélections répétés. D'ailleurs, pour certaines fabrications, les moyens actuels ne permettent pas d'éviter des tris et des mises aux déchets considérables. C'est ainsi que pour obtenir 2 quartz piézoélectriques il faut actuellement utiliser environ 3 ébauches. (Notons que, dans ce cas, un indice de qualité facile à calculer s'obtient en faisant le rapport : nombre d'ébauches sur nom-

---

(1) C'est ainsi que, pour chiffrer la durée moyenne de fonctionnement sans défaillance d'un équipement, on pense tout d'abord qu'il suffira d'en expérimenter par exemple 5 et de faire la moyenne des valeurs trouvées, ce qui représente déjà des délais et des dépenses non négligeables. Or, on trouve qu'avec un degré de confiance de 90%, la valeur ainsi trouvée est exacte à ± 100% ! Pour obtenir un chiffre exact à ± 20%, avec un degré de confiance de 90%, il faut prendre la moyenne de 68 résultats de mesures, ce qui est loin de tomber sous le sens commun (résultats basés sur une loi exponentielle de survie).

bre de quartz bons). Mais le plus souvent, il est nécessaire de vérifier que le niveau de qualité fixé est compatible avec les moyens existants et, dans le cas contraire, soit d'améliorer les moyens, soit de réduire les ambitions.

Détermination des niveaux de qualité souhaitable -

a) La détermination de la *qualité souhaitable pour le produit fini* est relativement la moins difficile lorsque le problème est correctement posé. Cette qualité est définie soit par les clauses des marchés, soit, en ce qui concerne les fabrications destinées au public, par les considérations commerciales (en fonction par exemple de la qualité des produits concurrents). La définition des indices permet de concrétiser et de chiffrer des desiderata qui, sans eux, resteraient par trop subjectifs. Il est quelquefois nécessaire de déterminer la fonction qui relie le prix de revient au niveau de qualité ; on prend pour base la situation existante et l'on procède par retouches prudentes.

b) Plus difficile est la détermination de la *qualité de fabrication souhaitable*. On chiffre *le coût de la qualité* qui se compose de la somme de trois termes :

1/ *le coût des défauts* (déchets, rebuts, retouches, service après vente, arrêts de fabrication ..... sans parler des discussions, hésitations, retards de livraison) ;

2/ *le coût du maintien de la qualité* (contrôles, inspections, laboratoires, essais finals .....).

Ces deux postes varient dans le même sens, car, lorsque la qualité est médiocre, les rebuts comme les frais d'inspection sont élevés. Le fait d'avoir des inspections et des contrôles anormalement développés n'est pas un indice de bonne qualité des fabrications, au contraire !

3/ A cette somme, il convient d'ajouter un troisième terme : *le coût de la prévention*, c'est-à-dire du contrôle de la qualité qui, lui, varie en sens inverse des deux autres (et qui comprend en particulier le coût de l'élaboration des indices de qualité). L'importance de ce troisième terme peut raisonnablement être fixée à 1/10 de la somme des deux autres.

L'appréciation de la somme totale à consentir *au coût de la qualité* dépend du type de fabrication. Signalons qu'on lit dans la littérature américaine que, dans les industries de guerre, les dépenses de "quality control" (postes 2/ et 3/ ci-dessus), qui n'excédaient pas 6 à 7% avant la guerre de Corée, ont dépassé ce chiffre depuis lors et atteignent jusqu'à 25% du prix de vente dans l'industrie des fusées téléguidées.

Prise en considération des deux types d'indices suivant le stade de fabrication- L'indice de *qualité du produit fini* s'impose évidemment au dernier stade de fabrication avant livraison à la clientèle. Par contre, pour les stades antérieurs, on peut définir à la fois :

a) un indice chiffrant la conformité des fabrications par rapport aux spécifications ou dessins, et

b) un indice représentant le coût des frais supplémentaires que la mauvaise qualité de la pièce ou de l'organe en cause entraînera dans la suite du cycle de production.

Evidemment, le premier aspect l'emporte de plus en plus au fur et à mesure que l'on avance dans le processus de fabrication, car les défectuosités constatées à un stade avancé ont de moins en moins de chance d'être arrêtées par les

inspections restantes et de plus en plus de chance de se retrouver dans le produit fini.

Mode de pondération des deux catégories d'indices - En principe, la distinction des deux catégories d'indices correspond à deux possibilités de pondérer les défauts :

a) pondération des défectuosités fonctionnelles en démérites,

b) pondération des réparations en francs.

Cependant, pour tenter d'échapper à l'arbitraire qu'offre la pondération des défauts en démérites, on peut être tenté de chiffrer la *qualité du produit fini* d'après le coût des dépenses de garantie ou d'après le chiffre d'affaires du service après vente, en affectant éventuellement ces chiffres d'un coefficient de majoration qui tient compte de la pénalisation commerciale. Par exemple, pour les postes de radio-diffusion et de télévision, un même défaut sera pénalisé lourdement pour un téléviseur qui, étant donné son encombrement, se transporte difficilement et exige en général le déplacement d'un dépanneur tandis que le même défaut sera moins pénalisé pour un poste de radio-diffusion portatif qui peut facilement être déposé chez un réparateur.

