

# REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

J. LAPLACE

## **Difficultés rencontrées dans l'application directe des cartes de contrôle « aux mesures »**

*Revue de statistique appliquée*, tome 6, n° 3 (1958), p. 9-16

[http://www.numdam.org/item?id=RSA\\_1958\\_\\_6\\_3\\_9\\_0](http://www.numdam.org/item?id=RSA_1958__6_3_9_0)

© Société française de statistique, 1958, 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/>

# DIFFICULTÉS RENCONTRÉES DANS L'APPLICATION DIRECTE DES CARTES DE CONTROLE "AUX MESURES"

par  
J. LAPLACE

Avant d'aborder les difficultés que nous avons rencontrées à la mise en route des cartes de contrôle "aux mesures", je voudrais préciser un peu quelle est la pièce fabriquée, à quel appareil électro-domestique elle appartient, à quelles exigences elle doit répondre, enfin comment et par qui cette pièce est confectionnée.

Donc, abordons successivement ces quelques détails :

- Quelle est la pièce fabriquée; à quel ensemble appartient-elle?

Il s'agit d'un boudin de fil nickel-chrome, destiné à être placé dans la gorge d'une semelle de fer à repasser en fonte ou en aluminium. L'échauffement de ce boudin sous tension électrique permettra celui de la semelle.

- A quelles exigences cette pièce doit-elle répondre?

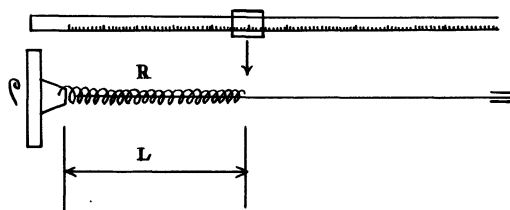
Des tolérances sont imposées sur la puissance électrique de l'appareil; il s'ensuit des tolérances sur la puissance du boudin chauffant. Pour des raisons de commodité, nous avons choisi la résistance électrique R et non la puissance P comme caractéristique du boudin. On passe d'ailleurs aisément de l'une à l'autre par la relation :

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Le contrôle portera, par conséquent, sur la résistance ohmique du boudin chauffant.

- Quelques détails sur le procédé de fabrication.

Le boudin est réalisé sur un poste de travail occupé par une ouvrière. Cette ouvrière conduit une machine qui peut être schématisée ainsi.



(1) Communication présentée aux Journées d'Etude et de Discussion du Centre de Formation (Juillet 1957).

Un plateau circulaire portant un mandrin, dans lequel est maintenue une tige d'acier (badine), est animé d'un mouvement de rotation autour de son axe.

Le fil, fixé à une extrémité sur le mandrin, est guidé par la main de l'ouvrière et s'enroule autour de la badine. L'avance donnée par l'ouvrière est telle que les différentes spires du boudin soient jointives.

Cette condition étant remplie, nous voyons que, partant d'un fil de résistance ohmique linéaire constante, nous obtenons, pour chaque longueur L du boudin, une valeur R de sa résistance électrique.

Un index, placé sur une règle graduée parallèle à la badine, constitue un repère pour l'arrêt de la machine provoqué par coupure de courant et freinage, ces deux opérations n'étant pas automatiques.

#### - Réglage de la machine.

Régler consiste à positionner correctement l'index.

Le fil étant livré en bobines, d'une capacité de 500 à 600 boudins, le réglage est effectué par le Chef d'équipe chaque fois que l'ouvrière commence une nouvelle bobine (on admet, en effet, que la résistance électrique linéaire du fil varie peu au cours d'une bobine, mais seulement d'une bobine à l'autre).

Il y a donc deux causes apparentes de variabilité :

- 1) mauvais réglage de l'index.
- 2) mauvais arrêt en face de l'index.

#### CONTROLE EXISTANT AVANT MISE SOUS CONTROLE -

En fin de journée, les lots de boudins produits par chaque ouvrière étaient stockés près d'un contrôleur qui appliquait à ce stade un plan genre réception.

Son jugement s'établissait après examen d'au moins 10% du stock, ce qui correspondait sensiblement à un contrôle quotidien de 300 résistances électriques.

Ce travail assez long représentait une fraction importante des occupations réservées à ce contrôleur.

L'efficacité du système était d'ailleurs médiocre puisqu'en effet, on était parfois obligé de refuser la production complète d'une ouvrière et de la trier.

