

REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

HENRI HODARA

RALPH HODARA

**Méthodes statistiques appliquées dans l'industrie textile
: exemples de recherche des causes de variabilité des
fabrifications. L'analyse des variances**

Revue de statistique appliquée, tome 1, n° 1 (1953), p. 67-73

http://www.numdam.org/item?id=RSA_1953__1_1_67_0

© Société française de statistique, 1953, 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/>

MÉTHODES STATISTIQUES APPLIQUÉES DANS L'INDUSTRIE TEXTILE : EXEMPLES DE RECHERCHE DES CAUSES DE VARIABILITÉ DES FABRICATIONS

L'ANALYSE DES VARIANCES

par

Henri et Ralph HODARA

Ingénieurs Textiles

Parmi les bénéficiaires possibles des applications industrielles des méthodes statistiques modernes, les industries textiles figurent en bonne place. Il s'y pose des problèmes fort complexes par le nombre et l'imbrication des facteurs influençant un résultat donné. Une situation analogue se retrouve d'ailleurs dans d'autres branches industrielles importantes, telles que la papeterie, à laquelle nous consacrerons une étude dans un prochain fascicule de cette Revue. Dans des situations aussi complexes, seules peuvent avoir quelque prise des méthodes de recherche statistique.

L'étude de MM. Henri et Ralph HODARA montre que les entreprises textiles les plus éclairées sont parfaitement conscientes des services qu'elles peuvent attendre des méthodes statistiques. Cette étude traite de deux exemples fort simples : le lecteur ne manquera pas d'être frappé, autant par l'économie des moyens mis en œuvre que par la force des conclusions que permet d'en dégager une saine technique statistique.

La qualité du produit fabriqué ou en cours de fabrication n'est jamais constante. Des variations sont toujours présentes. Ces variations sont causées par une multitude de facteurs, bien souvent impondérables, inhérents au processus de fabrication. En général, ces facteurs ne sont pas identifiables et produisent des variations incontrôlables. Ceci est particulièrement vrai pour l'Industrie Textile où toute mesure de la qualité, par exemple, la résistance d'un filé de coton, dépend de l'humidité, de la température de la salle, de la résistance du fil, de la torsion donnée au fil, de l'état général des continus à filer, de la régularité de la matière au processus antérieur, du facteur humain, etc...

Le producteur textile qui est conscient de la nature et de la multiplicité de ces variations les accepte sous certaines réserves. Il peut exister des cas où un ou plusieurs facteurs prédominants produisent des variations plus importantes, susceptibles d'être contrôlées, c'est-à-dire réduites à un ordre de grandeur compatible avec les autres variations. Ces variations ne sont plus acceptées comme inhérentes au processus de fabrication, et les causes qui les produisent sont en général identifiables.

Le problème du producteur qui veut contrôler sa qualité est de déceler les variations qui ne sont pas inhérentes au processus de fabrication, et de les contrôler en isolant, puis en éliminant la cause de ces variations. Si ces variations non inhérentes, appelées contrôlables, se manifestent d'une façon beaucoup plus prédominante, il est facile au praticien, muni de l'expérience dans la matière, d'isoler la part de leur contribution dans la variation totale de la qualité, et d'éliminer ainsi la cause produisant cette anomalie de variations. Malheureusement, il est souvent difficile de séparer à première vue les contributions apportées à la variation totale de la qualité mesurée par un ou quelques

facteurs jugés prédominants ; c'est alors qu'il faut faire appel à l'expérimentation industrielle pour déterminer avec précision et certitude le degré de variation apporté par ces quelques facteurs.

La méthode classique d'expérimentation consiste à reproduire dans un laboratoire les conditions d'usine aussi fidèlement que possible. On fait varier le facteur que l'on juge prédominant en maintenant tous les autres constants, et on détermine ainsi l'amplitude de la variation causée par ce facteur.