En ce qui concerne les indices de *qualité des fabrications* représentatifs du coût de la réparation des défauts, des renseignements permettant de faciliter leur chiffrement peuvent en général être obtenus à partir des statistiques comptables. Ce point mérite cependant quelque examen. Les services de comptabilité fournissent des statistiques de dépenses supplémentaires pouvant être ventilées en dépenses supplémentaires de main-d'œuvre, dépenses supplémentaires de matières ..... Ils classent même ces dépenses en diverses catégories selon qu'elles sont imputables à tel ou tel service de la Société ou aux fournisseurs. Ces données comptables offrent le grand avantage de fournir au moindre prix , par l'utilisation de cartes perforées, par exemple, des statistiques faisant la synthèse d'un très grand nombre d'éléments qu'il serait très onéreux d'obtenir par une autre voie. De toute façon, il importe d'éviter la duplication des calculs statistiques et d'utiliser au mieux ce qui existe.

Mais, il ne semble pas possible de s'en remettre entièrement aux données comptables pour chiffrer la qualité des fabrications, car il existe certaines dépenses supplémentaires à caractère systématique et ayant une grande régularité de manifestation qui sont entérinées dans les gammes de travail ou dans les bons de sortie de magasin, forfaitairement majorés à cet effet, et qui n'apparaissent pas comme dépenses anormales dans les statistiques comptables. Et, surtout , lorsque les pièces ne sont pas conformes aux spécifications, sans pour autant présenter de défauts majeurs, il arrive que l'on décide de les utiliser par dérogation pour éviter des dépenses injustifiées et surtout pour éviter des retards de fabrication. Dans ce cas, la comptabilité ne saisit aucune dépense supplémentaire, bien que la qualité requise ne soit pas atteinte. Pour évaluer la *qualité des fabrications*, il est donc nécessaire de compléter, dans une certaine mesure, les données comptables. Le mieux, dans certains cas, est d'utiliser les renseignements fournis par des inspections statiques (par opposition aux inspections en cours de fabrication) qui se font par prélèvements et permettent de calculer des *moyennes d'ensemble* sur les échantillons prélevés (au sens donné à ce terme par la spécification MIL STD 105 A).

Périodicité de publication des indices de qualité - Par ailleurs, les statistiques comptables sont connues avec un certain retard, par exemple, par tranches mensuelles publiées avec un décalage de 3 semaines. Elles ne fournissent que des

résultats a posteriori, très intéressants pour connaître l'évolution générale des fabrications et prendre des mesures d'ensemble (telles que modification de l'organisation des services, rénovation du parc de machines, etc.), mais elles ne permettent pas de tenir un "tableau de bord" donnant au jour le jour des renseignements sur la qualité des fabrications pour réagir immédiatement en cas de défaillances.

La question de la périodicité à donner aux indices de qualité doit résulter d'un compromis. Elle doit être assez brève pour permettre des corrections rapides afin d'éviter que des produits insuffisants soient livrés à la clientèle et même soient fabriqués pour être ensuite réparés. Elle doit être assez longue pour reposer sur une masse de donnée suffisante pour permettre l'élaboration d'indices raisonnablement significatifs.

Introduction progressive des indices de qualité - Pour introduire un système d'indices de qualité dans une entreprise, il est nécessaire *d'opérer très progressivement* afin d'assurer l'utilité du système ainsi que sa rentabilité.

D'une façon générale, il est toujours plus facile de chiffrer le coût du contrôle de la qualité que de chiffrer les économies qui en résultent. Ces économies sont diffuses, difficiles à saisir et elles se manifestent dans le temps d'une façon asymptotique. Et même, le plus souvent, le contrôle de la qualité entraîne un supplément initial de dépenses dû à la superposition momentanée de l'ancien et du nouveau système.

On procédera donc d'une façon très progressive en utilisant d'abord des indices relativement simples et portant, par exemple, sur une seule caractéristique, puis des indices pondérant plusieurs défectuosités sans pour autant utiliser de coefficients de manifestation standards qui sont difficiles à élaborer dans certains cas et, enfin, des indices complets avec pondération des défauts et comparaison à des standards.

Dans cette marche vers la complexité croissante, on procédera par étapes en attendant pour progresser que tout le profit possible ait été tiré de l'utilisation d'indices sommaires et que la nécessité soit apparue d'élaborer des indices plus fins. On s'arrêtera dans cette progression lorsque dans chaque cas particulier, il sera apparu que l'on a atteint l'optimum entre le coût d'élaboration des indices et le bénéfice attendu.

Indices de qualité non pondérés - Nous utilisons des indices de qualité non pondérés dans deux cas :

- quand une seule caractéristique est en cause,
- quand le calcul d'indices pondérés serait trop complexe pour être abordé de front sans étape préliminaire.

