REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

PIERRE GAROCHE

Étude de la fabrication des résistances émaillées

Revue de statistique appliquée, tome 6, nº 2 (1958), p. 57-71
<http://www.numdam.org/item?id=RSA_1958__6_2_57_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/

ÉTUDE DE LA FABRICATION DES RÉSISTANCES ÉMAILLÉES

par

Pierre GAROCHE

Ingénieur I. E. G. - Licencié es-Sciences

La Société ALSTHOM fabrique, entre autres choses, dans son usine de matériel basse tension, des résistances électriques émaillées.

Jusqu'en 1955, la précision garantie était ±5%, tolérance acceptable en fabrication et donnant satisfaction à notre clientèle. Mais, à cette époque, pour répondre à de nouvelles exigences techniques, nous avons accepté de livrer à un de nos principaux clients des résistances dont les écarts ne dépasseraient pas ± 2% par rapport aux valeurs nominales.

Pour ce faire, au moment du contrôle final, nous avions prévu de trier en deux lots notre production :

a) un lot à tolérances serrées ±2%;

b) un lot à tolérances normales constitué par les résistances comprises entre -5, -2% et +5, +2% de la valeur nominale.

La quantité de résistances extérieures aux tolérances serrées fut importante et nettement supérieure à la consommation, 30% seulement des résistances fabriquées rentraient dans les nouvelles tolérances.

C'est pour remédier à cette situation que nous avons entrepris d'analyser, à l'aide des méthodes statistiques, le procédé de fabrication.

L'étude a été conduite de façon à dégager les points sur lesquels devaient porter nos efforts pour resserrer nos tolérances de fabrication.

PROCEDE DE FABRICATION -

Les résistances émaillées que nous fabriquons sont de deux types : QNA et QNC, qui ne diffèrent que par le dimensionnement.

Ces résistances sont constituées par une âme isolante réfractaire cylindrique sur laquelle est roulé un fil résistant en alliage spécial, fixé aux deux extrémités du tube réfractaire par une spire en câble de cuivre torsadé.

Elles sont ensuite émaillées en plusieurs passes.

---

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

Enfin, la fabrication se termine par le montage, sur le tube émaillé, de deux pattes en acier servant à la fixation et au branchement électrique de la résistance.

Les principales difficultés rencontrées en fabrication sont les suivantes :

1/ Tenir compte d'une variation systématique de la valeur ohmique de la résistance qui se produit au cours de l'émaillage.

2/ Rouler le fil résistant sur l'âme réfractaire avec précision pour obtenir au départ une résistance bien définie dont la valeur fixée par la routine est d'environ 5% inférieure à la valeur finale désirée.

ETUDE DE LA FABRICATION -

Cette étude a porté sur 26 familles constituées chacune de 10 ou parfois de 5 tubes identiques représentant un total de 245 résistances dont les valeurs s'échelonnaient de 0,32 à 6.400 ohms.

Le tableau ci-dessous indique les caractéristiques de la population constituant le matériel de base sur lequel a porté notre analyse.

Type de résistance	Valeur nominale	Quantité fabriquée	Date de roulage	Date d'émaillage	Nombre de cuissons	Nature du fil	Diamètre du fil	Repère de la famille
QNA	0,32	10	6-9	23-9	3	constantan.	9/10	1
-	-	10	20-10	26-10	3	-	-	2
-	0,64	10	31-8	5-9	3	-	-	3
-	-	10	20-10	26-10	3	-	-	4
-	0,80	5	12-8	17-8	3	-	8/10	5
-	-	10	20-10	26-10	3	-	-	6
-	1,25	10	31-8	5-9	2	-	-	7
-	-	10	20-10	26-10	3	-	-	8
-	6,4	10	29-8	1-9	3	RNC. 1	6/10	9
-	-	10	20-10	26-10	3	constantan.	8/10	10
-	25	5	12-8	16-8	3	RNC. 1	6/10	11
-	-	10	20-10	26-10	2	constantan.	5/10	12
-	64	10	29-8	1-9	2	RNC. 1	4/10	13
-	-	10	20-10	26-10	2	constantan.	3/10	14
-	125	10	31-8	5-9	2	RNC. 30	3/10	15
-	-	10	20-10	26-10	2	-	-	16
-	250	10	6-9	23-9	2	Tophet A	25/100	17
-	-	10	20-10	26-10	2	-	-	18
QNC	500	5	18-8	19-8	2	-	16/100	19
QNA	-	10	20-10	26-10	2	-	2/10	20
-	640	10	29-8	1-9	2	-	-	21
-	-	10	20-10	26-10	2	-	-	22
-	1250	10	31-8	5-9	2	-	16/100	23
-	2000	10	6-9	23-9	2	-	12/100	24
-	3200	10	25-8	26-8	2	-	10/100	25
-	6400	10	6-9	23-9	2	-	61/1000	26

Variation de résistance due à l'opération d'émaillage.

Pour rechercher la loi de variation due à l'opération d'émaillage on a mesuré successivement pour chaque tube :

a/ La valeur de la résistance R' du tube une fois le fil enroulé sur l'âme réfractaire et fixé au câble de cuivre par torsion;

b/ La valeur et la résistance R du tube après complet achèvement de la fabrication.