Supposons, par exemple, que la résistance d'un filé soit trop faible et que l'on attribue cette faiblesse à un manque d'humidification. On fait alors un essai de laboratoire, sur une machine type représentative des machines de l'usine, à une température fixe représentative de la température moyenne de la salle, avec une ouvrière moyenne, etc... Ensuite, on fait varier l'humidité sur une gamme aussi étendue que les appareils de l'usine le permettent, et on mesure les variations de résistance correspondantes. Eventuellement, on arrive à obtenir une humidité optimum pour laquelle la résistance du fil est maximum. A la suite d'un tel essai de laboratoire, peut-on conclure que l'humidité obtenue produira un filé de résistance maximum dans les conditions de marche en usine ? NON ! La raison en est simple. Tous les facteurs qui ont été maintenus constants dans l'expérience de laboratoire, et d'autres dont on n'a pas soupçonné l'influence, varient en usine. Tous ces facteurs variant sur une gamme assez étendue ont aussi une influence sur la résistance du filé, et quand tous ces facteurs et l'étendue de leurs variations sont pris en compte, l'humidité optimum n'a pas nécessairement la valeur obtenue dans le laboratoire. En somme, l'expérience de laboratoire donne lieu aux erreurs suivantes :

- On a sûrement oublié un grand nombre de facteurs qui ont peut-être une influence plus grande que l'humidité sur les variations de résistance .

- On fausse les conditions réelles de marche, car elles ne peuvent pas être absolument identiques à celles que l'on trouve en usine, malgré tout le soin apporté à la surveillance .

- Finalement, en maintenant les autres facteurs constants, on néglige les effets que chaque facteur en variant produit sur les autres ; tous ces facteurs ne sont pas statiques dans des conditions normales de marche, et l'effet des variations de l'humidité peut avoir une influence totalement différente sur la résistance quand tous les autres facteurs varient librement. Chaque facteur influence la résistance, non seulement directement, mais aussi indirectement, en influençant à son tour les autres facteurs, pas nécessairement dans la même direction.

Ces considérations nous montrent que l'expérimentation telle qu'elle est employée dans le laboratoire scientifique est difficilement transposable en usine. La recherche industrielle a dû faire appel à d'autres techniques nécessaires au contrôle de la qualité de la fabrication. Ces techniques de la recherche industrielle reposent toutes sur une base commune : l'expérimentation statistique.

L'expérimentation statistique, entre autres, l'analyse des variances qui constitue le sujet de cet article, consiste à faire des essais sur le vif, en usine, sans altérer les conditions de marche, en laissant, par conséquent, tous les facteurs de qualité jouer leur rôle librement. De ce point de vue, l'expérimentation statistique est plus réaliste que la méthode classique du laboratoire scientifique.

L'expérimentation statistique permet de déterminer la précision des résultats obtenus en fonction des nombres d'essais ou des prélèvements. De ce fait, elle est plus économique que la méthode classique puisqu'elle permet de se limiter au nombre d'essais minimum qui garantit la précision exigée.

La méthode de l'analyse des variances traitée dans cet article, bien que d'usage assez récent dans l'industrie textile, s'est révélée comme un instrument précis et économique dans la recherche des anomalies industrielles, causes de la mauvaise qualité.

Avant d'entrer dans le détail de l'analyse des variances, nous allons en illustrer le principe par un cas fourni par une usine et qui peut être résolu sans aucune connaissance des méthodes statistiques.

Les batteurs sont des machines textiles alimentées par des touffes de coton ou de fibranne, c'est-à-dire des touffes de matière première, laquelle est nettoyée par ces machines et en sort en nappe dont on fait des rouleaux d'un poids constant. La constance du poids est excessivement importante du point de vue de la régularité du processus de fabrication suivant, et ce rouleau a son poids maintenu dans des limites très serrées. Un rouleau trop lourd ou trop léger est une source de variations et d'irrégularités dans le fil. Chaque fois qu'un rouleau est fabriqué par un batteur (environ toutes les 8 minutes à la vitesse normale d'enroulement), l'ouvrier le pèse, puis amorce un nouveau rouleau. Si le poids du rouleau pesé se maintient dans les limites établies, il est acheminé vers le processus suivant. Dans le cas où le poids de ce rouleau sort de ces limites, il est rejeté. On le réduit alors à l'état initial de la matière première à laquelle on le mélange lors de l'alimentation du batteur. Du

