
Norme internationale



3086

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

Minerais de fer — Méthodes expérimentales de contrôle de l'erreur systématique d'échantillonnage

Iron ores — Experimental methods for checking the bias of sampling

Deuxième édition — 1986-12-15

CDU 553.31 : 620.113

Réf. n° : ISO 3086-1986 (F)

Descripteurs : minéral, minerais de fer, audit de qualité, contrôle statistique de qualité, échantillonnage, règle de calcul.

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est normalement confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO. Les Normes internationales sont approuvées conformément aux procédures de l'ISO qui requièrent l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 3086 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 102, *Minerais de fer*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 3086-1974), dont elle constitue une révision technique.

L'attention des utilisateurs est attirée sur le fait que toutes les Normes internationales sont de temps en temps soumises à révision et que toute référence faite à une autre Norme internationale dans le présent document implique qu'il s'agit, sauf indication contraire, de la dernière édition.

Minerais de fer — Méthodes expérimentales de contrôle de l'erreur systématique d'échantillonnage

1 Objet et domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les méthodes expérimentales de contrôle de l'erreur systématique d'échantillonnage des minerais de fer effectué conformément aux méthodes décrites dans l'ISO 3081 et l'ISO 3082.

NOTE — Ces méthodes peuvent aussi être appliquées au contrôle de l'erreur systématique de la préparation de l'échantillon qui est effectué suivant les méthodes décrites dans l'ISO 3082 ou l'ISO 3083.

2 Références

ISO 3081, *Minerais de fer — Échantillonnage par prélèvements — Méthode manuelle.*

ISO 3082, *Minerais de fer — Échantillonnage par prélèvements et préparation des échantillons — Méthode mécanique.*¹⁾

ISO 3083, *Minerais de fer — Préparation des échantillons — Méthode manuelle.*

3 Généralités

3.1 Dans les méthodes expérimentales données ici, les résultats obtenus à partir d'une méthode à contrôler (appelée « méthode B ») sont comparés aux résultats d'une méthode de

référence (appelée « méthode A ») considérée comme donnant des résultats pratiquement sans erreur du point de vue technique et empirique.

3.2 Dans le cas où il n'y a pas de différence significative, du point de vue statistique, entre les résultats obtenus par la méthode B et la méthode A, la méthode B peut être alors adoptée comme méthode de routine, sous réserve d'un accord entre les parties concernées.

NOTE — Dans la présente Norme internationale, l'erreur systématique est déterminée par application du test t (unilatéral) à un seuil de signification de 5 %, en déterminant si la différence entre les résultats de la méthode A et de la méthode B est due à des variations aléatoires ou si les résultats sont statistiquement différents.

3.3 Le nombre de livraisons, ou de lots, ne doit pas être inférieur à 20. Le nombre d'essais requis dépend de l'écart-type des différences calculé sur 20 essais et de la valeur de l'erreur systématique, δ , à déterminer suivant la méthode.

NOTE — La valeur de l'erreur systématique, δ , à déterminer doit être convenue par accord entre les parties concernées, en tenant compte, du point de vue économique et du point de vue technique, des fidélités diverses des méthodes retenues pour l'expérimentation, c'est-à-dire des fidélités de l'échantillonnage, de la division de l'échantillon et du mesurage. À titre indicatif et sauf accord contraire, on peut adopter comme valeur d'erreur systématique la moitié de la fidélité globale, β_{SDM} .

3.4 Les critères de qualité peuvent être la teneur en fer total, l'humidité, la distribution granulométrique et les propriétés physiques.

1) Actuellement au stade de projet.

3.5 La méthode d'analyse des résultats expérimentaux décrite ici peut également être appliquée pour contrôler une éventuelle différence significative dans les résultats obtenus à partir d'échantillons d'une livraison prélevés à différents endroits, par exemple au point de chargement et au point de déchargement.

4 Méthodes d'échantillonnage et de préparation des échantillons

4.1 Échantillonnage

La méthode de référence (méthode A) pour le contrôle de l'erreur systématique d'échantillonnage est la méthode sur bande transporteuse arrêtée. La méthode à contrôler (méthode B) doit être comparée à cette méthode de référence sur le même matériau.

Des exemples d'expérimentation sont donnés en 4.1.1 à 4.1.4.