On peut citer, par exemple :

1/ les pourcentages de défectuosités constatées sur les appels de contrôle dans les centraux téléphoniques (voir graphique LMT 101 955 et LMT 109 841) ;

2/ les statistiques de réclamations des clients lorsqu'elles ne sont pas ventilées d'après les résultats des investigations,

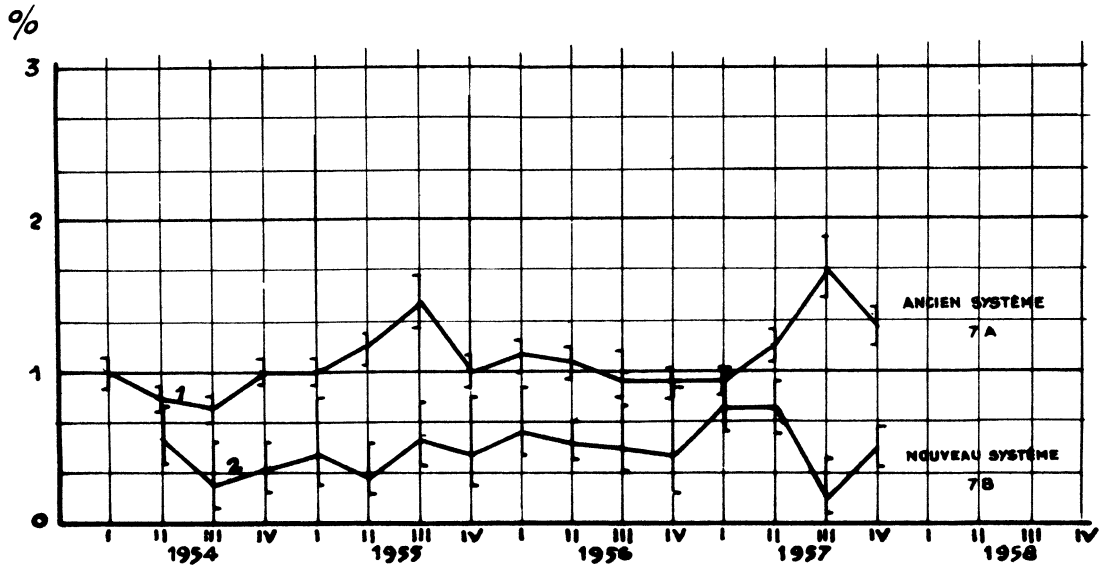
3/ les indices de qualité des fournisseurs, définis par le rapport entre le montant des refus et le montant des livraisons acceptées, qui permettent d'effectuer un classement grossier ;

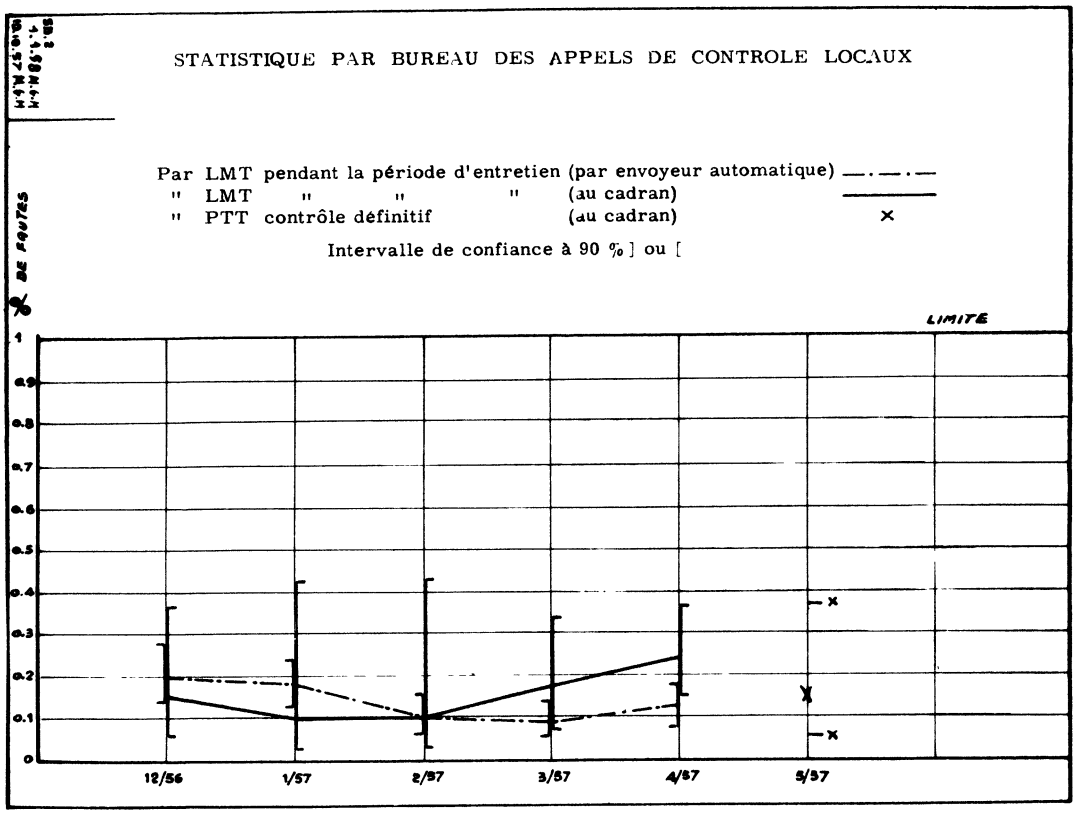
4/ les indices de qualité des fournisseurs obtenus en calculant la *moyenne d'ensemble* des livraisons présentées, dans le calcul de laquelle ont seuls été pris

STATISTIQUE DE LA QUALITE DE SERVICE D'APRES LES APPELS DE CONTROLE LOCAUX

1. Réseau de Paris Système 7A
2. Réseau de Paris Système 7B

INTERVALLE DE CONFIANCE A 90 %] [





en considération, pour des raisons de simplification, les défauts majeurs. Cette première étape a permis, en communiquant les résultats aux intéressés, de les inciter à améliorer leurs méthodes de travail et de contrôle. Mais, ce n'est que lorsque tout le fruit attendu de cette première mesure aura été récolté, qu'il sera utile de procéder à une analyse plus fine.