point de vue économique, il est donc excessivement important d'éviter les rebuts autant que possible. Le contrôle des rebuts, soit la technique de maintenir ceux-ci à un minimum, dépend non seulement de la matière première, de la machine, des conditions atmosphériques, mais aussi de l'ouvrier qui soigne les batteurs ; en effet, si les poids des rouleaux s'approchent dangereusement des limites, et même sortent de ces limites, l'ouvrier peut, à l'aide d'un régulateur placé sur la machine, diminuer ou augmenter le volume d'alimentation de la matière première, ce qui diminue ou augmente le poids du rouleau. Dans la matière première qui alimente ces batteurs, on mélange aussi les déchets de matière provenant des processus de fabrication ultérieurs aux batteurs. L'addition de déchets à la matière première, non seulement détériore la qualité, mais aussi rend plus difficile le contrôle des rebuts ; cette politique est en général dictée par des considérations de prix de revient.

TABLEAU I

Alimentation sans déchets :			
<u>Equipe</u>	<u>Bons rouleaux</u>	<u>Mauvais rouleaux</u>	<u>TOTAL</u>
2	29	1	30
1	24	6	30
2	30	0	30
1	28	2	30

Alimentation avec déchets :			
<u>Equipe</u>	<u>Bons rouleaux</u>	<u>Mauvais rouleaux</u>	<u>TOTAL</u>
1	27	3	30
2	30	0	30
1	27	3	30
2	26	4	30

TABLEAU II

Alimentation sans déchets :			
<u>Equipe</u>	<u>Total rouleaux</u>	<u>Mauvais rouleaux (rebut)</u>	<u>% Rebut</u>
2	60	1	1,7
1	60	8	13,4
TOTAL		9	

Alimentation avec déchets :			
<u>Equipe</u>	<u>Total rouleaux</u>	<u>Mauvais rouleaux (rebut)</u>	<u>% Rebut</u>
1	60	6	10,0 %
2	60	4	6,7 %
TOTAL		10	

TABLEAU III

<u>Equipe</u>	<u>Déchets</u>		Moyenne des rebuts par équipe 7,0	Etendue des variations causées par le changement d'équipe 7,0 — 2,5 = 4,5 → 4,5 rebuts
1	sans 8	avec 6		
2	1	4	2,5	

Moyennes des rebuts par déchets

4,5	5,0
-----	-----

Etendue des variations causées par l'addition des déchets 0,5 rebuts

5,0 — 4,5 = 0,5

Dans cet exemple, on a voulu étudier l'influence de l'addition de déchets à la matière première sur le pourcentage de rebuts obtenus aux batteurs. On a donc alimenté le même batteur pendant plusieurs jours, d'abord avec de la matière première sans déchets, puis avec de la matière première avec déchets, et on a obtenu les résultats du Tableau I. L'expérience a été faite sur les deux équipes, équipe du matin et équipe du soir, chaque équipe comprenant un ouvrier. Nous voyons tout de suite en faisant l'expérience sur le vif en usine que nous avons introduit un autre facteur extrêmement important : le facteur humain. Les résultats du Tableau I ont été remaniés et condensés dans le Tableau II. Comme le nombre total de rouleaux est de 60 dans chaque cas, on peut comparer directement les pourcentages de rebuts ou tout, aussi bien, le nombre de mauvais rouleaux. A première vue, on aurait tendance à conclure que l'introduction de déchets dans l'alimentation produit une légère augmentation du pourcentage de rebuts, puisque l'on trouve, pour le même nombre total de rouleaux (120 rouleaux), 9 mauvais rouleaux dans le cas de l'alimentation sans déchets, contre 10 dans le cas de l'alimentation mélangée avec des déchets. Le bon sens nous dicte seulement qu'il faut accepter ces résultats avec un certain scepticisme, car la différence entre le nombre de mauvais rouleaux obtenus avec et sans déchets est très petite et ne justifie peut-être pas une influence des déchets sur le pourcentage de rebuts. On a alors reproduit les résultats du Tableau II dans le Tableau III, et on a marqué dans ce dernier tableau le nombre de mauvais rouleaux obtenus avec ou sans déchets pour chaque équipe, soit ouvrier du matin et ouvrier du soir. Les moyennes calculées dans la colonne d'extrême droite, intitulées moyennes par équipe, donnent le nombre moyen de mauvais rouleaux obtenus par chaque ouvrier indépendamment de la présence ou l'absence de déchets dans le mélange. En d'autres mots, le seul facteur qui intervient dans cette colonne est le facteur humain. Par contre, dans la rangée inférieure du même tableau, on a calculé les moyennes de mauvais rouleaux pour le cas d'une alimentation sans déchets et avec déchets, sans tenir compte de l'influence de l'équipe. On a mesuré ensuite les variations du nombre de rebuts pour chaque facteur séparément, facteur humain et facteur déchet en prenant la différence ou étendue des moyennes correspondantes. Ainsi, pour le facteur humain, on a trouvé des variations de 4,5 rebuts, contre une variation de 0,5 rebuts pour le facteur déchets. Ceci indique tout simplement que les variations du nombre de rebuts produites par la présence ou l'absence de déchets (0,5 rebuts) sont beaucoup plus petites ou moins importantes que les variations correspondantes produites par l'influence du facteur humain ou ouvrier (4,5 rebuts). On peut alors conclure que la présence ou l'absence de déchets dans l'alimentation des batteurs ne produit pas une augmentation ou diminution significative de la qualité, soit de mauvais rouleaux, par rapport à l'influence que l'ouvrier exerce sur le contrôle de ces batteurs. Cette conclusion n'est pas en contradiction avec la remarque faite un peu plus haut, soit que « l'addition de déchets à la matière première non seulement détériore la qualité, mais aussi rend plus difficile le contrôle des rebuts ».