On se bornait donc à constater les défectueux et l'on pouvait penser qu'en mettant en route un contrôle aux mesures en cours de fabrication on atteindrait un double but :

- économie du temps de contrôle
- décelage des dérèglages.

#### ETUDE DE LA VARIABILITE DU PROCEDE DE FABRICATION -

Afin de connaître la variabilité du procédé de fabrication, nous avons demandé aux trois ouvrières exécutant le travail de réaliser chacune 50 boudins : 10 groupes consécutifs de 5 boudins. De là nous avons tiré 3 étendues moyennes

( $\bar{w}(5)$ ) différentes et nous avons vérifié que les productions des 3 ouvrières étaient "sous contrôle". Leurs histogrammes avaient d'ailleurs des allures normales.

La comparaison de la dispersion ( $D = 6\sigma$ ) (calculée à partir de la moyenne des 3 étendues trouvées précédemment) à l'intervalle de tolérance, nous permit de lancer des cartes de contrôle aux limites modifiées.

$$\text{Nous avons à peu près : } \frac{T_s - T_i}{6\sigma} = 4$$

## MISE SOUS CONTROLE -

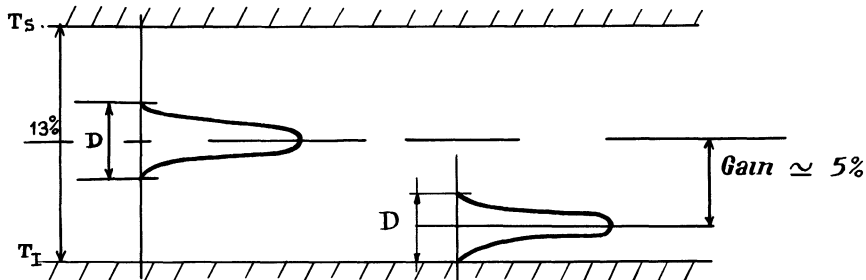
### 1er stade : Cartes de contrôle aux limites modifiées.

Par suite de l'importance du rapport  $\frac{(T_s - T_i)}{6\sigma}$ , ces limites ont été facilement respectées et nous n'avons eu à enregistrer que quelques dépassements d'étendue sur la carte de l'ouvrière la plus irrégulière; donc résultats satisfaisants.

Cependant, si l'on remarque que la résistance électrique d'un boudin chauffant est directement proportionnelle à la longueur de fil employée pour sa confection, et qu'il était possible ici de travailler avec plus de précision, on en conclut que l'on peut réaliser un gain de fil en fabriquant près de la tolérance inférieure.

D'où possibilité de faire jouer à la carte de contrôle un troisième rôle : rôle d'économie de matière.

Le gain de fil chiffré était voisin de 5%.



Cette remarque nous conduisait donc à construire les cartes de contrôle non plus autour du centre des tolérances, mais autour d'une résistance moyenne distante de ce centre d'une valeur égale au gain de fil prévu (5%).

### 2ème stade : cartes de contrôle aux limites naturelles.

Par mesure de prudence, nous décidions d'opérer en deux temps :

- durant une première période, nous nous bornerions à tracer les limites naturelles autour du centre des tolérances et à constater que les ouvrières respectent ces limites,
- puis, dans une deuxième période, si les conditions précédentes étaient remplies, nous procéderions au décalage prévu.

#### Première période : Limites naturelles centrées.

##### A - Premiers résultats :

Les limites tracées ne sont absolument pas respectées. Les variations de moyenne sont plus importantes que ne le laissait supposer la variabilité du procédé de fabrication.

Recherche de la cause perturbatrice :

Nous avons immédiatement pensé à l'imprécision du réglage exécuté par le Chef d'équipe en début de bobine. En effet, ce réglage est fait sur un seul boudin confectionné par l'ouvrière.

Un moyen simple de réduire considérablement l'erreur à ce stade aurait été de réaliser le réglage sur une moyenne de 5 ou 10 boudins au lieu de le faire sur un seul, en mettant à la disposition du Chef d'équipe une carte de contrôle de réglage.

Bien que très simple, ce moyen n'a pas été retenu, car il représentait une charge supplémentaire importante pour le Chef d'équipe et, en comparant cet accroissement de charge au gain de fil, on s'apercevait de plus que le système n'était pas rentable.