4.1.1 Exemple 1: Échantillonnage sur convoyeurs (voir ISO 3081)

Méthode A: Effectuer chaque prélèvement sur le convoyeur arrêté, à un endroit spécifié, sur toute la largeur et l'épaisseur de la couche de minerai, sur une longueur de bande supérieure à trois fois la dimension granulométrique maximale ou à la largeur de la plus petite pelle de prélèvement (60 mm), selon la valeur la plus élevée parmi celles-ci.

NOTE — Afin d'appliquer cette méthode, il est indispensable de disposer d'une longueur de bande transporteuse accessible.

Méthode B: Effectuer chaque prélèvement en un point à chaque fois choisi au hasard dans le courant de minerai.

4.1.2 Exemple 2: Échantillonnage mécanique (voir ISO 3082)

Méthode A: Effectuer chaque prélèvement conformément à la méthode A de 4.1.1.

Méthode B: Effectuer chaque prélèvement sur le convoyeur en mouvement au moyen d'un échantillonneur mécanique.

4.1.3 Exemple 3: Échantillonnage sur wagons (voir ISO 3081)

Méthode A: Effectuer chaque prélèvement conformément à la méthode A de 4.1.1.

Méthode B:

a) Effectuer chaque prélèvement, à l'aide d'une sonde d'échantillonnage ou d'une foreuse, sur la surface supérieure du minerai chargé sur le wagon, ou

b) Effectuer chaque prélèvement au hasard sur la surface de minerai nouvellement mise à jour pendant le chargement ou le déchargement du wagon.

4.1.4 Exemple 4: Échantillonnage sur bateaux (voir ISO 3081)

Méthode A: Effectuer chaque prélèvement conformément à la méthode A de 4.1.1.

Méthode B: Effectuer chaque prélèvement conformément à la procédure donnée dans l'ISO 3081.

4.2 Préparation des échantillons

Les méthodes de constitution d'une paire d'échantillons globaux, de préparation des échantillons et d'essai doivent être telles qu'indiquées en 4.2.1 à 4.2.3.

4.2.1 Les prélèvements effectués sur une livraison, conformément à la méthode A et à la méthode B, sont regroupés de manière à constituer une paire d'échantillons globaux A et B.

4.2.2 Ces échantillons globaux A et B sont soumis séparément, mais de la même manière, à la préparation des échantillons spécifiée dans l'ISO 3082 ou l'ISO 3083 et aux essais spécifiés dans les Normes internationales correspondantes: on obtient ainsi une paire de mesures.

4.2.3 Les modalités définies ci-dessus sont exécutées sur 20 livraisons ou lots ou davantage (voir 3.3).

NOTE — Lorsque les prélèvements correspondant aux méthodes A et B peuvent être effectués en des endroits voisins du minerai, il est recommandé de procéder à la préparation des échantillons et aux essais sur chaque prélèvement pris individuellement. On peut ainsi en profiter pour comparer 20 paires élémentaires de mesures ou plus pour vérifier l'erreur systématique d'échantillonnage. Cette comparaison devra être faite sur des paires de prélèvements provenant de plusieurs livraisons et renfermant de préférence un minerai du même type. Cependant, il n'est pas permis de réunir un nombre de paires de résultats provenant à la fois de prélèvements élémentaires et d'échantillons globaux. Il ne peut y avoir que des paires provenant de prélèvements ou des paires provenant d'échantillons globaux.

5 Analyse des résultats expérimentaux

5.1 Détermination de l'écart-type des différences

5.1.1 Désigner les mesures individuelles obtenues conformément aux méthodes A et B par x_{Ai} , x_{Bi} , respectivement.

5.1.2 Calculer la différence, d_i , entre x_{Ai} et x_{Bi} , à l'aide de l'équation

$$d_i = x_{Bi} - x_{Ai} \quad i = 1, 2, \dots, k \quad \dots (1)$$

où k est le nombre de paires de mesures.

5.1.3 Calculer la moyenne des différences, \bar{d} , avec une décimale de plus que pour les mesures elles-mêmes :

$$\bar{d} = \frac{1}{k} \sum d_i \quad \dots (2)$$

5.1.4 Calculer la somme des carrés, SS_d , et l'écart-type, s_d , de la différence :

$$SS_d = \sum d_i^2 - \frac{1}{k} \left(\sum d_i \right)^2 \quad \dots (3)$$

$$s_d = \sqrt{SS_d / (k - 1)} \quad \dots (4)$$

5.2 Détermination du nombre de livraisons ou de lots, n_r , requis pour l'expérimentation

Calculer la valeur de la différence normalisée, D , à l'aide de l'équation

$$D = \frac{\delta}{s_d} \quad \dots (5)$$

Puis déterminer, à partir du tableau 1, la valeur de n_r correspondant à la valeur de D .