Pour rendre comparables entre eux les résultats relatifs à des familles de résistances de valeurs nominales différentes, nous avons caractérisé la variation de résistance due à l'opération d'émaillage par la quantité :

$$A = 100 \frac{R - R'}{R \text{ nominale}}$$

La répartition des variations observées est donnée par le tableau suivant:

A	Fréquence absolue	Fréquence cumulée	A	Fréquence absolue	Fréquence cumulée	Observations
-8,75	1	1	5,25	3	216	
.....	....		5,75	3	219	
-2,25	1	2	6,25	5	224	
-1,75	0	2	6,75	3	227	6 Tubes détruits au cours des opérations de fabrication.
-1,25	1	3	6,25	4	231	
-0,75	5	8	7,75	3	234	
-0,25	5	13	8,25	1	235	
+0,25	4	17	8,75	1	236	
+0,75	7	24	9,25	1	237	
+1,25	11	35	.....	...		
+1,75	9	44	11,25	1	238	
+2,25	27	71	.....	...		
+2,75	29	100	14,25	1	239	
+3,25	36	136	.....	...		
+3,75	49	185				
+4,25	17	202				
+4,75	11	213				

Etude statistique.

Cette répartition n'est pas gaussienne, contrairement à ce que l'on pouvait s'attendre. La meilleure façon de la caractériser dans ces conditions, sans préjuger de sa forme analytique, est de chercher sa médiane et ses déciles. (Fig. 1).

Pour mémoire, rappelons que la médiane M est la valeur de A telle que la moitié des observations soit inférieure à M; les déciles D1 et D2 sont les valeurs de A telles que 10% des observations présentent une valeur inférieure à D1 et 10% une valeur supérieure à D2.

Nous avons choisi la médiane plutôt que la moyenne, car elle minimise l'effet des valeurs extrêmes, valeurs que nous pensons être aberrantes.

Des variations de résistance de -8,75 ou de +11,25 et +14,25% sont dûes très certainement à des causes mal connues dont l'effet s'ajoute à celui de la loi que nous essayons de dégager.

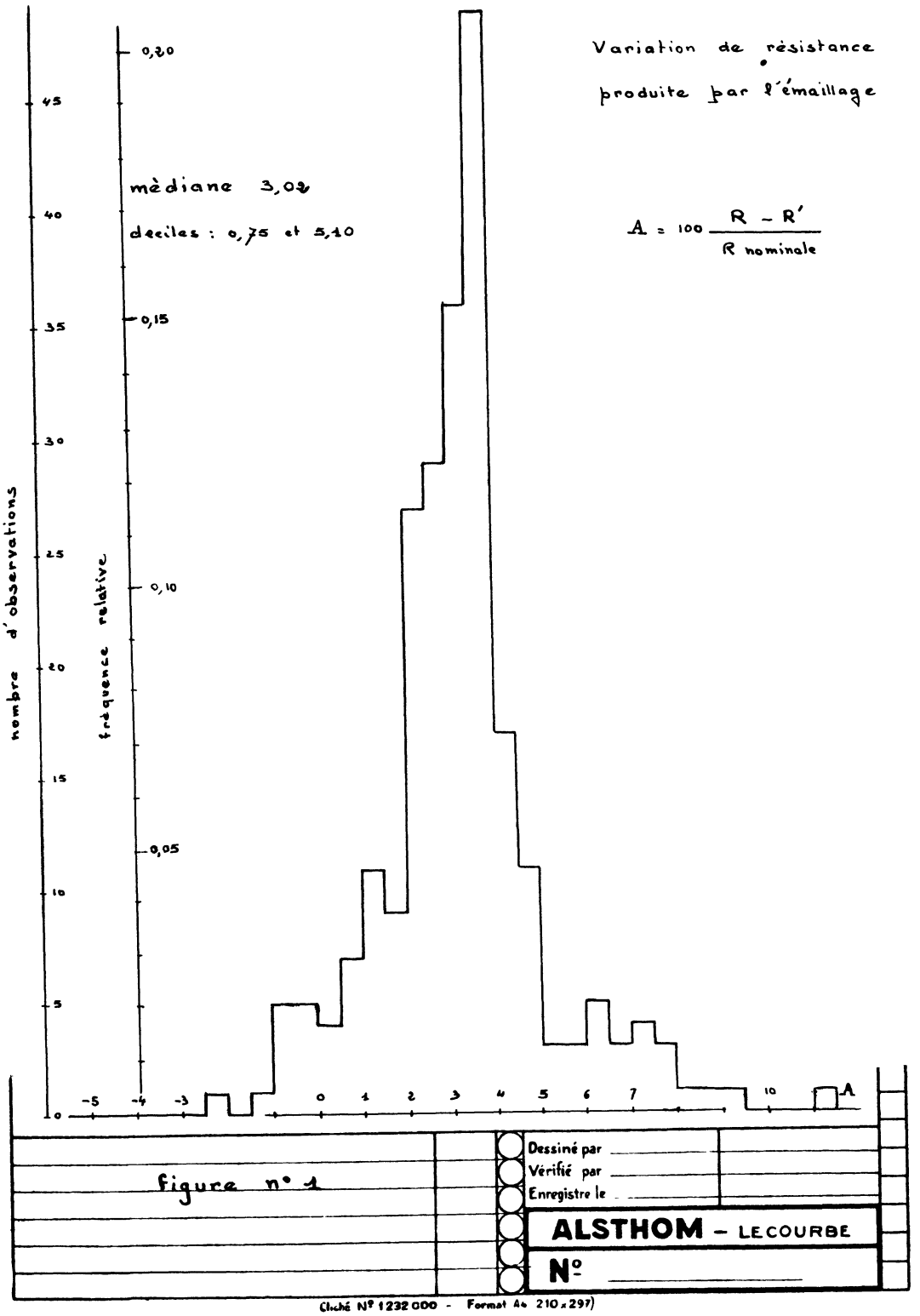
Variation de résistance produite par l'émaillage
A = 100 (R − R') / R nominale
médiane 3,02
deciles : 0,75 et 5,10
nombre d'observations
fréquence relative
0,20
0,15
0,10
0,05
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-4
-3
0
1
2
3
4
5
6
7
10
A
Figure n° 1
Dessiné par
Vérifié par
Enregistré le
ALSTHOM – LECOURBE
N°
Cliché N° 1232 000 - Format A4 210 x 297