Pour cette catégorie d'indices, les intervalles de confiance donnant la précision des mesures ne sont évidemment pas définis par l'introduction plus ou moins arbitraire des démérites, mais dépendent de la nature même de la grandeur contrôlée et, en particulier, dépendent de la périodicité avec laquelle ils sont calculés. C'est ainsi que, pour les pourcentages de défectueux dans les appels de contrôle effectués dans les centraux téléphoniques, l'intervalle de confiance est déterminé en fonction de l'importance de l'échantillon ayant servi à effectuer le contrôle. Dans l'ignorance de la valeur moyenne à contrôler, on a calculé l'intervalle de confiance dans lequel devait se trouver le pourcentage de défectuosités du lot lorsque celui de l'échantillon est connu. Des abaques ont été établis à cet effet. Le seuil de confiance choisi a été de 90%. Sur le graphique LMT 101 955, qui s'étend sur 5 années, on voit, et un test de χ^2 le confirme, que les variations n'ont pas une distribution régulière. Faut-il en déduire des variations dans la qualité moyenne des centraux ou un manque d'homogénéité dans les conditions d'expérimentation ? Des analyses ultérieures sont nécessaires pour en décider.

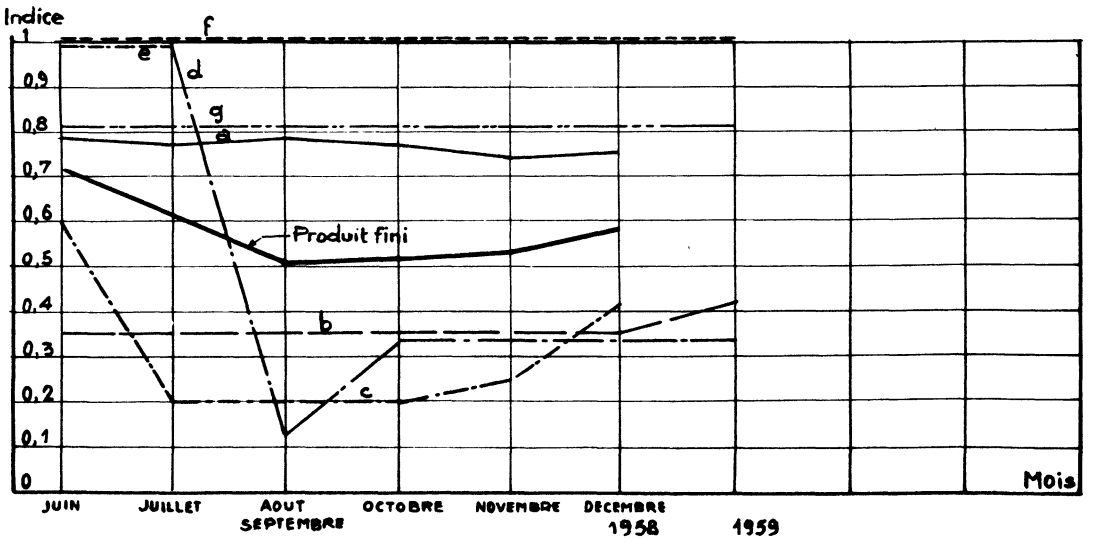
Indices de qualité pondérés sans utilisation de pourcentages standards de manifestation - En tenant compte d'un plus grand nombre de caractéristiques, il n'est pas toujours possible de fixer au premier abord un standard de référence avant de disposer d'une base expérimentale suffisante. Nous citerons, par exemple :

CELLULES REDRESSEUSES

INDICE DE QUALITE DU PRODUIT FINI

INDICES DE QUALITE PARTIELS

Qualité des plaques	(a)	k = 4
Pertes parasites	(b)	3
Vieillissement	(c)	4
Fini	(d)	2
Rigidité diélectrique	(e)	1
Isolement	(f)	1
Présentation	(g)	1
		16



les indices de qualité des cellules redresseuses tenant compte à la fois de la qualité des plaques, des pertes parasites, du vieillissement, du revêtement de protection, de la rigidité diélectrique, de l'isolement et de la présentation générale (graphique LMT 304 103).

Des coefficients de pondération ont été attribués à chacune des caractéristiques mais la méthode complète des démérites ne pourra être utilisée que lorsque les possibilités seront mieux connues.

Indices de qualité avec pondération et utilisation de standards - Divers exemples d'utilisation de la méthode complète des démérites peuvent être cités :

1/ de tels indices sont utilisés pour suivre les fabrications de commutation téléphonique à leurs divers stades (pièces détachées, organes, équipements, centraux installés).

