

# REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

A. VESSEREAU

## **Contribution à l'étude des erreurs de mesure dans l'industrie papetière**

*Revue de statistique appliquée*, tome 9, n° 1 (1961), p. 53-62

[http://www.numdam.org/item?id=RSA\\_1961\\_\\_9\\_1\\_53\\_0](http://www.numdam.org/item?id=RSA_1961__9_1_53_0)

© Société française de statistique, 1961, 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/>

# CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES ERREURS DE MESURE DANS L'INDUSTRIE PAPETIÈRE

par A. VESSEREAU  
Ingénieur en Chef des Manufactures de l'État

*Cette étude a pour origine une enquête effectuée par le Centre Technique de l'Industrie des papiers, cartons et celluloses, auprès des usines productrices et des entreprises consommatrices de papier. Le Centre Technique a bien voulu nous communiquer les résultats de cette enquête, et nous autoriser à les utiliser dans une communication qui fut présentée à la 32ème session de l'Institut International de Statistique (Tokio, juin 1960), section des "Applications industrielles"; il nous autorise maintenant à présenter cette communication aux lecteurs de la Revue de Statistique Appliquée.*

*Nous sommes donc doublement reconnaissants au Centre Technique de l'Industrie des papiers, cartons et celluloses, et nous lui adressons nos sincères remerciements en la personne de son Directeur Général Monsieur J. Fauveau.*

## I - OBJET DE L'ENQUETE -

### Facteurs de variabilité et normalisation

Les facteurs de variabilité qui peuvent affecter le résultat d'une mesure sont nombreux - On distingue généralement :

a) La précision, liée à un appareil et à un mode opératoire : elle se détermine en répétant la mesure sur la même éprouvette ou sur des éprouvettes aussi identiques que possible.

b) Les écarts qui apparaissent lorsqu'on change l'opérateur, l'appareil ou les conditions opératoires.

Lorsque le résultat doit être utilisé pour le contrôle d'un lot, il faut ajouter

c) Les fluctuations dues à l'échantillonnage.

Le but de la normalisation est de fixer la précision (a) à une valeur aussi élevée que possible (stabilisation de l'écart-type à une valeur aussi faible que possible) et de réduire au maximum les écarts (b) - théoriquement de les annuler -.

La normalisation comporte :

- la définition de la caractéristique à mesurer;
- la description détaillée de l'appareil;
- la description des conditions d'exécution.

La plupart des caractéristiques mesurables du papier ont fait l'objet de normes établies par l'Association Française de Normalisation (AFNOR).

#### Enquête concernant le papier

Le Centre Technique de l'Industrie des papiers, cartons et celluloses s'est préoccupé récemment de savoir jusqu'à quel point ces normes étaient appliquées, de connaître la variabilité effective de mesures normalisées, de comparer mesures normalisées et mesures non normalisées.

L'enquête a porté sur 29 Laboratoires de Papeteries ou de Services de contrôle d'industries consommatrices de papier. Les caractéristiques étudiées ont été les suivantes :

|                    |   |   |
|--------------------|---|---|
| Caractéristiques C | { | Résistance à l'éclatement (moyenne des 2 faces de l'éprouvette)<br>Blancheur - sur chacune des faces A et B de l'éprouvette<br>Lissé - sur chacune des faces A et B de l'éprouvette<br>Résistance à la traction - sens machine et sens travers<br>Allongement de rupture - sens machine et sens travers |
|--------------------|---|---|

Elles ont été mesurées par la totalité ou une partie des 29 laboratoires sur 10 éprouvettes de chacune des 5 sortes suivantes :

|          |   |  |
|----------|---|--|
| Papier P | { | Journal 1<br>Journal 2<br>Blanc surglacé<br>Kraft 1<br>Kraft 2 |
|----------|---|--|

choisies de façon à couvrir une gamme étendue de valeurs moyennes des caractéristiques étudiées. Toutefois, pour une raison bien évidente, la blancheur et le lissé n'ont pas été mesurés sur les papiers kraft.

Toutes les éprouvettes ont été préparées par le Centre Technique de l'Industrie du papier de façon à réduire au maximum les différences d'échantillonnage entre les séries expédiées aux fins de mesure aux différents Laboratoires : découpage dans un rouleau étroit pour que seule intervienne la variabilité sens longueur, et choix strictement au hasard des différentes séries dans l'ensemble des éprouvettes découpées.

