



*Institut de Recherches Agronomiques Tropicales
et des cultures vivrières*

*Département du Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)*

PRÉSENTATION DE RÉSULTATS STATISTIQUES

**M. ARNAUD
P. LETOURMY
M. JEANGUYOT**

**Juin 1990
RIM/Méthodologie N° 1**

PRÉSENTATION DE RÉSULTATS STATISTIQUES

**M. ARNAUD
P. LETOURMY
M. JEANGUYOT**

**Juin 1990
RIM/Méthodologie N° 1**

Présentation des résultats statistiques dans les articles de recherche agronomique

Afin d'aider les auteurs à valoriser leurs résultats et de normaliser les produits statistiques (tableaux, figures) publiés dans *L'Agronomie tropicale*, nous proposons ici quelques modèles de présentation. Ils représentent environ 90 % de ce que l'on peut rencontrer dans les projets de publication.

Nous nous sommes largement inspirés de ce que faisaient les instituts internationaux comme l'ICRISAT ou l'IRRI. La plupart de nos collègues biométriciens, ainsi qu'un certain nombre d'agronomes et de responsables de publications du CIRAD, ont été consultés.

Pour chaque type de méthode biométrique, nous demandons à l'auteur de fournir dans son projet de publication certains critères indispensables, alors que d'autres sont simplement conseillés. Des commentaires concernant l'utilisation de ces différents critères sont suivis d'un ou de plusieurs exemples. Au risque de nous répéter, nous avons préféré présenter séparément les différents modèles.

Enfin, nous rappelons que la description détaillée et complète de chaque expérimentation, ainsi que les modalités d'échantillonnage, doivent figurer entièrement et très clairement dans le paragraphe *Matériel et méthode* (surface parcellaire, densité, etc.).

Dispositif complètement aléatoire ou en blocs aléatoires avec un seul facteur

Données à fournir

Nécessaires

- Type de dispositif ;
- Traitements comparés ;
- Nombre de répétitions.

Pour chaque variable mesurée :

- Unité de mesure ;
- Moyenne générale de l'essai ;
- Coefficient de variation (CV) ;
- Ecart-type résiduel (ETR) ;
- Ecart-type de la moyenne (ETM) ;
- Nom de la méthode de comparaison multiple utilisée, s'il y a lieu, et niveau de signification.

Conseillées

- Nombre de degrés de liberté de l'erreur (ddl).

Commentaires

Le CV n'est pas nécessaire dans le cas de l'analyse de données transformées, car il peut n'avoir aucun sens (cas de valeurs transformées négatives).

L'ETR (souvent noté *s*) permet au lecteur de juger de la précision de l'essai et de comparer entre eux des essais portant sur une même plante, ayant une même surface parcellaire et un même dispositif. Il tend à remplacer le CV.

L'ETM permet au lecteur d'avoir une sorte d'étalon pour comparer les moyennes entre elles. Il n'a de sens que s'il y a un nombre égal de répétitions par traitement.

Il faut préciser le nombre de traitements (entrées) à côté de la moyenne s'ils ne figurent pas tous dans le tableau. Cependant, une présentation partielle des résultats devrait être évitée.

L'indication du nombre de degrés de liberté de l'erreur est inutile s'il peut se calculer à partir des informations contenues dans le tableau.

Lorsqu'on a été amené à faire des transformations de variables pour des raisons statistiques, il faut nécessairement faire figurer les valeurs moyennes transformées (entre parenthèses). Les valeurs initiales non transformées peuvent être présentées de deux façons : on donne ou bien les moyennes arithmétiques de ces valeurs (ce qui a été fait dans ces tableaux), ou bien les valeurs obtenues après transformation inverse des moyennes des données transformées.