Par exemple, pour la surveillance des centraux, les organes ont été classés en 6 groupes pour chacun desquels tous les défauts possibles ont été répertoriés. C'est ainsi que pour les relais on a défini 5 défauts possibles au démérite 100, 13 défauts possibles au démérite 50, 5 défauts possibles au démérite 10. Les statistiques ont porté sur 10 centraux, ce qui représente plus de 300 000 organes.

En première étape, le niveau moyen effectivement réalisé a été pris pour niveau de référence standard et on a calculé des indices de qualité globaux avec intervalles de confiance à 3 écarts-types, à la fois pour chacun des 10 centraux (graphique LMT 113 742) et pour chacun des 6 groupes d'organes.

Dans une seconde étape, il est procédé à la mise au point de standards, en prenant évidemment pour point de départ la situation existante, mais en l'adaptant pour tenir compte des exigences fonctionnelles.

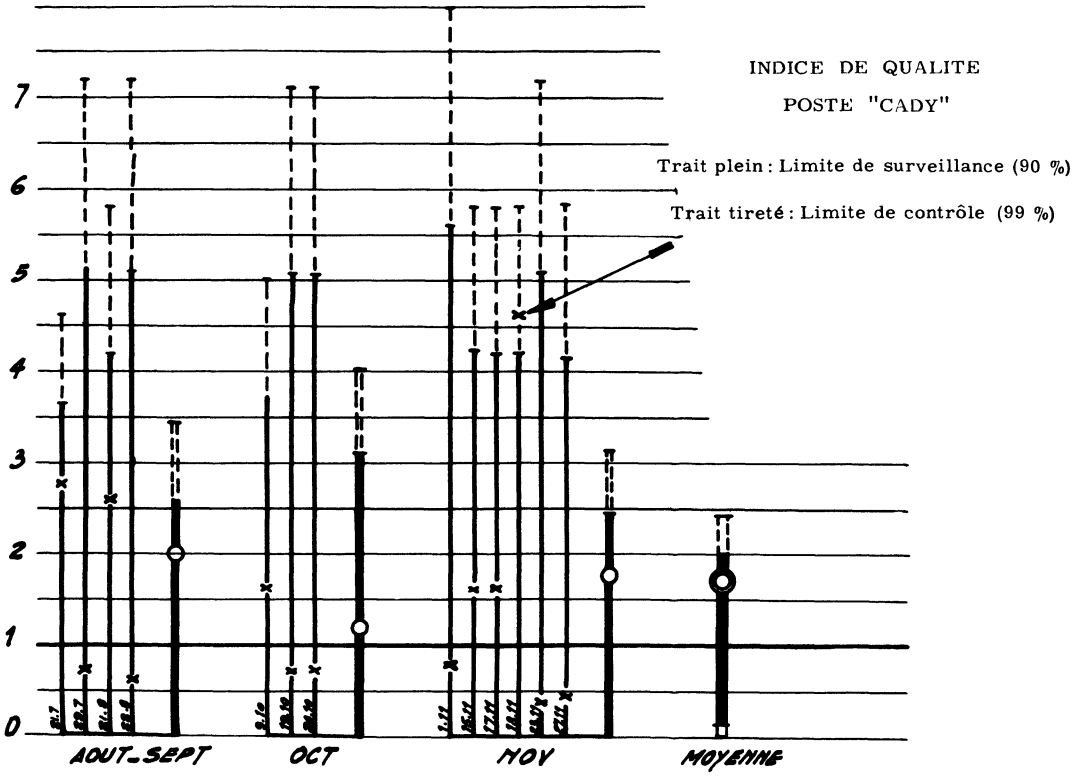
2/ Pour suivre la qualité des centraux téléphoniques, on utilise également des indices basés sur le nombre des fautes relevées lors des essais systématiques. Ces fautes sont classées selon la nature du circuit en cause et des indices partiels non pondérés sont établis pour chaque type de circuit. Le graphique LMT 113 748 (pages 1 et 2) donne l'indice global faisant la synthèse de ces indices partiels en les pondérant par le système des démérites selon l'importance fonctionnelle du type de circuit. L'indice journalier dont l'intervalle de confiance est important est complété par un indice mensuel beaucoup plus significatif. (Sur le côté droit des graphiques).