Chaque Laboratoire a été invité à faire connaître de façon détaillée les conditions d'exécution des mesures - entre autres :

- température et hygrométrie du Laboratoire (les mesures de résistance à la traction et à l'éclatement doivent s'effectuer en atmosphère conditionnée à 20° et 65% d'hygrométrie);
- type d'appareil et ses caractéristiques essentielles (par exemple: surface d'épreuve pour la résistance à l'éclatement);
- nature de la commande - manuelle ou électrique.

Tous les renseignements ont été centralisés au Centre Technique de l'Industrie du papier qui a effectué le dépouillement des résultats et exécuté la plupart des calculs statistiques.

### Analyse des résultats

On s'est aperçu que beaucoup de Laboratoires n'avaient pas appliqué la totalité des conditions imposées par les normes. On a donc séparé les Laboratoires en deux groupes suivant que les essais avaient été effectués dans des conditions normalisées ou non normalisées; ces groupes ne comprennent pas les mêmes laboratoires suivant que l'on considère telle ou telle des caractéristiques étudiées.

Chacun des  $k$  laboratoires  $L_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) d'un même groupe  $G$  a fourni  $n = 10$  mesures  $x_{ij}$  ( $j = 1, 2, \dots, 10$ ) pour une même caractéristique d'un même papier (éventuellement de la même face de ce papier) : par exemple 10 mesures de lissé sur la face référencée A du papier blanc surglacé.

On a calculé, pour chaque laboratoire  $L_i$  :

$$\text{Laboratoire } L_i \left\{ \begin{array}{l} \text{la moyenne arithmétique } \bar{x}_i = \frac{\sum_j x_{ij}}{n} \\ \text{l'écart-type } s_i = \sqrt{\frac{\sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n - 1}} \end{array} \right.$$

et pour l'ensemble des  $k$  laboratoires du groupe  $G$  :

$$\text{Groupe } G \left\{ \begin{array}{l} \text{la moyenne générale } \bar{x} = \frac{\sum_i \bar{x}_i}{k} \\ \text{l'écart-type moyen } \sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum_i s_i^2}{k}} \\ \text{l'écart-type des moyennes } \sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{k - 1}} \end{array} \right.$$

Les quantités  $s_i$  ainsi que la quantité  $\sigma_1$  peuvent être considérées comme caractérisant la précision des mesures (l'indice I signifie "intérieur" à un laboratoire).

Les questions que l'on est amené à se poser sont (entre autres) les suivantes :

*Question 1* - Les caractéristiques ( $\bar{x}$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_{\bar{x}}$ ) diffèrent-elle entre le groupe des laboratoires normalisés et le groupe des laboratoires non normalisés ?

*Question 2* - A l'intérieur d'un groupe, les écarts-types  $s_i$  des différents laboratoires constituent-ils un ensemble statistiquement homogène ? La réponse sera toujours négative, ce qui enlève une certaine valeur à l'écart-type moyen  $\sigma_1$ , que l'on conservera cependant faute de mieux.

*Question 3* - A l'intérieur d'un groupe, y a-t-il des différences significatives

entre les moyennes  $\bar{x}_i$  obtenues par les différents laboratoires (compte tenu de la valeur de l'écart-type  $\sigma_i$ ) ? La réponse sera toujours positive.

Cette constatation conduit à introduire une "variance entre laboratoires" (d'un même groupe), et l'écart-type correspondant. Celui-ci, désigné par  $\sigma_E$ , (E, initiale de "entre" laboratoires) se calcule par :

$$\sigma_E^2 = \sigma_x^2 - \frac{\sigma_i^2}{n}$$

(Il n'est pas besoin d'insister sur le fait que les écarts-types calculés sont des estimations, et que la relation précédente n'est exacte qu'en espérances mathématiques).

En réalité, l'écart-type  $\sigma_E$  dépend, non seulement des écarts entre laboratoires, mais aussi des différences qui peuvent exister entre les échantillons qui leur ont été soumis. Cette remarque amène la question suivante :

*Question 4* - Est-il possible d'éliminer l'effet "échantillon" dans les différences entre laboratoires ? Si l'on peut, même approximativement, mesurer la différence effective ou systématique entre deux laboratoires, cela permettra de corriger leurs résultats, ou d'envisager les mesures à prendre pour obtenir une meilleure concordance.