Nous nous sommes donc contentés de subir la dispersion de réglage. Cette opération étant faite sur un seul boudin confectionné par l'ouvrière, cette dispersion est égale à la dispersion de fabrication.

Incidence sur le gain de fil :

Les deux opérations :

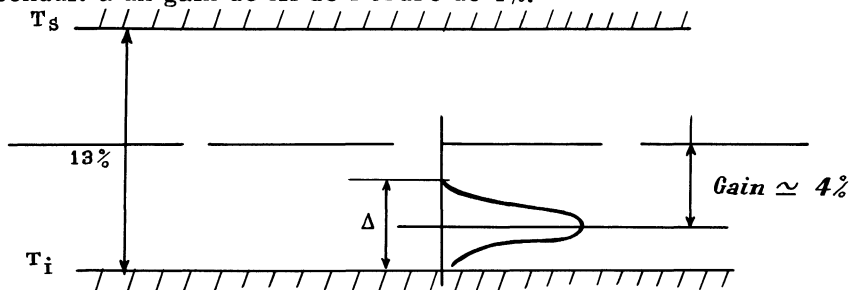
- réglage de la machine,
- fabrication du boudin

étant deux opérations indépendantes, la dispersion de la production sur un grand nombre de réglage est donc égale à  $\Delta$ , telle que :

$$\Delta^2 = (6\sigma)^2 + (6\sigma)^2 = 2 D^2$$

$$\Delta = D\sqrt{2}$$

ce qui conduit à un gain de fil de l'ordre de 4%.



Le gain de fil étant encore suffisamment important, les cartes de contrôle, toujours construites sur la même valeur (centre des tolérances), ont été mises en route en tenant compte de la dispersion de réglage estimée ci-dessus, d'où, évidemment, des limites de variation de moyennes plus écartées que précédemment.

B - Seconds résultats :

Ces nouvelles limites de moyenne ne sont toujours pas respectées par les ouvrières. Les variations des moyennes sont encore supérieures à celles tenant compte de la variabilité du procédé de fabrication et du réglage.

Une recherche systématique du ou des facteurs perturbateurs s'imposait donc.

### Etude systématique :

A priori, trois facteurs pouvaient être la cause de ces variations :

a) Variation de la résistance ohmique linéaire du fil au cours d'une bobine : c'était d'ailleurs l'explication donnée par l'atelier.

b) Différence entre boudin de réglage et boudins de fabrication : on pouvait penser, en effet, que le boudin de réglage fait avec plus d'application ne représentait absolument pas le travail qui allait suivre.

c) Variation de centrage au cours d'une même bobine, due à l'ouvrière dont la visée de l'index pouvait être modifiée selon sa position devant la machine.

### Résultats :

Des mesures portant sur une douzaine de bobines nous permirent de voir que les variations maxima de la résistance ohmique linéaire du fil en cours de bobine ne dépassaient pas 1%, ce qui ne pouvait expliquer les écarts observés sur les moyennes. Cette première hypothèse était donc à rejeter.

Par contre, en suivant entièrement le travail de l'ouvrière, depuis le réglage (à la mise en route d'une bobine), jusqu'à la fin de cette bobine, nous avons pu mettre en évidence deux points importants qui venaient confirmer les deux dernières hypothèses. En travail soigné, c'est-à-dire lorsque l'extrémité des boudins était le mieux possible en face de l'index, on notait :

1) des différences importantes entre le boudin de réglage et le groupe de 5 boudins prélevés immédiatement après lui.

2) des écarts importants entre moyennes de groupes de 5 valeurs prélevées tous les quarts d'heure le long d'une bobine. De plus, ayant compté les spires de boudins de même longueur mais de résistances très distinctes, nous avons trouvé deux nombres également très différents.

Quel était donc le facteur qui permettait d'obtenir deux boudins de résistances différentes mais de longueur identique et présentant chacun des spires jointives?

Autrement dit, quel moyen avait-on à sa disposition pour confectionner deux boudins de même longueur, ayant des nombres de spires différents mais ayant toujours des spires jointives?

### Nouvelle étude :

Mise en évidence d'un nouveau facteur : La Tension du fil au cours du bobinage.

Les mesures de résistance et du nombre de spires de deux groupes de boudins effectués :

- l'un avec une tension mécanique voisine de la tension maximum que l'ouvrière était susceptible de donner au fil en cours de travail,

- l'autre avec une tension normale,

(ces boudins étant terminés juste en face de l'index) nous ont conduits aux conclusions suivantes :

- Boudiner à tension forte conduit à augmenter le nombre de spires du bou-

din et à augmenter sa résistance électrique, mais ces deux augmentations sont différentes en proportion.