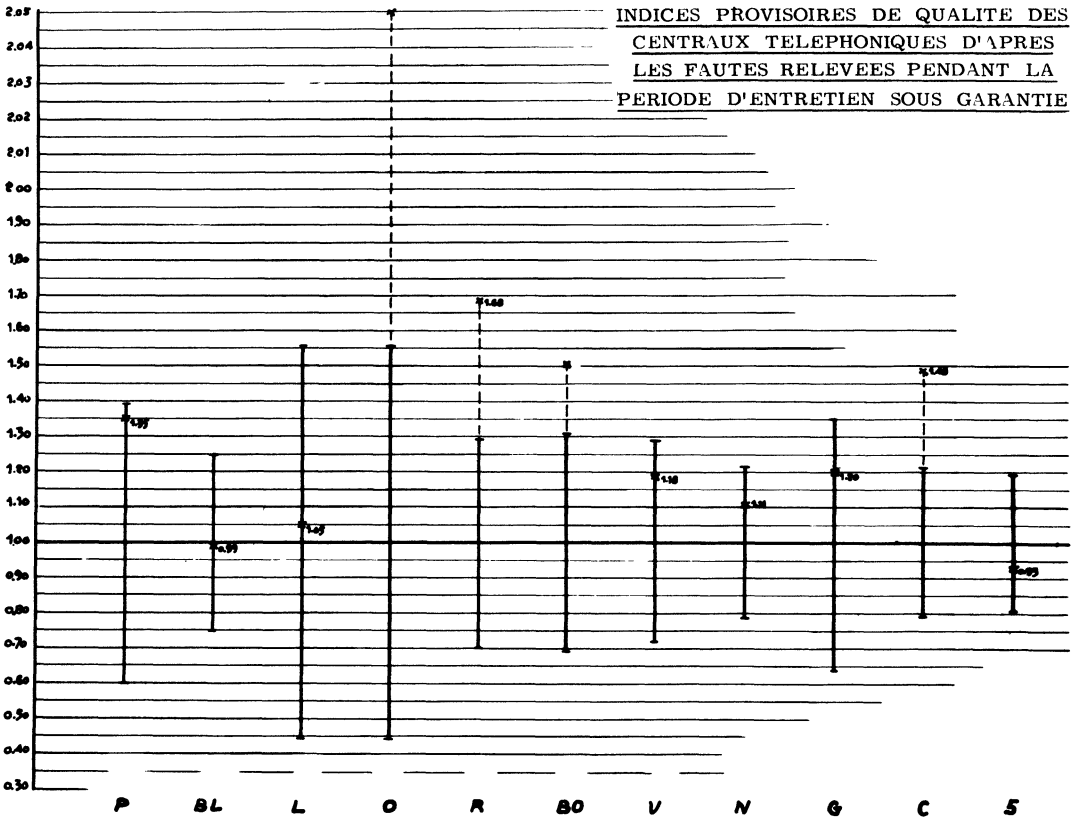
3/ Pour les postes de radio-diffusion et de télévision, des indices de qualité ont été calculés tenant compte à la fois de la sensibilité sur les diverses gammes, de la sélectivité, de la fidélité, de la distorsion, de la réaction électro-acoustique, du contrôle automatique de volume, de l'emballage (graphique LMT 602 837).

L'attribution des démérites a tenu compte, soit de la nature du défaut, soit de l'importance du défaut. Par exemple, en ce qui concerne les postes de radio-diffusion, les défauts d'aspect ont le démérite 5, tandis que les déréglages de sélectivité ont :

- un démérite 5 lorsqu'ils sont compris entre ± 3 et ± 6 decibels,
- un démérite 30 lorsqu'ils sont compris entre ± 6 db et ± 9 db,
- un démérite 100 lorqu'ils dépassent ± 9 db.

L'importance de l'échantillon livraison par livraison étant trop faible pour avoir un caractère suffisamment significatif, un indice mensuel ainsi qu'une moyenne trimestrielle ont été calculés.

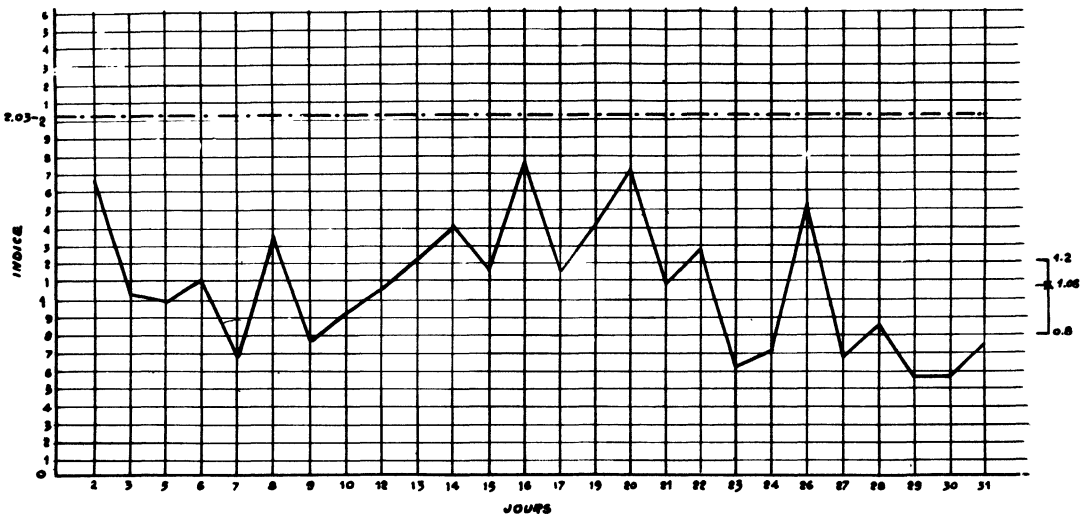

INDICE DE QUALITE
POSTE "CADY"
Trait plein : Limite de surveillance (90 %)
Trait tireté : Limite de contrôle (99 %)
7
6
5
4
3
2
1
0
AOUT-SEPT
OCT
NOV
MOYENNE