Si $n_r < 20$, procéder de la manière indiquée en 5.3. Si $n_r > 20$, continuer l'expérimentation sur $(n_r - 20)$ livraisons ou lots.

Répéter le même mode opératoire jusqu'à ce que le nombre de paires de données soit inférieur ou égal à la valeur de n_r spécifiée dans le tableau 1.

Tableau 1 — Nombre requis de paires de données, n_r , déterminé en fonction de la valeur de la différence normalisée, D

| Étendue de la différence normalisée, D | Nombre requis de paires de données, n_r | Étendue de la différence normalisée, D | Nombre requis de paires de données, n_r |
|--|---|--|---|
| 0,30 < D < 0,35 | 122 | 1,1 < D < 1,2 | 11 |
| 0,35 < D < 0,40 | 90 | 1,2 < D < 1,3 | 10 |
| 0,40 < D < 0,45 | 70 | 1,3 < D < 1,4 | 8 |
| 0,45 < D < 0,50 | 55 | 1,4 < D < 1,5 | 8 |
| 0,50 < D < 0,55 | 45 | 1,5 < D < 1,6 | 7 |
| 0,55 < D < 0,60 | 38 | 1,6 < D < 1,7 | 6 |
| 0,60 < D < 0,65 | 32 | 1,7 < D < 1,8 | 6 |
| 0,65 < D < 0,70 | 28 | 1,8 < D < 1,9 | 6 |
| 0,70 < D < 0,75 | 24 | 1,9 < D < 2,0 | 5 |
| 0,75 < D < 0,80 | 21 | 2,0 < D | 5 |
| 0,80 < D < 0,85 | 19 | | |
| 0,85 < D < 0,90 | 17 | | |
| 0,90 < D < 0,95 | 15 | | |
| 0,95 < D < 1,00 | 14 | | |
| 1,00 < D < 1,10 | 13 | | |

NOTE — Le tableau 1 est extrait de DAVIES, O.L. (Ed.) *The Design and Analysis of Industrial Experiments*, 1956, p. 606-607. Il reprend les valeurs de n_r pour D à $\alpha = 0,05$ et $\beta = 0,05$, où α est le risque de supposer une différence statistique là où il n'y en a pas (c'est-à-dire le niveau de confiance du test t unilatéral), et β est le risque de ne pas supposer de différence statistique lorsqu'il y a une erreur systématique δ .

5.3 Essai statistique

Calculer la valeur de t_o à trois décimales près, en arrondissant au plus près la quatrième décimale :

$$t_o = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{k}} \quad \dots (6)$$

Si la valeur absolue de t_o est inférieure à la valeur de t correspondant à k comme indiqué dans le tableau 2, il faut en conclure que la différence n'est pas significative et que la méthode B peut être adoptée comme méthode de routine.

Tableau 2 — Valeur de t au niveau de signification de 5 % (test unilatéral)

| Nombre de paires de mesures k | t | Nombre de paires de mesures k | t |
|---------------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| 20 | 1,729 | 40 | 1,685 |
| 21 | 1,725 | 41 | 1,684 |
| 22 | 1,721 | 42 | 1,683 |
| 23 | 1,717 | 43 | 1,682 |
| 24 | 1,714 | 44 | 1,681 |
| 25 | 1,711 | 45 | 1,680 |
| 26 | 1,708 | 46 | 1,679 |
| 27 | 1,706 | 47 | 1,679 |
| 28 | 1,703 | 48 | 1,678 |
| 29 | 1,701 | 49 | 1,677 |
| 30 | 1,699 | 50 | 1,677 |
| 31 | 1,697 | 51 | 1,676 |
| 32 | 1,696 | 61 | 1,671 |
| 33 | 1,694 | 81 | 1,664 |
| 34 | 1,692 | 121 | 1,658 |
| 35 | 1,691 | 241 | 1,651 |
| 36 | 1,690 | ∞ | 1,645 |
| 37 | 1,688 | | |
| 38 | 1,687 | | |
| 39 | 1,686 | | |

NOTE — Le tableau 2 est extrait de JSA *Statistical Tables and Formulas with Computer Applications*, Tokyo, Japanese Standards Association, 1972.