Figure 1

La médiane et les déciles expérimentaux ont pour valeur :

$$M = 2,75 + \frac{19,5}{36} \; 0,5 = 3,021$$

$$D1 = 0,25 + \frac{6,9}{7} \; 0,5 = 0,7493$$

$$D2 = 4,75 + \frac{2,1}{3} \; 0,5 = 5,100$$

Nous prendrons ces trois valeurs comme estimateurs des médianes et déciles vrais, pour caractériser la distribution des variations de résistances dûes à l'opération d'émaillage.

Précision de cette estimation :

L'estimation expérimentale de chacun de ces paramètres est une variable aléatoire normale dont l'écart-type pour un échantillon très étendu tend asymptotiquement vers la valeur :

$$\sigma = \frac{\sqrt{np(1 - p)}}{F}$$

n étant le nombre de résultats,
p étant la probabilité d'apparition d'observations ayant une valeur inférieure ou égale à celle du paramètre estimé,
F étant la fréquence absolue de la population dont est extrait l'échantillon - fréquence prise au point considéré.

Pour appliquer cette relation, nous avons été amenés à prendre pour valeur des fréquences absolues de la distribution théorique, les valeurs constatées expérimentalement dans l'échantillonnage constitué par les 239 observations.

En nous reportant au tableau précédent, et en tenant compte de la valeur de l'intervalle de classe, nous obtenons :

F = 72 pour la médiane M
F = 14 pour le décile inférieur D1
F = 6 pour le décile supérieur D2.

Dans ces conditions, on peut estimer les intervalles de confiance au niveau 90/100 :

médiane M	$3,02 \pm 0,12$
décile inférieur D1	$0,75 \pm 0,55$
décile supérieur D2	$5,10 \pm 1,27$

CONCLUSION -

La valeur de la médiane avec son intervalle de confiance est exploitable. Les intervalles de confiance des déciles sont larges et l'exploitation des résultats ne présente pas une précision industrielle satisfaisante.

En effet, si pour 80% de la fabrication échantillonnée, la variation de résistance est comprise entre 0,75 (décile inférieur) et 5,10 (décile supérieur) les intervalles de confiance au niveau 90/100 nous conduisent à prendre comme plage +0,20 à 6,37. Cet intervalle est trop large, cela est dû au nombre relativement faible de tubes sur lequel a porté notre étude.

Nous aurions pu calculer directement la variance sur notre estimation de l'intervalle entre les deux déciles, à l'aide de la relation :

$$\text{Variance } (X_2 - X_1) = n \left(\frac{p1q1}{F1^2} + \frac{p2q2}{F2^2} - 2\frac{p_1 q_2}{F_1 F_2} \right)$$

mais ce calcul ne nous aurait permis d'obtenir qu'une estimation de l'intervalle séparant les déciles, sans nous permettre de placer cet intervalle par rapport à la médiane ou à la moyenne.

Dans ces conditions, nous avons préféré obtenir une limite supérieure, en retenant les valeurs extrêmes des intervalles de confiance de chaque décile.

Cette analyse conduit néanmoins à la conclusion suivante :

La correction à apporter à la valeur de la résistance au moment du roulage est de -3% sur la valeur finale désirée dans les conditions actuelles de fabrication.

Pour pouvoir analyser avec plus de précision la loi non gaussienne caractérisant l'effet de l'émaillage, il serait nécessaire de reprendre une étude identique sur 1000 à 2000 tubes environ, ce que nous n'avons pas jugé utile de réaliser.

RECHERCHE DES FACTEURS AGISSANT SUR LA DISPERSION DE LA LOI D'EMAILLAGE -

Afin d'y voir plus clair dans la répartition des résistances autour de leur valeur médiane, on peut cependant tenter de grouper les tubes en sous populations homogènes.