Le plan qui vient d'être tracé sera suivi dans le paragraphe suivant pour l'étude de la résistance à l'éclatement, de la blancheur et du lissé. Les résultats concernant la résistance à la traction et l'allongement de rupture n'ont pas encore été complètement dépouillés; d'ailleurs l'objet de cette note est de tracer une méthode d'analyse et de dégager quelques conclusions générales, plutôt que de donner de nombreuses valeurs numériques.

## II - ANALYSE DES RESULTATS OBTENUS

### Résistance à l'éclatement

C'est la résistance limite d'une éprouvette de papier soumise jusqu'à rupture à une pression uniformément répartie, exercée perpendiculairement à sa surface. La pression, exercée par un liquide (glycérine) est transmise par une membrane de caoutchouc en contact avec le papier durant toute la durée de l'essai.

| Sorte          | Conditions      | NBRE DE LAB. | $\bar{x}$ | $\sigma_i$ | $\sigma_x$ | $\sigma_E$ | $\frac{\sigma_i}{\bar{x}}$ | $\frac{\sigma_E}{\bar{x}}$ |
|----------------|-----------------|--------------|-----------|------------|------------|------------|----------------------------|----------------------------|
| Journal 2      | normalisées     | 14           | 0,446     | 0,032      | 0,085      | 0,084      | 6,9%                       | 18,0%                      |
|                | non normalisées | 10           | 0,502     | 0,034      | 0,060      | 0,059      | 6,8%                       | 11,8%                      |
| Journal 1      | normalisées     | 15           | 0,686     | 0,059      | 0,097      | 0,095      | 8,6%                       | 13,8%                      |
|                | non normalisées | 10           | 0,707     | 0,059      | 0,063      | 0,060      | 8,3%                       | 8,5%                       |
| Blanc surglacé | normalisées     | 15           | 0,886     | 0,054      | 0,093      | 0,091      | 6,1%                       | 10,3%                      |
|                | non normalisées | 10           | 0,897     | 0,048      | 0,066      | 0,064      | 5,4%                       | 7,1%                       |
| Kraft 1        | normalisées     | 16           | 3,711     | 0,165      | 0,211      | 0,204      | 4,4%                       | 5,5%                       |
|                | non normalisées | 11           | 3,687     | 0,171      | 0,346      | 0,342      | 4,6%                       | 9,3%                       |
| Kraft 2        | normalisées     | 16           | 4,177     | 0,205      | 0,329      | 0,322      | 4,9%                       | 7,7%                       |
|                | non normalisées | 11           | 4,113     | 0,203      | 0,413      | 0,408      | 4,9%                       | 9,9%                       |

1/ Pour aucun des papiers on ne constate de différences nettes ou systématiques entre le groupe des laboratoires normalisés et le groupe non normalisé.

2/ Dans le groupe normalisé, sur 76 écarts-types  $s_i$ , 12 dépassent les limites de confiance à 95%, calculées à partir des écarts-types moyens  $\sigma_i$ ; dans le groupe non normalisé, ce dépassement est constaté 4 fois sur 52. Sauf dans un cas, les dépassements sont peu importants, ce qui permet d'accorder une assez bonne confiance aux valeurs moyennes  $\sigma_i$ .

3/ Les différences entre laboratoires d'un même groupe sont toujours hautement significatives.

Si ces différences ont un caractère systématique, on doit constater une corrélation positive dans les moyennes obtenues pour les différentes sortes de papier. Cependant, étant données les valeurs moyennes très différentes des 5 sortes étudiées, il est indiqué d'examiner d'une part le journal 1, le journal 2 et blanc surglacé (résistances comprises entre 0,450 et 0,900), d'autre part les deux kraft (résistances comprises entre 3,7 et 4,2); ces deux séries sont d'ailleurs mesurées sur des manomètres différents.

Dans le tableau ci-dessous on a indiqué, pour chaque laboratoire normalisé l'écart (multiplié par  $10^3$ ) entre sa moyenne  $\bar{x}_i$  et la moyenne générale  $\bar{x}$  pour le papier considéré.