La conclusion à laquelle nous amène l'étude des chiffres recueillis démontre tout simplement que, dans ce cas particulier, cette influence des déchets sur la qualité et le nombre de rebuts est noyée par la présence d'un facteur beaucoup plus important : le facteur humain, qui produit des variations plus grandes sur le nombre de rebuts, selon l'ouvrier qui soigne les machines.

Il faut donc, si l'on veut réduire le nombre de mauvais rouleaux à un minimum, réduire avant tout les variations causées par ce facteur humain. L'ouvrier de la première équipe qui a produit 7 mauvais rouleaux doit être formé afin de produire un plus petit pourcentage de mauvais rouleaux ou rebuts et, par conséquent, un produit de meilleure qualité.

L'exemple ci-dessus illustre assez bien le principe de l'analyse des variances à deux variables, ces variables étant, dans ce cas, l'ouvrier et les déchets. Dans le cas plus général, on se trouve non seulement en présence de plusieurs variables, mais surtout en présence de résultats qui ne permettent pas de conclusions aussi évidentes. Dans ce cas, il faut avoir recours à des calculs un peu plus complexes mais encore simples, afin de traduire au moyen de chiffres les variations causées par chaque facteur analysé. Nous pouvons nous trouver en présence d'analyse des variances de 2, 3, 4 ou plusieurs variables. En général, au-dessus de 4 variables les calculs deviennent extrêmement longs et les résultats obtenus sont peu rentables. Par contre, l'analyse des variances appliquée à 2 ou 3 variables offre de grandes possibilités d'isoler les causes de variation les plus importantes, et éventuellement de les contrôler.

Une autre usine nous a fourni un exemple qui permet d'illustrer remarquablement bien la technique employée dans les calculs d'une analyse des variances.

Dans ce second exemple, on a voulu étudier la régularité d'une mèche de coton aux bancs à broches. La mèche de coton est un produit intermédiaire dans la fabrication du fil qui consiste en une masse de fibres rappelant un peu un fil très gros, mais sans torsion, et par conséquent très peu solide. Cette mèche est fabriquée sur une machine assez complexe appelée un banc à broches, et enroulée à sa sortie sur une bobine de mèche. La régularité de la mèche est mesurée en prélevant