INDICES PROVISOIRES DE QUALITE DES CENTRAUX TELEPHONIQUES D'APRES LES FAUTES RELEVEES PENDANT LA PERIODE D'ENTRETIEN SOUS GARANTIE
2.05
2.04
2.03
2.02
2.01
2.00
1.90
1.80
1.70
1.60
1.50
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
P
BL
L
O
R
BO
V
N
G
C
S

INDICE DE QUALITE D'APRES LES ESSAIS SYSTEMATIQUES
2ème MOIS D'ENTRETIEN 1/59

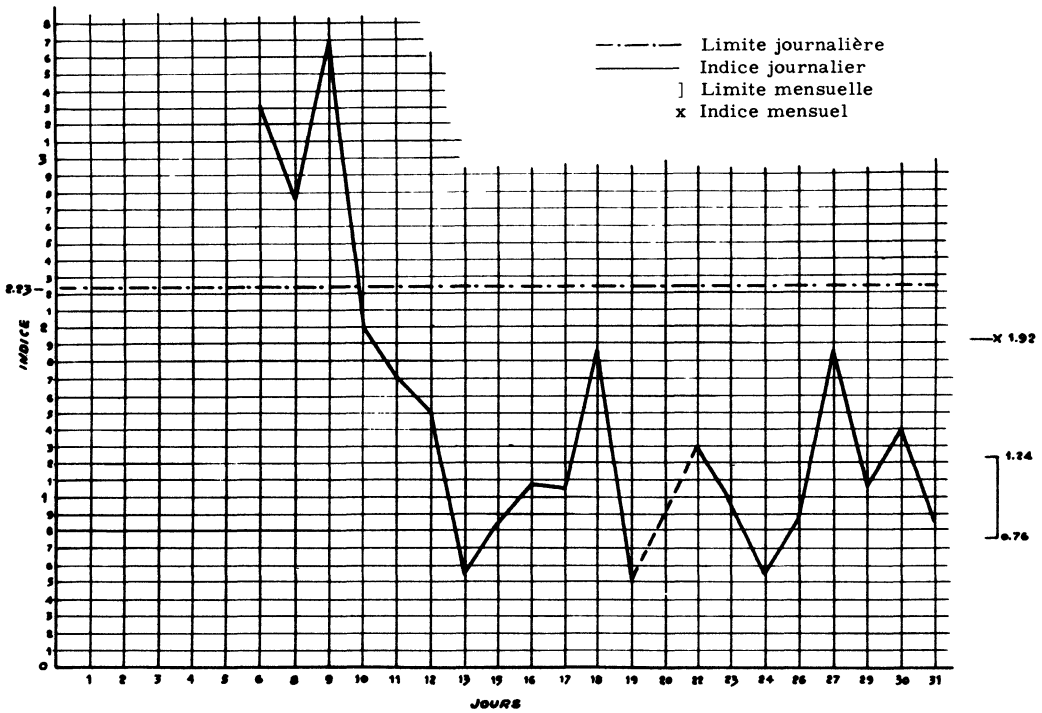
AUTOCOMMUTATEUR TELEPHONIQUE SYSTEME 781. M

—·—·— Limite journalière
——— Indice journalier
] Limite mensuelle
x Indice mensuel