Moyennes ( $\bar{x}_i - \bar{x}$ )

| Labo-<br>ratoire<br>n° | Journal<br>2 | Journal<br>1 | Blanc<br>surglacé | Moyenne<br>$\lambda_1$ | Kraft<br>1 | Kraft<br>2 | Moyenne<br>$\lambda_1$ |
|------------------------|--------------|--------------|-------------------|------------------------|------------|------------|------------------------|
| 1                      | - 1          | - 36         | - 28              | - 22                   | -266       | -364       | -315                   |
| 2                      | + 39         | + 67         | + 35              | + 47                   | -276       | -251       | -263                   |
| 4                      | - 40         | - 91         | - 98              | - 76                   | + 29       | - 41       | - 6                    |
| 5                      | -            | + 91         | +117              | +104                   | + 4        | + 54       | + 29                   |
| 6                      | - 74         | -122         | -132              | -109                   | -441       | -566       | -503                   |
| 7                      | + 8          | - 26         | 0                 | - 6                    | + 9        | - 36       | - 13                   |
| 8                      | + 56         | + 63         | + 31              | + 50                   | +103       | +178       | +140                   |
| 11                     | + 84         | +110         | + 85              | + 93                   | +166       | + 79       | +122                   |
| 12                     | +174         | +159         | +160              | +164                   | +144       | -106       | + 19                   |
| 14                     | + 36         | + 51         | - 8               | + 26                   | + 66       | -126       | - 30                   |
| 16                     | + 34         | - 29         | - 60              | - 18                   | - 79       | -106       | - 92                   |
| 17                     | -108         | -186         | -170              | -155                   | - 57       | -163       | -110                   |
| 19                     | -            | -            | -                 | -                      | -196       | -176       | -186                   |
| 20                     | - 74         | - 62         | + 15              | - 40                   | +289       | +357       | +323                   |
| 21                     | -157         | - 73         | - 37              | - 89                   | +178       | +736       | +457                   |
| 24                     | + 23         | + 79         | +101              | + 68                   | +311       | +546       | +428                   |
| Moy.                   | 0            | 0            | 0                 | 0                      | 0          | 0          | 0                      |

La corrélation entre les séries de résultats apparaît nettement. Dans les dernières colonnes du tableau, la moyenne  $\lambda_1$  peut être considérée comme une estimation du facteur propre au laboratoire  $L_1$  (pour les papiers de faible résistance d'une part, de forte résistance d'autre part).

En supposant que ces nombres aient été connus, on aurait pu corriger les moyennes  $\bar{x}_i$ , les valeurs corrigées étant  $\bar{x}'_i = \bar{x}_i - \lambda_1$ . Ces valeurs figurent dans le tableau ci-après :

Moyennes corrigées  $\bar{x}'_i - \bar{x} = (\bar{x}_i - \bar{x}) - \lambda_i$

| Labo-<br>ratoire<br>n° | Journal<br>2 | Journal<br>1 | Blanc<br>surglacé | MOYENNE | Kraft<br>1 | Kraft<br>2 | MOYENNE |
|------------------------|--------------|--------------|-------------------|---------|------------|------------|---------|
| 1                      | +21          | -14          | - 6               | 0       | + 49       | - 49       | 0       |
| 2                      | - 8          | +20          | -12               | 0       | - 13       | + 12       | 0       |
| 3                      | +36          | -15          | -22               | 0       | + 35       | - 35       | 0       |
| 5                      | -            | -13          | +13               | 0       | - 25       | + 25       | 0       |
| 6                      | +35          | -13          | -23               | 0       | + 62       | - 63       | 0       |
| 7                      | +14          | -20          | + 6               | 0       | + 22       | - 23       | 0       |
| 8                      | + 6          | +13          | -19               | 0       | - 37       | + 38       | 0       |
| 11                     | - 9          | +17          | - 8               | 0       | + 44       | - 43       | 0       |
| 12                     | +10          | - 5          | - 4               | 0       | +125       | -125       | 0       |
| 14                     | +10          | +25          | -34               | 0       | + 96       | - 96       | 0       |
| 16                     | +52          | -11          | -42               | 0       | + 13       | - 14       | 0       |
| 17                     | +47          | -31          | -15               | 0       | + 53       | - 53       | 0       |
| 19                     | -            | -            | -                 | 0       | - 10       | + 10       | 0       |
| 20                     | -34          | -22          | +55               | 0       | - 34       | + 34       | 0       |
| 21                     | -68          | +16          | +52               | 0       | -279       | +279       | 0       |
| 24                     | -45          | +11          | +33               | 0       | -117       | +118       | 0       |
| Moy.                   | 0            | 0            | 0                 | 0       | 0          | 0          | 0       |