6 Exemples numériques d'expérimentation

6.1 Exemple numérique 1
(δ : 0,2 % de la teneur en fer total)

L'exemple numérique donné dans le tableau 3 est le résultat d'une expérimentation menée sur un échantillonneur mécanique, conformément à 4.1.2.

L'erreur systématique à déterminer par expérimentation est de 0,2 % de la teneur en fer total par accord entre les parties concernées.

Tableau 3 — Exemple numérique 1 (pour le minerai A)

| Livraison n° | Teneur en fer total, % | | $d_i = x_{Bi} - x_{Ai}$ | d_i^2 |
|--------------|------------------------|----------|-------------------------|---------|
| | x_{Bi} | x_{Ai} | | |
| 1 | 63,54 | 63,34 | 0,20 | 0,040 0 |
| 2 | 63,94 | 63,86 | 0,08 | 0,006 4 |
| 3 | 64,02 | 63,76 | 0,26 | 0,067 6 |
| 4 | 63,90 | 64,44 | -0,54 | 0,291 6 |
| 5 | 63,73 | 64,03 | -0,30 | 0,090 0 |
| 6 | 63,72 | 63,62 | 0,10 | 0,010 0 |
| 7 | 63,51 | 63,45 | 0,06 | 0,003 6 |
| 8 | 63,91 | 63,87 | 0,04 | 0,001 6 |
| 9 | 63,96 | 64,40 | -0,44 | 0,193 6 |
| 10 | 63,84 | 63,76 | 0,08 | 0,006 4 |
| 11 | 63,72 | 63,76 | -0,04 | 0,001 6 |
| 12 | 63,64 | 63,88 | -0,24 | 0,057 6 |
| 13 | 63,97 | 64,11 | -0,14 | 0,019 6 |
| 14 | 63,98 | 63,90 | 0,08 | 0,006 4 |
| 15 | 63,58 | 63,10 | 0,48 | 0,230 4 |
| 16 | 63,74 | 64,24 | -0,50 | 0,250 0 |
| 17 | 63,86 | 64,26 | -0,40 | 0,160 0 |
| 18 | 63,95 | 63,81 | 0,14 | 0,019 6 |
| 19 | 63,69 | 64,17 | -0,48 | 0,230 4 |
| 20 | 63,80 | 63,94 | -0,14 | 0,019 6 |
| Somme | | | -1,70 | 1,706 0 |

Tableau 4 — Exemple numérique 2

| Livraison n° | Nom du minerai de fer | Teneur en fer total, % | | $d_i = x_{Bi} - x_{Ai}$ | d_i^2 |
|--------------|-----------------------|------------------------|----------|-------------------------|---------|
| | | x_{Bi} | x_{Ai} | | |
| 1 | F | 59,20 | 59,00 | 0,20 | 0,040 0 |
| 2 | E | 59,75 | 59,67 | 0,08 | 0,006 4 |
| 3 | C | 61,80 | 61,74 | 0,06 | 0,003 6 |
| 4 | B | 63,02 | 63,16 | -0,14 | 0,019 6 |
| 5 | B | 62,96 | 63,06 | -0,10 | 0,010 0 |
| 6 | E | 60,02 | 59,92 | 0,10 | 0,010 0 |
| 7 | B | 63,17 | 63,11 | 0,06 | 0,003 6 |
| 8 | A | 63,91 | 63,87 | 0,04 | 0,001 6 |
| 9 | E | 59,98 | 60,02 | -0,04 | 0,001 6 |
| 10 | D | 61,21 | 61,13 | 0,08 | 0,006 4 |
| 11 | D | 61,26 | 61,30 | -0,04 | 0,001 6 |
| 12 | E | 58,98 | 59,02 | -0,04 | 0,001 6 |
| 13 | F | 58,95 | 59,05 | -0,10 | 0,010 0 |
| 14 | C | 61,97 | 61,89 | 0,08 | 0,006 4 |
| 15 | F | 59,06 | 58,88 | 0,18 | 0,032 4 |
| 16 | A | 63,74 | 63,75 | -0,01 | 0,000 1 |
| 17 | B | 62,74 | 62,80 | -0,06 | 0,003 6 |
| 18 | E | 60,47 | 60,42 | 0,05 | 0,002 5 |
| 19 | B | 62,55 | 62,62 | -0,07 | 0,004 9 |
| 20 | A | 63,80 | 63,83 | -0,03 | 0,000 9 |
| Somme | | | +0,30 | 0,166 8 | |

$$\bar{d} = \frac{1}{k} \sum d_i = -1,70/20 = -0,085$$

$$SS_d = \sum d_i^2 - \frac{1}{k} \left(\sum d_i \right)^2 = 1,706 0 - \frac{(-1,70)^2}{20} = 1,561 5$$

$$s_d = \sqrt{SS_d/(k-1)} = \sqrt{1,561 6/19} = 0,286 7 \approx 0,287$$

Par conséquent

$$D = \frac{\delta}{s_d} = \frac{0,2}{0,287} = 0,696$$

Le tableau 1 donne $n_r = 28$.