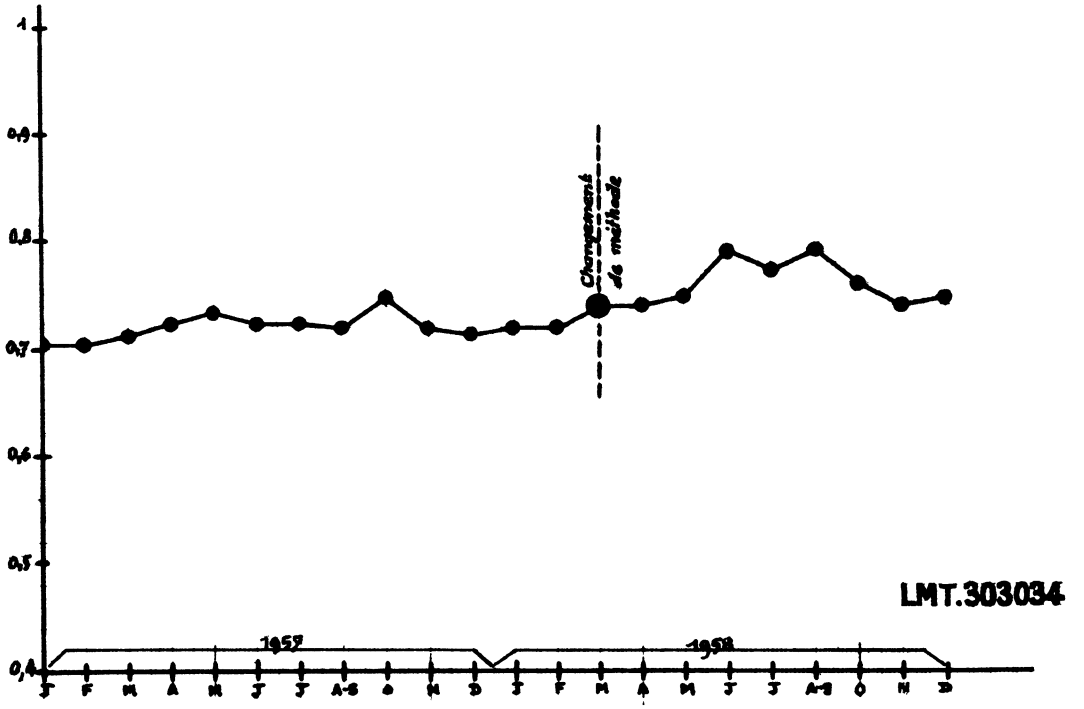


INDICE DE QUALITE D'APRES LES ESSAIS SYSTEMATIQUES
1er MOIS D'ENTRETIEN 12/58

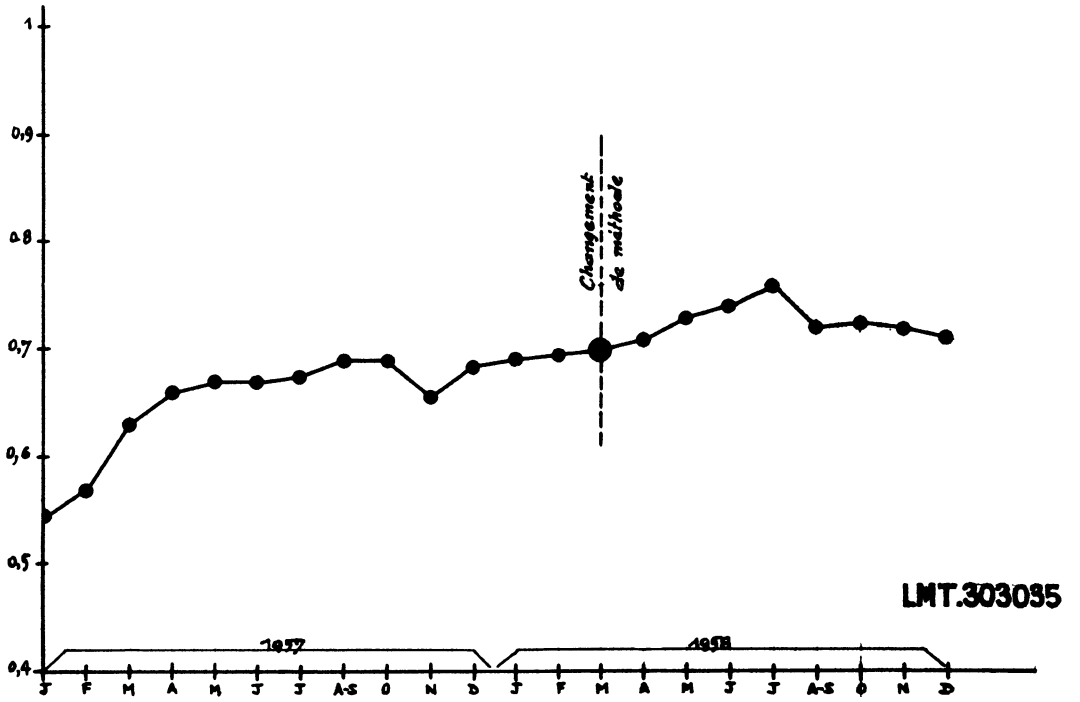
AUTOCOMMUTATEUR TELEPHONIQUE SYSTEME 781. M



FABRICATION DES PLAQUES REDRESSEUSES A 26'. INDICE DE QUALITE DU PRODUIT FINI
VOIR SPECIFICATION LMT 303032.



FABRICATION DES PLAQUES REDRESSEUSES A 26'. INDICE DE QUALITE DES FABRICATIONS
VOIR SPECIFICATION LMT 303032.



4/ Comme dernier exemple d'utilisation de standards, nous citerons celui des plaques redresseuses qui présente deux particularités (graphiques LMT 303 034 et 303 035).

a) deux caractéristiques complémentaires ont seules été prises en considération : la résistance dans le sens du courant direct qui doit être la plus faible possible et la résistance dans le sens du courant inverse qui doit être la plus grande possible. Pour pondérer ces deux caractéristiques, on a considéré le rendement de la plaque défini par le rapport de la puissance redressée à la puissance dissipée, cette dernière étant donnée par la formule :

$$R_{dir} I^2 + \frac{V^2}{R_{inv}}$$

(où I est l'intensité et V la différence de potentiel).

b) Le niveau standard de référence a été fixé comme un but à atteindre .

Deux graphiques ont été établis :

- l'un tenant compte des rebuts (considérés comme fournissant une puissance utile nulle) donne la *qualité des fabrications ;*
- l'autre, qui ne tient pas compte des rebuts, exprime la *qualité des livraisons faites* à la clientèle.

L'examen de ces graphiques montre qu'il n'y a pas lieu de calculer des intervalles de confiance.

CONCLUSION -

Dans l'utilisation des indices de qualité, on a à résoudre diverses sortes de difficultés : statistiques, industrielles et même psychologiques.

Mais il semble que ces diverses catégories offrent entre elles des corrélations non nulles ; car, si le statisticien réussit à formuler des propositions claires, concrètes, non biaisées et efficaces, il est certain que les autres difficultés ne demanderont qu'un peu de persévérance pour être résolues. C'est pourquoi nous pensons qu'une étude comme celle de Monsieur Férignac est très utile .