Les  $\bar{x}'_i$  sont beaucoup moins dispersés que les  $\bar{x}_i$ . Leur écart-type  $\sigma_{\bar{x}'}$  est indiqué ci-dessous, et rapproché de l'écart-type  $\sigma_{\bar{x}}$  (dans l'unité initiale).

| Sorte de papier | $\sigma_{\bar{x}'}$ | $\sigma_{\bar{x}}$ |
|-----------------|---------------------|--------------------|
| Journal 2       | 0,085               | 0,053              |
| Journal 1       | 0,097               | 0,018              |
| Blanc surglacé  | 0,093               | 0,029              |
| Kraft 1         | 0,211               | 0,094              |
| Kraft 2         | 0,329               | 0,094              |

Le tableau ci-après résume l'analyse des résultats pour le groupe des laboratoires normalisés (avec  $\sigma_l^2 = \sigma_{\bar{x}}^2 - \frac{\sigma_l^2}{n}$ , valeur prise égale à 0 lorsque le calcul donne une valeur négative).

|                   | Valeurs brutes |            |                    |                     | Valeurs corrigées   |            | Coefficient de variation   |  |  |
|-------------------|----------------|------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------|----------------------------|--|--|
|                   | $\bar{x}$      | $\sigma_l$ | $\sigma_{\bar{x}}$ | $\sigma_{\bar{x}'}$ | $\sigma_{\bar{x}'}$ | $\sigma_l$ | $\frac{\sigma_l}{\bar{x}}$ | brut<br>$\frac{\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}}$ | corrigé<br>$\frac{\sigma_{\bar{x}'}}{\bar{x}}$ |
| Journal 2         | 0,466          | 0,032      | 0,085              | 0,084               | 0,035               | 0,033      | 6,9%                       | 18,0%                                      | 7,1%   |
| Journal 1         | 0,686          | 0,059      | 0,097              | 0,095               | 0,018               | 0          | 8,6%                       | 13,8%                                      | 0  |
| Blanc<br>surglacé | 0,886          | 0,054      | 0,093              | 0,091               | 0,029               | 0,023      | 6,1%                       | 10,3%                                      | 2,6%   |
| Kraft 1           | 3,711          | 0,165      | 0,211              | 0,204               | 0,094               | 0,078      | 4,4%                       | 5,5%                                       | 2,1%   |
| Kraft 2           | 4,177          | 0,205      | 0,329              | 0,322               | 0,094               | 0,068      | 4,9%                       | 7,7%                                       | 1,6%   |

Quel que soit le caractère approximatif, et même discutable de ces calculs, il apparaît bien qu'un étalonnage soigné des appareils devrait permettre de réduire, de façon importante, les différences entre laboratoires.

## Blancheur

Le degré de blancheur est le rapport exprimé en pourcentage du facteur de réflexion diffuse du papier au facteur de réflexion diffuse de l'oxyde de magnésium pur, tous deux mesurés dans la portion violette et bleue du spectre, pour une zone de longueur d'onde aussi étroite que possible, centrée sur  $457 \text{ m}\mu \pm 2,5 \text{ m}\mu$ .