Une autre série de huit expérimentations doit donc être entreprise pour procéder au test de signification sur un total de 28 séries de données.

6.2 Exemple numérique 2 (δ : 0,1 % de la teneur en fer total)

L'exemple numérique donné dans le tableau 4 est le résultat d'une expérimentation menée sur un échantillonneur mécanique, conformément à 4.1.2.

L'erreur systématique à déterminer par expérimentation est de 0,1 % de la teneur en fer total par accord entre les parties concernées.

$$\bar{d} = \frac{1}{k} \sum d_i = +0,30/20 = +0,015$$

$$SS_d = \sum d_i^2 - \frac{1}{k} \left(\sum d_i \right)^2 = 0,166 8 - \frac{(0,30)^2}{20} = 0,162 3$$

$$s_d = \sqrt{SS_d/(k-1)} = \sqrt{0,162 3/19} = \sqrt{0,008 5} = 0,092 4 \approx 0,092$$

Par conséquent

$$D = \frac{\delta}{s_d} = \frac{0,1}{0,092} = 1,08$$

Le tableau 1 donne $n_r = 13$ et donc $k = 20$ est suffisant pour l'expérimentation.

$$t_o = \frac{\bar{d}}{s_d/\sqrt{k}} = \frac{0,015}{0,092/\sqrt{20}} = 0,721$$

$t = 1,729$ pour $k = 20$ dans le tableau 2

$$|t_o| < t$$

Par conséquent, l'erreur systématique est considérée comme inférieure à 0,1 % de la teneur en fer total, et la méthode B peut être adoptée comme méthode de routine.

6.3 Exemple numérique 3
(δ : 0,15 % de la teneur en fer total)

L'exemple numérique donné dans le tableau 5 est le résultat d'une expérimentation menée sur un échantillonneur mécanique, conformément à 4.1.2.

L'erreur systématique à déterminer par expérimentation est de 0,15 % de la teneur en fer total par accord entre les parties concernées.

Tableau 5 — Exemple numérique 3 (pour le minerai B)

| Livraison n° | Teneur en fer total, % | | $d_i = x_{Bi} - x_{Ai}$ | d_i^2 |
|--------------|------------------------|----------|-------------------------|---------|
| | x_{Bi} | x_{Ai} | | |
| 1 | 63,46 | 62,96 | 0,50 | 0,250 0 |
| 2 | 63,41 | 63,03 | 0,38 | 0,144 4 |
| 3 | 62,98 | 62,62 | 0,36 | 0,129 6 |
| 4 | 63,32 | 63,16 | 0,16 | 0,025 6 |
| 5 | 63,26 | 63,06 | 0,20 | 0,040 0 |
| 6 | 63,36 | 61,96 | 0,40 | 0,160 0 |
| 7 | 63,47 | 63,11 | 0,36 | 0,129 6 |
| 8 | 63,49 | 63,15 | 0,34 | 0,115 6 |
| 9 | 63,44 | 63,18 | 0,26 | 0,067 6 |
| 10 | 63,27 | 62,89 | 0,38 | 0,144 4 |
| 11 | 62,80 | 62,54 | 0,26 | 0,067 6 |
| 12 | 63,09 | 62,83 | 0,26 | 0,067 6 |
| 13 | 63,15 | 62,95 | 0,20 | 0,040 0 |
| 14 | 63,18 | 62,80 | 0,38 | 0,144 4 |
| 15 | 63,60 | 63,12 | 0,48 | 0,230 4 |
| 16 | 63,77 | 63,48 | 0,29 | 0,084 1 |
| 17 | 63,04 | 62,80 | 0,24 | 0,057 6 |
| 18 | 63,12 | 62,77 | 0,35 | 0,122 5 |
| 19 | 62,85 | 62,62 | 0,23 | 0,052 9 |
| 20 | 63,22 | 62,95 | 0,27 | 0,072 9 |
| Somme | | | 6,30 | 2,146 8 |