Ce groupement pouvait se faire :

a/ par valeur nominale,
b/ par nature de fil résistant,
c/ par date de fabrication.

On constate que seul le dernier mode de groupement fait apparaître des permanences statistiques significatives.

Tableau des résultats groupés par famille de tubes

Valeur nominale	Moyenne	Ecart-type	Valeur nominale	Moyenne	Ecart-type
0,32	6,4063	1,3203	125	2,5050	0,3161
0,32	3,6875	1,0058	125	2,3200	0,6309
0,64	3,4020	1,5170	250	3,9000	0,2191
0,64	4,5000	1,4555	250	3,6360	0,4143
0,80	0,4377	1,2280	500	3,2680	0,3938
0,80	3,0250	0,8348	500	6,2280	1,1778
1,25	0,6240	0,8913	640	3,0000	0,3000
1,25	2,5600	0,5133	640	3,7235	0,0730
6,4	-0,2031	0,5502	1 250	3,0880	0,2924
6,4	4,3281	0,4017	2 000	4,8000	3,7200
25	2,2400	0,1992	3 200	3,9200	0,5392
25	8,1600	2,0340	6 400	2,9512	0,9226
64	1,5625	0,4981			
64	1,7719	0,7038			

Groupement par valeur nominale et groupement par nature de fil résistant.

L'examen du groupement par valeur nominale met en évidence, tant entre moyennes qu'entre écarts-types, des différences très importantes entre groupes correspondant à la même valeur nominale.

Il faut noter que les familles de même valeur nominale ont toujours été émaillées à des dates différentes.

En essayant de grouper les résultats par nature de fil résistant, il n'est pas non plus possible de dégager de permanences statistiques intéressantes.

Groupement par date de fabrication.

Le groupement par date de fabrication est instructif car il permet de fixer la dispersion de la loi de variation due à l'émaillage.

Le groupement a été effectué sur l'ensemble des tubes émaillés le 26/10/55, ce qui représente une série de 108 observations, portant sur 11 familles de 10 tubes (2 tubes ont été détruits au cours de la fabrication) (Tableau 1).

Le graphique de Henry, pour l'ensemble de cette population, fait apparaître un groupement en deux sous-populations (Fig. 2).

a/ 19 tubes constituant les familles de 0,42 et 0,64 ohms.
b/ 89 tubes constituant les familles de 1,25 à 640 ohms.

En établissant un graphique de Henry pour ces deux sous-populations, on met en évidence la valeur de l'écart-type A = 1,5 (Fig. 3).

Il est à noter que les âmes pour les tubes d'une valeur inférieure ou égale à 0,64 ohm sont filetées, alors qu'elles ne le sont pas pour les valeurs supérieures. Le nombre de nos observations est cependant trop réduit pour nous autoriser à conclure que ce changement d'âmes est la raison de ce comportement différent.

Ce résultat permet de définir la répartition de la loi de variation autour de sa valeur moyenne.

Le tableau suivant indique la proportion de tubes à prévoir en fonction de leur écart par rapport à la moyenne :

Ecart	±1%	±2%	±3%	±4%	± 5 %
Proportion	50%	80%	95%	99%	100%

Ainsi que nous l'avons vu précédemment, la valeur de la moyenne dépend beaucoup des conditions dans lesquelles s'effectue l'opérations d'émaillage.

La mise en route de la nouvelle installation automatique d'émaillage conduira à une plus grande reproductibilité des opérations de cuisson.

Il est alors tout à fait naturel d'admettre que l'opération d'émaillage conduira à une variation de résistance suivant une loi de répartition normale d'écart-type 1,5 (valeur caractérisant les deux sous-populations émaillées le 26/10/55).

Précision de l'opération de roulage.

Cette opération se déroule de la manière suivante : l'ouvrier après avoir exécuté l'enroulement du fil résistant sur une âme réfractaire, selon les indications portées aux spécifications, contrôle ou fait contrôler son travail en mesurant la valeur de la résistance.

Famille / Classe	0,32	0,64	0,80	1,25	6,4	25	64	125	250	500	640	Σ par classe	Cummulé	1re population	2e population
		← -8,75													
-2,25			1									1	1	1	
-1,75												0	1	1	
-1,25			1									1	2	2	
-0,75				2	3							5	7	7	
-0,25				1	4							5	12	12	
+0,25			1	1	2							4	16	16	
+0,75			2	2	1		1					6	22	22	
+1,25			4	2			2					8	30	30	
+1,75			1	2			5					8	38	38	
+2,25						8	1	6				15	53	53	
+2,75						2		3		3	6	14	67	67	
+3,25								1		3	2	6	73	73	
+3,75	1								8	3	1	13	86	85	1
+4,25	1	1							2	1		5	91	89	3
+4,75		3										3	94		6
+5,25		1										1	95		7
+5,75	1	1										2	97		9
+6,25	1	3										4	101		13
+6,75	2											2	103		15
+7,25	1											1	104		16
+7,75	3											3	107		19

Emaillage du 26-10-55

DESSINÉ PAR:
VÉRIFIÉ PAR:
ENREGISTRÉ LE:

ALSTHOM – LECOURBE

N°.