| Sorte de papier          | Conditions      | Nbre de lab. | $\bar{x}$ | $\sigma_1$ | $\sigma_{\bar{x}}$ | $\sigma_E$ | $\frac{\sigma_1}{\bar{x}}$ | $\frac{\sigma_E}{\bar{x}}$ |
|--------------------------|-----------------|--------------|-----------|------------|--------------------|------------|----------------------------|----------------------------|
| Journal 1-Face A         | normalisées     | 13           | 54,2      | 0,33       | 0,95               | 0,94       | 0,6%                       | 1,7%                       |
|                          | non normalisées | 8            | 54,6      | 0,50       | 1,42               | 1,41       | 0,9%                       | 2,6%                       |
| Journal 1-Face B         | normalisées     | 13           | 55,8      | 0,28       | 0,86               | 0,85       | 0,5%                       | 1,5%                       |
|                          | non normalisées | 8            | 56,2      | 0,43       | 1,45               | 1,44       | 0,8%                       | 2,6%                       |
| Journal 2-Face A         | normalisées     | 13           | 54,8      | 0,30       | 1,10               | 1,09       | 0,5%                       | 2,0%                       |
|                          | non normalisées | 8            | 55,2      | 1,08       | 1,96               | 1,93       | 2,0%                       | 3,5%                       |
| Journal 2-Face B         | normalisées     | 13           | 56,6      | 0,31       | 1,20               | 1,19       | 0,5%                       | 2,1%                       |
|                          | non normalisées | 8            | 57,0      | 1,21       | 1,89               | 1,85       | 2,1%                       | 3,2%                       |
| Blanc surglacé<br>Face A | normalisées     | 13           | 76,3      | 0,42       | 0,99               | 0,98       | 0,5%                       | 1,3%                       |
|                          | non normalisées | 9            | 76,4      | 0,39       | 2,42               | 2,41       | 0,5%                       | 3,2%                       |
| Blanc surglacé<br>Face B | normalisées     | 13           | 75,7      | 0,30       | 0,34               | 0,93       | 0,4%                       | 1,2%                       |
|                          | non normalisées | 9            | 75,9      | 0,41       | 2,55               | 2,54       | 0,5%                       | 3,3%                       |

1/ Le groupe des laboratoires non normalisés donne des résultats moyens très légèrement supérieurs au groupe normalisé, mais surtout il accuse une variabilité ( $\sigma_1$  et  $\sigma_{\bar{x}}$ ) systématiquement plus élevée.

2/ Dans le groupe normalisé, sur 78 écarts-types  $s_1$ , 33 dépassent les limites de confiance à 95% calculées à partir des écarts-types moyens  $\sigma_1$ ; dans le groupe non normalisé, ce dépassement est constaté 34 fois sur 50. - Les écarts-types  $s_1$  des différents laboratoires sont donc loin de constituer des ensembles statistiquement homogènes.

3/ Les différences entre laboratoires d'un même groupe sont toujours hautement significatives. Il est vraisemblable que ces différences ont leur origine dans les étalons de blancheur utilisés pour la mesure.

4/ L'analyse des résultats des laboratoires normalisés effectuée comme au § "résistance à l'éclatement" conduit au tableau résumé suivant. Les facteurs de correction  $\lambda_1$  utilisés pour le calcul des valeurs corrigées  $\bar{x}_1$  ont été obtenus à partir des deux faces de chacun des trois papiers (moyenne de 6 écarts).

Dans le Journal 2, l'effet de correction apparaît comme moins important que pour les deux autres papiers; en fait, l'examen détaillé des mesures montre que l'un des laboratoires a très probablement interverti les deux faces du Journal 2.

Sous cette réserve, la conclusion est la même que pour la résistance à l'éclatement.



|                  |           |            | Valeurs brutes     |            | Valeurs corrigées  |            | Coefficient de variation   |                                 |                                    |
|------------------|-----------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
|                  | $\bar{x}$ | $\sigma_1$ | $\sigma_{\bar{x}}$ | $\sigma_E$ | $\sigma_{\bar{x}}$ | $\sigma_L$ | $\frac{\sigma_1}{\bar{x}}$ | brut $\frac{\sigma_E}{\bar{x}}$ | corrigé $\frac{\sigma_L}{\bar{x}}$ |
| Journal 1-Face A | 54,2      | 0,33       | 0,95               | 0,94       | 0,39               | 0,38       | 0,6%                       | 1,7%                            | 0,7%                               |
| B                | 55,8      | 0,28       | 0,86               | 0,85       | 0,31               | 0,30       | 0,5%                       | 1,5%                            | 0,5%                               |
| Journal 2-Face A | 54,8      | 0,30       | 1,10               | 1,09       | 0,52               | 0,51       | 0,5%                       | 2,0%                            | 0,9%                               |
| B                | 56,6      | 0,31       | 1,20               | 1,19       | 0,70               | 0,69       | 0,5%                       | 2,1%                            | 1,2%                               |
| Blanc surglacé   |           |            |                    |            |                    |            |                            |                                 |                                    |
| Face A           | 73,3      | 0,42       | 0,99               | 0,98       | 0,42               | 0,40       | 0,5%                       | 1,3%                            | 0,5%                               |
| B                | 75,7      | 0,30       | 0,94               | 0,93       | 0,41               | 0,40       | 0,4%                       | 1,2%                            | 0,5%                               |