sur la bobine sur laquelle elle est enroulée des sections de 25 mètres ou 50 mètres, en pesant ces sections, et en exprimant alors la régularité par le rapport de la longueur mesurée au poids trouvé. Cette mesure s'appelle le titrage de la mèche, que l'on essaye de maintenir aussi constant que possible, non seulement sur toute l'épaisseur de la bobine, mais aussi sur des bobines provenant de machines différentes. On a prélevé au hasard 5 bobines de mèche à raison d'une par machine ou banc, et on a mesuré le titrage comme défini plus haut sur 3 couches différentes de la bobine ; une au début de la formation de la bobine, soit sur la couche intérieure, la suivante au milieu de la formation de la bobine, et la dernière en fin de formation de la bobine, soit sur la couche extérieure. Le banc à broches par son mécanisme a en général tendance à donner un titrage plus fin sur les couches extérieures que sur les couches intérieures. On a donc voulu analyser si les variations de titrage entre les bobines d'une machine à l'autre étaient plus ou moins importantes que les variations de titrage à l'intérieur de ces bobines. La connaissance de la mesure de ces variations est importante puisqu'elle permet de décider à quel facteur s'attaquer en premier lieu pour obtenir une meilleure régularité : le facteur influençant le titrage à l'intérieur d'une même bobine, ou le facteur influençant les variations d'une machine à l'autre.

Les résultats des prélèvements sont portés sur le tableau IV, les titrages prélevés étant exprimés en grammes/mètres, bien que l'unité de mesure n'ait aucune importance.

Les calculs qui suivent n'offrent aucune difficulté et la méthode de calcul portée sur le tableau V s'explique d'elle-même. Les résultats sont portés dans le tableau VI où l'on a exprimé le degré de variation du titrage en fonction des variables étudiées au moyen d'une mesure intitulée VARIANCE. La variance est tout simplement une mesure statistique qui exprime le degré de variations des facteurs étudiés. L'avantage d'une telle mesure est qu'elle permet une comparaison directe de l'effet de chaque variable indépendamment des unités employées. De plus, quand les effets de plusieurs variables indépendantes s'ajoutent, les variations correspondantes mesurées par leurs variances respectives s'additionnent aussi, et la variance totale mesure la variation totale résultante.

Revenons au tableau VI. Les variations des titrages moyens de couche en couche, soit les variations influencées par la position de la mèche sur la bobine sont exprimées par une variance de 16740. Les variations restantes ou résiduelles, entre autres les variations de titrage causées par les différentes machines, sont mesurées par la variance 830. En comparant ces deux variances, on note que les variations des titrages moyens de couche en couche sont beaucoup plus importantes que les variations de machine à machine. Le rapport des variances est $F = 20,17$. Si les variations des titrages de couche en couche étaient négligeables, la variance du tableau V serait inférieure à 16740. Elle serait de l'ordre de 830, car les variations de titrages moyens de couche en couche telles qu'elles sont exprimées par cette variance sont produites, non seulement par des différences de titrage existant d'une couche à l'autre, mais aussi par toutes les autres différences de titrage (entre autres de machine à machine) lesquelles sont mesurées par la variance résiduelle. En d'autres mots, dans le cas de variations négligeables du titrage de couche en couche, le rapport des variances « F » serait d'un ordre de grandeur égal à un, mais différerait de l'unité, parce que des variations dues au hasard sont toujours présentes.

La question qui se pose tout de suite dans l'esprit du lecteur est la suivante : Ce rapport est-il assez grand pour justifier l'influence de la position de la mèche sur la bobine comme étant la cause primordiale des variations de titrage, ou provient-il tout simplement du hasard ? La question a été résolue une fois pour toutes par la théorie statistique qui nous fournit une échelle de valeurs sous forme tabulaire, la table de Snedecor. (Voir par exemple « Techniques modernes de Contrôle des Fabrications » par J. Mothies, p. 527 (Editions Dunod) ou tout autre traité sur le Contrôle statistique de la Qualité.)

Par conséquent, les variations de titrage d'une couche à l'autre de la bobine sont plus importantes que les variations produites par les autres causes, entre autres, les variations d'une machine à l'autre.

Cette table, comme toute table statistique, donne la réponse, non pas d'une manière absolue, mais avec un certain risque, risque de 10 %, 5 % ou 2 % selon la table utilisée. Ainsi, nous voulons nous assurer si le $F = 20,17$ calculé indique réellement une influence prédominante de la position de la mèche dans la bobine sur sa régularité du point de vue titrage. Au moyen de la table de Snedecor correspondant au risque 2 %, on cherche sur la rangée supérieure (qui s'étend de 1 à ∞) le chiffre de la colonne II du tableau VI qui correspond à la plus grande variance (16.740) soit 2. On cherche ensuite sur la colonne de gauche (qui s'étend de 1 à ∞) le chiffre de la colonne II du tableau VI qui correspond à la plus petite variance (830) soit 12. A l'intersection de 2 et 12, on trouve une valeur intitulée « variance critique » $F_c = 6.93$. Si F est plus grand que F_c , ce qui est le cas dans cet exemple, les variations de titrage produites par les différentes couches de la bobine sont plus importantes que