Cliché N° 1232000 I Format A4 (210 x 297)

Tableau I

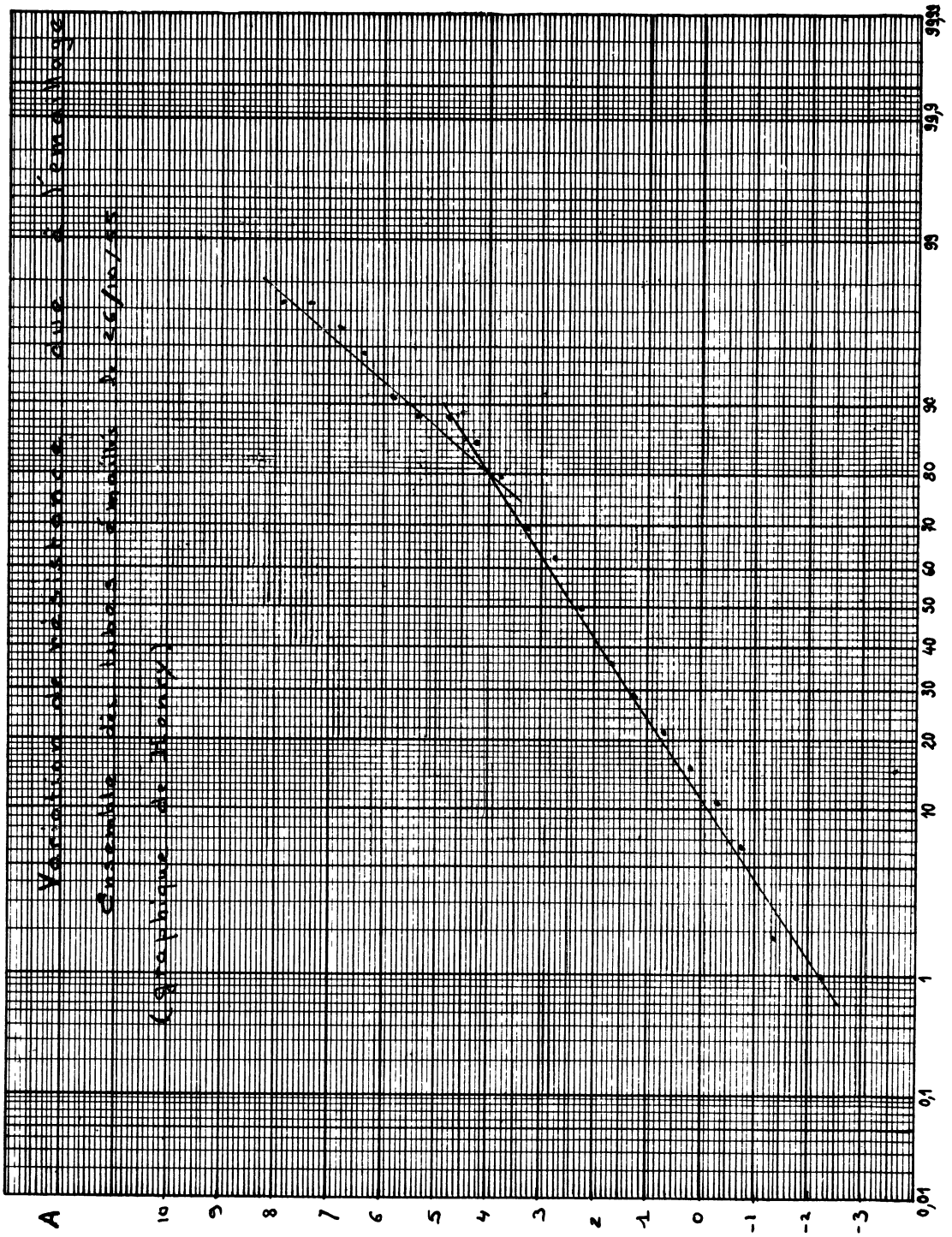

Figure 2

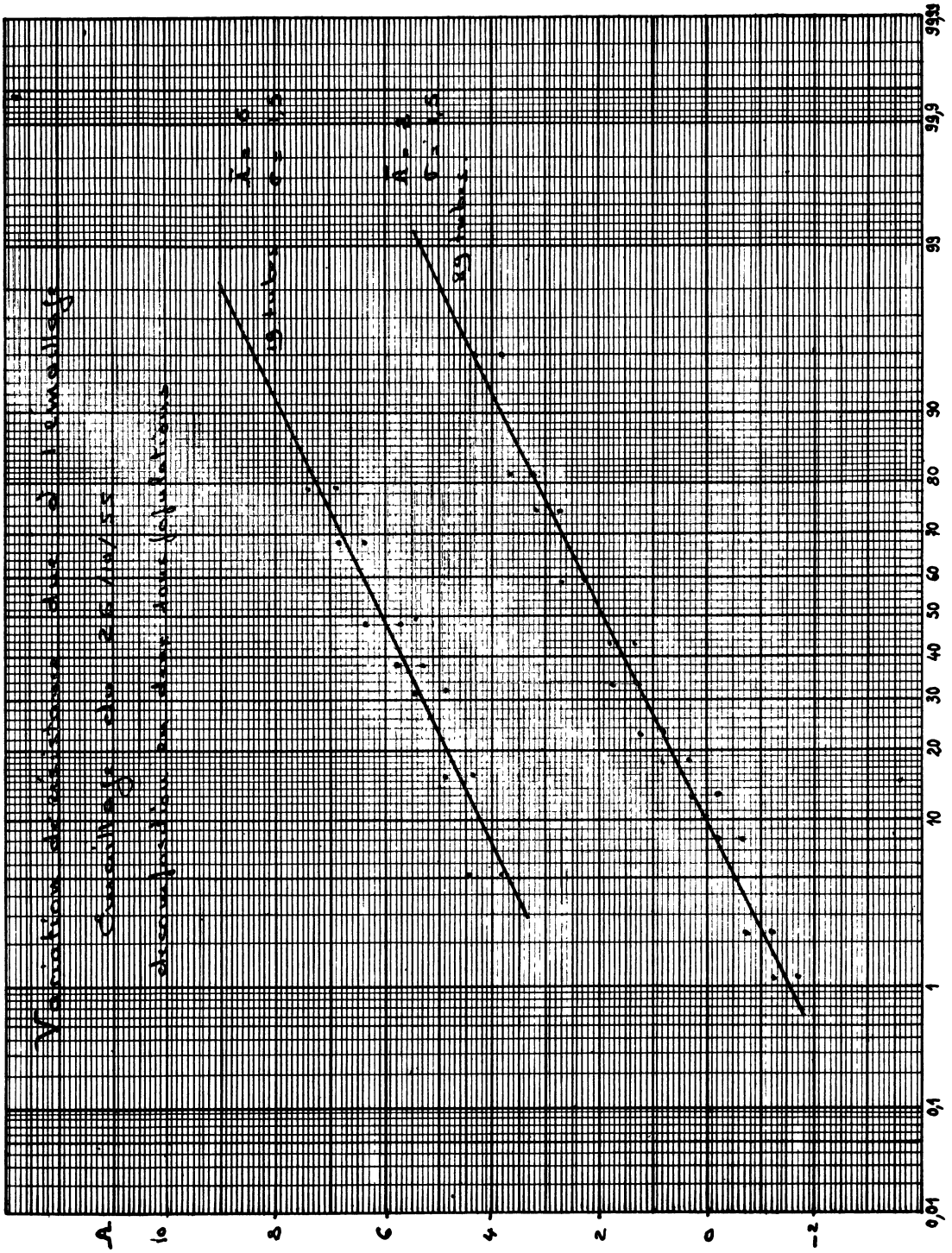
Variation de résistance dans la Tamise
Courbe de 26/12/55
Log-Log
99,9
99
90
80
70
60
50
40
30
20
10
1
0,1
0,01
10
8
6
4
2
0
-2

Figure 3

Eventuellement, il corrige le nombre des spires pour obtenir la valeur indiquée.

Ensuite, il exécute les autres tubes de la série sans effectuer, en principe, de nouveau contrôle.

Pour caractériser la précision attachée à cette opération, nous avons étudié pour chaque famille de tubes, les écarts relatifs par rapport à la valeur moyenne; en effet, il est normal de penser que cette valeur moyenne est bien la valeur que l'opérateur désirait obtenir. En opérant ainsi, nous écartons les différences d'étalonnage entre les appareils de mesure dont peut disposer soit l'atelier, soit le laboratoire; ces écarts n'ayant pas à intervenir pour juger de la précision à attacher à l'opération de roulage.

Le tableau ci-dessous indique les variations observées.

Ecart en % par rapport à la moyen.	Fréquence absolue	Fréquence cumulée	Ecart en % par rapport à la moyen.	Fréquence absolue	Fréquence cumulée
-3,75	2	2	0,25	83	200
-3,25	0	2	0,75	20	220
-2,75	0	2	1,25	9	229
-2,25	0	2	1,75	3	231
-1,75	4	6	2,25	3	234
-1,25	11	17	2,75	0	234
-0,75	33	50	3,25	0	234
-0,25	67	117			

La répartition est sensiblement normale et présente un écart-type de 0,8. (Fig. 4).

Ce résultat est satisfaisant et indique que l' opération est conduite avec soin. La proportion de tubes à prévoir en fonction de leur écart est donnée par le tableau suivant :

Ecart en %	±0,5	±1	±1,5	±2
Proportion	47%	79%	94%	99%

On peut cependant améliorer ce résultat en prenant certaines précautions au roulage, en particulier en classant les âmes réfractaires selon leur diamètre, ce qui réduira l'influence systématique d'un facteur aléatoire.

PRECISION DES MESURES DE RESISTANCE ET SYNTHESE DES RESULTATS-

Le problème posé par la mesure de résistance est particulièrement important et nous savons par expérience que des écarts parfois gênants apparaissent entre des mesures faites sur les mêmes tubes à des postes de contrôle différents. Ceci est normal et dépend bien plus de la qualité des appareils utilisés que de la qualification des opérateurs.