### Lissé

Pour mesurer cette caractéristique, on appuie l'éprouvette contre une surface parfaitement polie et indéformable, sous pression déterminée, et l'on fait circuler de l'air entre la surface de l'éprouvette et la surface polie. La résistance opposée au passage de l'air entre l'éprouvette et la surface polie est d'autant plus grande que le papier est plus "lissé". On évalue cette résistance en mesurant, en secondes, le temps nécessaire pour l'écoulement d'un volume d'air déterminé sous une différence de pression déterminée.

| Sorte de papier          | Conditions      | NBRE DE LAB. | $\bar{x}$ | $\sigma_1$ | $\sigma_{\bar{x}}$ | $\sigma_E$ | $\frac{\sigma_1}{\bar{x}}$ | $\frac{\sigma_E}{\bar{x}}$ |
|--------------------------|-----------------|--------------|-----------|------------|--------------------|------------|----------------------------|----------------------------|
| Journal 1-Face A         | normalisées     | 7            | 23,1      | 2,86       | 2,52               | 2,35       | 12,4%                      | 10,2%                      |
|                          | non normalisées | 7            | 23,2      | 4,15       | 8,06               | 7,95       | 17,9%                      | 34,3%                      |
| Journal 1-Face B         | normalisées     | 7            | 17,9      | 2,90       | 1,39               | 1,04       | 16,2%                      | 5,8%                       |
|                          | non normalisées | 7            | 18,9      | 3,16       | 5,22               | 5,12       | 16,7%                      | 27,1%                      |
| Journal 2-Face A         | normalisées     | 7            | 34,7      | 3,80       | 1,82               | 1,37       | 11,0%                      | 4,0%                       |
|                          | non normalisées | 7            | 30,2      | 5,34       | 7,42               | 7,22       | 17,7%                      | 23,9%                      |
| Journal 2-Face B         | normalisées     | 7            | 32,1      | 3,63       | 1,68               | 1,22       | 11,3%                      | 3,8%                       |
|                          | non normalisées | 7            | 27,1      | 3,66       | 6,42               | 6,32       | 13,5%                      | 23,3%                      |
| Blanc surglacé<br>Face A | normalisées     | 7            | 307,1     | 27,34      | 36,09              | 35,03      | 8,9%                       | 11,4%                      |
|                          | non normalisées | 7            | 369,5     | 59,40      | 91,00              | 89,10      | 16,1%                      | 24,1%                      |
| Blanc surglacé<br>Face B | normalisées     | 7            | 265,4     | 21,62      | 27,73              | 26,87      | 8,2%                       | 10,1%                      |
|                          | non normalisées | 7            | 319,3     | 34,97      | 68,00              | 67,10      | 10,9%                      | 21,0%                      |

1/ Le groupe des laboratoires non normalisés donne, pour les valeurs élevées du lissé, des résultats moyens nettement différents du groupe normalisé (écarts atteignant 20%). La variabilité des résultats ( $\sigma_1$  et  $\sigma_{\bar{x}}$ ) y est aussi beaucoup plus élevée.

2/ Dans le groupe des laboratoires normalisés sur 42 écarts-types  $s_1$ , 7 dépassent les limites de confiance à 95% calculées à partir des écarts-types moyens  $\sigma_1$ , les dépassements étant d'ailleurs peu importants; dans le groupe non normalisé, le dépassement, parfois très important, est constaté 13 fois sur 42.

3/ Les différences entre laboratoires d'un même groupe sont toujours hautement significatives.