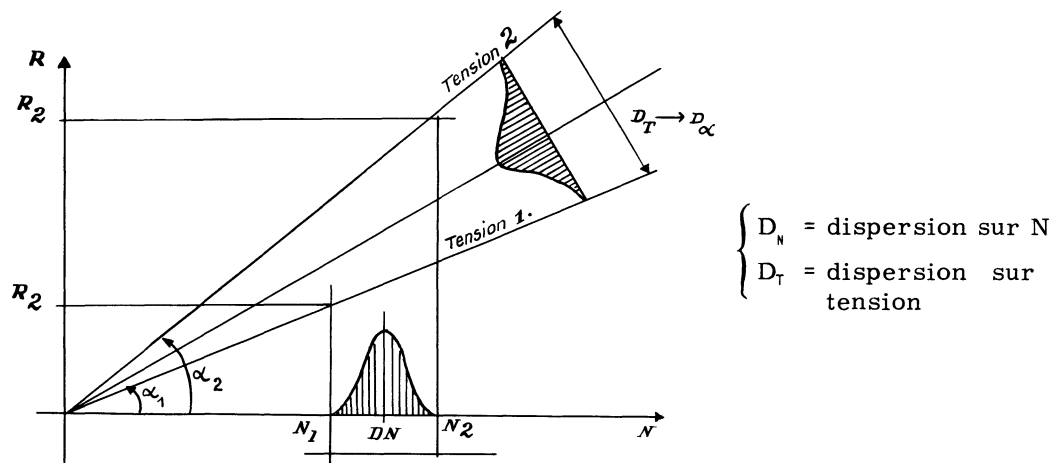
Or, si l'on remarque que la résistance des boudins varie linéairement en fonction de leur nombre de spires, une augmentation de celui-ci devrait entraîner une augmentation égale en proportion de la résistance correspondante.

Si nous traçons dans le système d'axes rectangulaires R (résistance du boudin), N (nombre de spires du boudin), la courbe  $R = f(N)$ , il s'agit d'une droite.

Le fait de provoquer sur l'une des variables N une variation  $(\frac{\Delta N}{N})$  par l'intermédiaire d'un changement de tension du fil et de ne pas trouver la même variation  $(\frac{\Delta R}{R})$  sur l'autre variable R prouve qu'il existe, pour chaque tension de fil, une droite  $R = f(N)$  répondant à une pente bien définie.

Nous mettons ici en évidence les deux facteurs dont dépend la dispersion de résistance :

- 1) le nombre de spires N
- 2) la tension mécanique du fil.



### CONCLUSION -

La tension du fil étant entièrement déterminée par l'ouvrière, ces constatations justifient les écarts de moyenne que nous enregistrons.

En effet, des expériences nous ont montré que s'il était possible, pour l'ouvrière, de veiller à la constance de la tension durant un laps de temps réduit (50 à 70 boudins), il lui était pratiquement impossible de le faire durant une bobine complète (500 boudins).

Il convenait donc, à ce stade, d'équiper les machines à boudiner de telle sorte que les deux conditions importantes dégagées durant cette étude soient respectées :

- constance du nombre de spires
- constance de la tension.

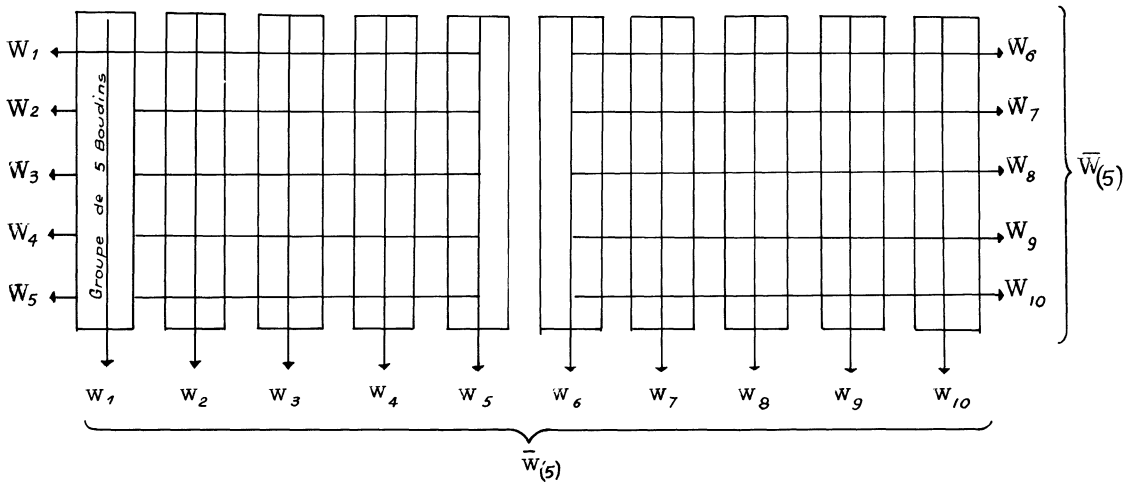
Un prototype fut mis en route peu de temps après et nous pouvons dire