Notre étude ne nous permet pas de dégager la précision des mesures de résistance effectuées à l'atelier, mais nous pouvons formuler certaines hypothèses et voir leur répercussion, compte-tenu des résultats déjà établis précédemment sur le groupement des résistances autour de leur valeur nominale après fabrication.

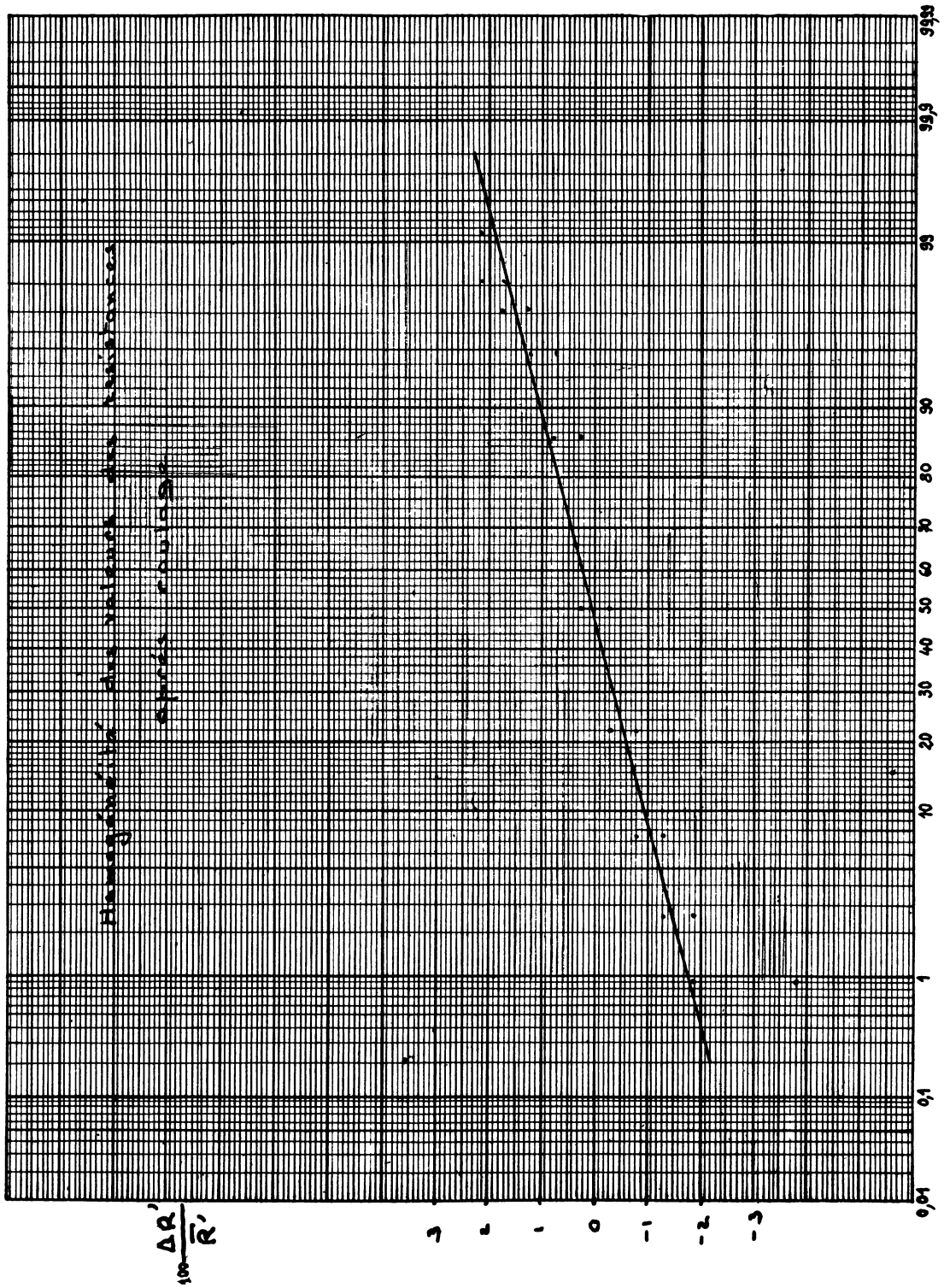
Thermogramme des valeurs des résistances
après chauffage
$100\frac{\Delta R'}{\bar{R}'}$
3
2
1
0
-1
-2
-3
0,01
0,1
1
10
20
30
40
50
60
70
80
90
99
99,9
99,99

Figure 4

1ère hypothèse

Précision de mesure du type industriel courant.

Ces mesures sont faites avec des appareils de classe 0,5 à cadran de 50 mm et distance entre traits de 1 mm utilisés sans précaution particulière.

Dans ces conditions, la répartition admise pour les mesures est donnée par le tableau suivant :

Précision en %	±1	±2	±3	±4	±5
Proportion	50%	80%	95%	99%	100%

C'est une répartition normale d'écart-type 1,5.