TABLEAU IV

Machine n°	Couche de la bobine :		
	Couche intérieure	Couche intermédiaire	Couche extérieure
6	1,94	2,03	2,10
7	1,96	2,00	2,11
8	2,01	2,01	2,06
9	2,00	1,94	2,09
10	1,97	1,99	2,06
Moyennes	1,976	1,994	2,084
Moyenne générale : 2,018			

TABLEAU V

Méthode de calculs :

Somme des carrés de moyennes = $(1,976)^2 + (1,994)^2 + (2,084)^2 = 12.223.668$ (A)

Carré de la moyenne générale = $(2,018)^2 = 4.072.324$ (B)

Somme totale des carrés : $(1,94)^2 + (1,96)^2 + \dots + (2,03)^2 + \dots + (2,10)^2 = 61.128.300$ (C)

Nombre de colonnes = 3 (D)

Nombre de rangées = 5 (E)

Les décimales ont été supprimées afin de simplifier les calculs, ce qui ne change rien au résultat final.

TABLEAU VI

Origine des variations	I	II	III VARIANCES (I : II)
Variations des titrages moyens de couche en couche.	$[(A) - (D) \times (B)] \times (E)$ = 33.480	$(D) - I = 2$	16.740
Variations restantes ou résiduelles. (entre autres, variations d'une machine à l'autre.)	$[(C) - (E) \times (A)]$ = 9.960	$(E) \times (D) - (D) = 12$	830
Variation totale	$[(C) - (D) \times (E) \times (B)]$ = 43.440.	$(E) \times (D) - I = 14$	

Rapport des variances = $F = 16740 : 830 = 20,17$.

$F_c (2-12) = 3,89$.

$F > F_c$ (20,17 plus grand que 3,89).

les variations causées par la différence de machine. Cette conclusion à laquelle la table de Snedecor nous a permis d'arriver n'est pas absolue, car il existe un certain risque d'erreur, ce risque étant de 2 % comme nous l'avons signalé plus haut. Ceci signifie qu'en moyenne, on risque de se tromper 2 fois sur cent en acceptant les conclusions obtenues au moyen de cette table.

Si le rapport des variances F avait été plus petit que F_c (6,93) la conclusion aurait été la suivante : On ne pourrait pas conclure que les variations de titrage de couche en couche soient plus importantes que les variations de titrage d'une machine à l'autre. En d'autres mots, la conclusion fournie par l'analyse des variances ou en général tout autre «test» statistique est toujours négative.

Les conséquences pratiques de ce dernier exemple furent utilisées immédiatement à l'usine. Au lieu de s'attaquer à la normalisation des machines ou bancs, travail de longue haleine qui n'aurait pas réduit les variations de titrage dans des mesures appréciables, la direction technique entreprit

d'abord la réduction des variations à l'intérieur même d'une bobine. Afin de satisfaire la curiosité du lecteur, ajoutons que les mesures prises consistèrent à changer le rochet (pignon extrêmement important sur les bancs) sur chaque banc. Après réduction des variations à l'intérieur des bobines, les variations suivantes par ordre d'importance, soit celles qui se présentent d'une machine à l'autre furent réduites après une normalisation de certaines des caractéristiques opératoires des machines.

En conclusion, l'analyse des variances permet de mettre en évidence le facteur prédominant parmi un nombre de facteurs considérés comme étant des sources de variabilité de la qualité mesurée.

Il existe d'autres techniques statistiques importantes qui permettent de déceler les sources de variabilités. Leur emploi est déjà très courant dans l'industrie textile ; citons, entre autres, les graphiques de contrôles, qui remplacent l'analyse des variances dans les méthodes routinières de contrôle, où par opposition à celle-ci, on dispose d'un très grand nombre d'essais ; le test t de Student qui, comme l'analyse des variances, s'applique dans la recherche industrielle tout particulièrement dans le cas où les prélèvements sont réduits, mais qui, à la différence de celle-ci, ne s'applique qu'à deux variables.