maintenant qu'il a déjà permis de réduire considérablement la dispersion.

Cependant, en attendant la fin de cette mise au point et dans l'état actuel de nos machines, il convenait de refaire une nouvelle étude de la variabilité du procédé de fabrication sur une période plus longue que celle choisie précédemment.

#### NOUVELLE ETUDE DE LA VARIABILITE DU PROCEDE DE FABRICATION

L'étude a porté sur 50 boudins (10 groupes de 5 boudins pris tout au long de la bobine, donc prélevés non consécutivement). L'étude peut donc se schématiser ainsi :



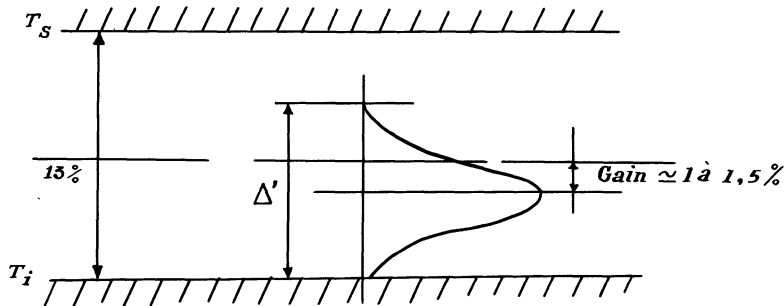
A partir de chaque groupe, nous avons retrouvé  $\bar{w}(5)$  déterminé dans la première étude. Or, ce qui nous intéressait était la variabilité entre groupes. Nous avons, évidemment, trouvé ici

$$\bar{\bar{w}}(5) > \bar{w}(5)$$

pratiquement,  $\bar{\bar{w}}(5) = 2 \bar{w}(5)$

#### Incidence sur le gain de fil.

Si l'on calcule maintenant la nouvelle dispersion de la fabrication sur un grand nombre de réglages, nous sommes conduits à  $\Delta' = 2\Delta$ , d'où un gain de fil voisin de 1%.





Nous voyons que le rôle d'économie de matière que nous voulions faire jouer à la carte de contrôle est ici pratiquement négligeable. Néanmoins, les nouvelles limites des moyennes calculées avec  $\overline{W}_{(5)}$  trouvé ci-dessus sont actuellement respectées.

#### CONCLUSION GENERALE -

Nous ne pensions pas, en mettant en route ces cartes de contrôle sur un poste à première vue simple, être amenés à une étude aussi longue. S'il est possible, pour notre compte personnel, de tirer une leçon de nos difficultés, je crois qu'il faut surtout penser à élargir les conclusions de cet exposé en insistant sur l'esprit de prudence dont il faut être pénétré au moment du lancement des cartes de contrôle.

On conçoit facilement combien les nombreux tâtonnements qui ont accompagné le lancement des cartes de contrôle dans le cas particulier dont il a été question, auraient pu être néfastes au développement du contrôle statistique dans l'Entreprise et au climat psychologique d'un atelier. Je m'empresse de dire qu'il n'en a rien été chez nous, le service Fabrication ayant toujours largement coopéré avec nous dans ce secteur ; mais nous avons bénéficié de conditions particulières.

Enfin, pour terminer, je voudrais faire ressortir le côté technique de cette étude qui a permis de mieux connaître le procédé de fabrication et, par conséquent, de l'améliorer.

Cet exposé intitulé "Difficultés rencontrées dans l'application des cartes de contrôle aux mesures" aurait très bien pu recevoir le titre "Etude Technique du boudinage".