Dans le cadre de cette hypothèse, en introduisant en outre les dispersions dues aux opérations d'émaillage et de roulage, la population des tubes fabricués présentera une répartition sensiblement normale dont l'écart-type, par suite de l'indépendance des effets a pour valeur :

$$\sqrt{\overline{1,5}^2 + \overline{1,5}^2 + \overline{0,8}^2} = 2,27$$

c'est-à-dire que la répartition des tubes autour de leur valeur nominale sera la suivante :

Ecart en % par rapport à la valeur nominale	±1	±2	±3	±4	±5
Proportion des tubes	34%	62%	81%	92%	99%

L'intervalle de confiance sur la valeur de la variatíon moyenne de résistance due à l'émaillage étant de ±0,12 au niveau 90/100. La proportion de tube à ±2% de leur valeur nominale sera de l'ordre de 55%.

Pour améliorer cette situation, nous allons examiner l'influence d'une mesure plus précise de la valeur de la résistance au roulage.

2ème hypothèse.

En utilisant des appareils de mesure plus précis : appareils de classe 0,5 différentiels, à cadran de 125 mm permettant de lire 0,1% la valeur des résistances avec une distance entre traits de 1 mm.

Avec ce matériel, la répartition à admettre pour les mesures, est donnée par le tableau suivant :

Précision en %	0,5	1	1,5	2
Proportion	68%	95%	99%	100%

C'est une répartition normale d'écart-type 0,5.

Dans le cadre de cette seconde hypothèse, en introduisant à nouveau les dispersions propres aux opérations de fabrication , la population des tubes fabriqués présentera une répartition sensiblement normale d'écart-type.

$$\sqrt{\overline{1,5}^2 + \overline{0,8}^2 + \overline{0,5}^2} = 1,77$$

c'est-à-dire que la répartition des tubes autour de leur valeur nominale sera la suivante :

Ecart en % par rapport à la valeur nominale	1	2	3	4	5
Proportion des tubes	43%	75%	91%	97%	99,5%

L'intervalle de confiance au niveau 90/100 sur la valeur de la variation moyenne de résistance due à l'émaillage étant $\pm 0,12$, la proportion de tube à +2% de leur valeur nominale sera de l'ordre de 70%.

Cette proportion pourrait encore être augmentée en améliorant la précision de l'opération de roulage par le classement des âmes réfractaires selon leur diamètre et l'introduction d'une carte de contrôle aux mesures de résistance. La variabilité de cette opération peut être alors estimée à la moitié de ce qu'elle est actuellement.

Dans ces conditions, la distribution des tubes autour de leur valeur nominale sera la suivante :

Ecart en % par rapport à la valeur nominale	1	2	3	4	5
Proportion des tubes	46%	78%	93,5%	98,6%	100%

Le gain ainsi obtenu, par rapport au travail demandé par l'établissement d'une carte de contrôle aux mesures est insuffisant pour justifier une telle méthode de contrôle. Il parait néanmoins utile de classer les âmes réfractaires par valeurs de leur diamètre; ce travail étant facile à exécuter et sûrement payant.

En résumé :

Il est possible d'obtenir 70% des tubes fabriqués à $\pm 2\%$ de la valeur nominale à condition :

1/ d'avoir une bonne reproductibilité des opérations d'émaillage,

2/ de disposer d'un matériel de mesure plus précis que celui utilisé présentement,

3/ de classer les âmes réfractaires en deux ou trois classes selon leur diamètre.

Pour déterminer, avec le nouveau four, la nouvelle correction à apporter à la valeur ohmique des tubes au moment du roulage, il y aura lieu de reprendre une étude statistique. Cette étude devra porter sur 300 tubes environ afin d'obtenir un intervalle de confiance au niveau 95/100 ne dépassant pas $\pm 0,2$. Pour obtenir au même niveau un intervalle de $\pm 0,1$, il y aurait lieu d'analyser la variation de résistance sur 1.200 tubes.

Une analyse d'une telle importance ne peut être faite rapidement, c'est

pour cette raison que le nombre de 300 tubes est suffisant malgré la plage un peu large de l'intervalle de confiance.

En ce qui concerne le matériel de mesure, il y a tout d'abord lieu de distinguer parmi les tubes ceux dont la valeur ohmique est supérieure à 5 ohms et ceux dont la valeur est inférieure.

Pour la première catégorie, un appareil de mesure satisfaisant, est le pont de comparaison associé à un tube étalon pour chaque valeur ohmique; ce tube sera sélectionné dans la fabrication normale.

Pour la seconde catégorie, il y aura lieu de choisir un modèle du type pont double de comparaison.

Il faut également noter que la faible longueur du fil résistant utilisé pour ces tubes, rend plus malaisé le réglage précis de la valeur ohmique.

Dans ces conditions, il faut s'attendre, pour les tubes inférieurs à 5 ohms et surtout à 1 ohm, à des pourcentages plus défavorables que ceux indiqués pour l'ensemble des tubes.

RESULTATS -

A la suite de cette analyse de fabrication, l'atelier a classé les âmes réfractaires par diamètre et appliqué la correction préconisée de 3% sur la valeur de la résistance avant émaillage. Depuis cette époque, la proportion de tubes compris entre ±2% de la valeur normale atteint 80%; 97% sont compris entre ±5%.