4/ L'analyse des résultats des laboratoires normalisés, effectuée comme aux deux paragraphes précédents, conduit au tableau résumé suivant. On a adopté des facteurs de correction différents pour le Journal 1 et le Journal 2 d'une part ( $\lambda_1$  résultant de la moyenne de 4 écarts) et le blanc surglacé d'autre part ( $\lambda_1$  résultant de la moyenne de deux écarts).

|                  |           |            | Valeurs brutes     |                    | Valeurs corrigées  |            | Coefficient de variation   |  |                                       |
|------------------|-----------|------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|----------------------------|--|---------------------------------------|
|                  | $\bar{x}$ | $\sigma_1$ | $\sigma_{\bar{x}}$ | $\sigma_{\bar{x}}$ | $\sigma_{\bar{x}}$ | $\sigma_1$ | $\frac{\sigma_1}{\bar{x}}$ | brut<br>$\frac{\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}}$ | corrigé<br>$\frac{\sigma_1}{\bar{x}}$ |
| Journal 1-Face A | 23,1      | 2,86       | 2,52               | 2,35               | 1,63               | 1,35       | 12,4%                      | 10,2%                                      | 5,8%                                  |
| Journal 1-Face B | 17,9      | 2,90       | 1,39               | 1,04               | 1,06               | 0,52       | 16,2%                      | 5,8%                                       | 2,9%                                  |
| Journal 2-Face A | 34,7      | 3,80       | 1,82               | 1,37               | 0,90               | 0          | 11,0%                      | 4,0%                                       | 0                                     |
| Journal 2-Face B | 32,1      | 3,63       | 1,68               | 1,22               | 1,39               | 0,78       | 11,3%                      | 3,8%                                       | 2,4%                                  |
| Blanc surglacé   |           |            |                    |                    |                    |            |                            |  |                                       |
| Face A           | 307,1     | 27,34      | 36,09              | 35,03              | 6,26               | 0          | 8,9%                       | 11,4%                                      | 0                                     |
| Face B           | 265,4     | 21,62      | 27,73              | 26,87              | 6,26               | 0          | 8,2%                       | 10,1%                                      | 0                                     |

Les conclusions sont les mêmes que pour les deux caractéristiques précédemment étudiées.

### III - CONCLUSIONS GENERALES

Le tableau ci-dessous résume la variabilité des résultats, telle qu'elle ressort de l'étude précédente.

| Caractéristique mesurée   | Conditions      | Coefficient de variation intérieur à laboratoire<br>$\frac{\sigma_1}{\bar{x}}$ | Coefficient de variation entre laboratoires |                                       |
|---------------------------|-----------------|--|---|---------------------------------------|
|                           |                 |  | brut<br>$\frac{\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}}$  | corrigé<br>$\frac{\sigma_1}{\bar{x}}$ |
| Résistance à l'éclatement | normalisées     | 4,4%- 8,6%   | 5,5%-18,0%                                  | 0% -7,1%                              |
|                           | non normalisées | 4,6%- 8,3%   | 7,1%-11,8%                                  | - - -                                 |
| Blancheur                 | normalisées     | 0,4%- 0,6%   | 1,2%- 2,1%                                  | 0,5%-1,2%                             |
|                           | non normalisées | 0,5%- 2,1%   | 2,6%- 3,5%                                  | - - -                                 |
| Lissé                     | normalisées     | 8,2%-16,2%   | 3,8%-11,4%                                  | 0% -5,8%                              |
|                           | non normalisées | 10,9%-17,9%  | 21,0%-34,3%                                 | - - -                                 |

On peut ajouter les commentaires généraux suivants :

1/ La variabilité "intérieure à un laboratoire" est, pour les laboratoires travaillant en conditions normalisées, inférieure ou égale à la variabilité correspondante des laboratoires non normalisés.

2/ Il en est de même (de façon très importante pour le lissé), en ce qui concerne la variabilité "entre laboratoires"; il y a cependant quelques constatations contraires pour la résistance à l'éclatement.

3/ La variabilité "entre laboratoires" reste importante pour les laboratoires normalisés. Celle-ci présente un caractère systématique, l'écart entre deux laboratoires étant généralement du même sens pour les différentes sortes de papiers étudiés.

4/ Cette variabilité pourrait être diminuée par une application plus stricte des règles normalisées, par une étude plus détaillée des conditions opératoires révélant l'origine des écarts constatés, ou encore par l'application de corrections propres à chaque laboratoire. Cet ajustement semble tout à fait indispensable pour deux laboratoires agissant, l'un au titre du vendeur, l'autre au titre de l'acheteur.

D'une façon générale, on doit conclure que la normalisation contribue à régulariser la qualité des mesures, mais qu'elle doit être complétée par des vérifications périodiques à l'initiative, soit d'un organisme professionnel central, soit des usagers eux-mêmes.