$$\bar{d} = \frac{1}{k} \sum d_i = +6,30/20 = +0,315$$

$$SS_d = \sum d_i^2 - \frac{1}{k} \left(\sum d_i \right)^2 = 2,146 8 - \frac{(6,30)^2}{20} = 0,162 3$$

$$s_d = \sqrt{SS_d / (k - 1)} = \sqrt{0,162 3 / 19} = 0,092 4 \approx 0,092$$

Par conséquent

$$D = \frac{\delta}{s_d} = \frac{0,15}{0,092} = 1,63$$

Le tableau 1 donne $n_r = 6$ et donc le nombre de données est suffisant pour l'expérimentation.

$$t_0 = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{k}} = \frac{+0,315}{0,092 / \sqrt{20}} = +15,312$$

$t = 1,729$ pour $k = 20$ dans le tableau 2

$$|t_0| > t$$

Par conséquent, on peut conclure qu'il y a une erreur systématique significative dans la méthode B et que des mesures pour l'éliminer devront être prises.

6.4 Exemple numérique 4
(δ : 0,3 % d'humidité)

Le dernier exemple numérique donné dans le tableau 6 est le résultat d'une expérimentation sur l'influence de la taille des particules et de la masse des échantillons sur le taux d'humidité. Cette expérimentation permet de comparer des échantillons de masse 1 kg et de granulométrie inférieure à 10 mm (méthode B) à des échantillons de masse 5 kg et de granulométrie inférieure à 22,4 mm (méthode A).

L'erreur systématique à déterminer par expérimentation est de 0,3 % du taux d'humidité par accord entre les parties concernées.

Tableau 6 — Exemple numérique 4

| Livraison n° | Nom du minerai de fer | Taux d'humidité, % | | $d_i = x_{Bi} - x_{Ai}$ | d_i^2 |
|--------------|-----------------------|--------------------|----------|-------------------------|---------|
| | | x_{Bi} | x_{Ai} | | |
| 1 | A | 2,64 | 2,99 | -0,35 | 0,122 5 |
| 2 | B | 1,47 | 1,60 | -0,13 | 0,016 9 |
| 3 | C | 2,35 | 2,27 | 0,08 | 0,006 4 |
| 4 | D | 2,70 | 2,75 | -0,05 | 0,002 5 |
| 5 | E | 0,64 | 0,59 | 0,05 | 0,002 5 |
| 6 | F | 1,78 | 1,63 | 0,15 | 0,022 5 |
| 7 | C | 0,55 | 0,91 | -0,36 | 0,129 6 |
| 8 | G | 3,92 | 4,29 | -0,37 | 0,136 9 |
| 9 | H | 4,75 | 4,85 | -0,10 | 0,010 0 |
| 10 | A | 4,09 | 4,36 | -0,27 | 0,072 9 |
| 11 | A | 3,73 | 3,38 | 0,35 | 0,122 5 |
| 12 | I | 4,93 | 4,83 | 0,10 | 0,010 0 |
| 13 | I | 5,37 | 5,68 | -0,31 | 0,096 1 |
| 14 | J | 7,09 | 7,27 | -0,18 | 0,032 4 |
| 15 | K | 6,94 | 7,02 | -0,08 | 0,006 4 |
| 16 | L | 8,24 | 7,54 | 0,70 | 0,490 0 |
| 17 | M | 8,11 | 7,62 | 0,49 | 0,240 1 |
| 18 | N | 0,36 | 0,46 | -0,10 | 0,010 0 |
| 19 | O | 1,80 | 2,07 | -0,27 | 0,072 9 |
| 20 | P | 7,14 | 7,06 | 0,08 | 0,006 4 |
| Somme | | | | -0,57 | 1,609 5 |

$$\bar{d} = \frac{1}{k} \sum d_i = -0,57/20 = -0,028$$

$$SS_d = \sum d_i^2 - \frac{1}{k} \left(\sum d_i \right)^2 = 1,609 5 - \frac{(-0,57)^2}{20} = 1,593 3$$

$$s_d = \sqrt{SS_d / (k - 1)} = \sqrt{1,593 3 / 19} = 0,289 5 \approx 0,290$$

Par conséquent

$$D = \frac{\delta}{s_d} = \frac{0,3}{0,290} = 1,03$$

Le tableau 1 donne $n_r = 13$ et donc $k = 20$ est suffisant pour l'expérimentation.