Exemple de tableau

Tableau I. Essai variétal de riz de cycle court à [...], en saison des pluies 1990.

| Variété | Rendement (kg ha ⁻¹) | |
|----------------|-------------------------------------|-------|
| IR 5 | 3 704 <i>a</i> | |
| IRAT 216 | 3 034 <i>b</i> | |
| IRAT 144 | 2 645 <i>bc</i> | |
| ITA 307 | 2 517 <i>c</i> | |
| IRAT 131 | 2 459 <i>c</i> | |
| IAC 25 | 2 355 <i>c</i> | |
| IRAT 112 | 2 179 <i>c</i> | |
| Moyenne | 2 699 | |
| CV (%) | 14,1 | |
| ETR (ddl = 30) | 381,1 | |
| ETM | 155,6 | |

Dispositif en blocs complets à six répétitions.
 Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par le test de Duncan.

Dispositif complètement aléatoire ou en blocs aléatoires avec deux facteurs ou plus

Données à fournir

Nécessaires

- Type de dispositif ;
- Facteurs étudiés et modalités ;
- Nombre de répétitions.

Pour chaque variable mesurée :

- Unité de mesure ;
- Résultats des tests statistiques concernant l'effet des facteurs et leur interaction ;
- Moyenne générale de l'essai ;
- Coefficient de variation (CV) ;
- Ecart-type résiduel (ETR) ;
- Ecart-type de la moyenne (ETM) relatif à chaque facteur ;
- Nom de la méthode de comparaison multiple utilisée, s'il y a lieu, et niveau de signification.

Conseillées

- Nombre de degrés de liberté de l'erreur (ddl).

Commentaires

Le CV n'est pas nécessaire dans le cas de l'analyse de données transformées, car il peut n'avoir aucun sens (cas de valeurs transformées négatives).

L'ETR (souvent noté *s*) permet au lecteur de juger de la précision de l'essai et de comparer entre eux des essais portant sur une même plante, ayant une même surface parcellaire et un même dispositif. Il tend à remplacer le CV.

L'ETM diffère d'un facteur à l'autre, sauf dans le cas où les facteurs ont le même nombre de modalités. Il permet au lecteur d'avoir une sorte d'étalon pour comparer les moyennes entre elles. Il n'a de sens que s'il y a un nombre égal de répétitions par traitement.

L'indication de la signification des effets est nécessaire, car l'essai ne s'interprète et ne s'analyse pas statistiquement de la même manière selon qu'il y a ou non une interaction significative entre les facteurs. Cette signification des effets peut être donnée soit sous forme de valeurs de probabilité, soit sous forme de symboles (*, **, n.s.).

L'indication du nombre de degrés de liberté de l'erreur est inutile s'il peut se calculer à partir des informations contenues dans le tableau.

Lorsqu'on a été amené à faire des transformations de variables pour des raisons statistiques, il faut nécessairement faire figurer les valeurs moyennes transformées (entre parenthèses). Les valeurs initiales non transformées peuvent être présentées de deux façons : on donne ou bien les moyennes arithmétiques de ces valeurs (ce qui a été fait dans ces tableaux), ou bien les valeurs obtenues après transformation inverse des moyennes des données transformées.

Exemples de tableaux

Interaction des deux facteurs non significative

Tableau II. Essai de fertilisation sur des variétés de maïs à [...] en 1990.

| Variété | Rendement (t ha ⁻¹) | | | Moyenne |
|--------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Fumure | | Sans fumure | |
| | N 82-P 50-K 50 | N 53-P 30-K 33 | | |
| Mexico 80-49 | 6,75 | 6,15 | 5,42 | 6,11 ^a |
| NH1-F ₁ | 5,60 | 5,73 | 4,08 | 5,14 ^b |
| NH1-F ₂ | 5,67 | 5,20 | 3,80 | 4,89 ^b |
| Variété locale | 3,48 | 3,27 | 2,52 | 3,09 ^c |
| | | | | (ETM = 0,198) |
| Moyenne | 5,38 ^a | 5,09 ^a | 3,96 ^b | 4,81 |
| | | (ETM = 0,172) | | |
| Effet variété | | ** | | |
| Effet fumure | | ** | | |
| Interaction | | n.s. | | |
| CV (%) | | 17,5 | | |
| ETR (ddl = 55) | | 0,842 | | |

Dispositif en blocs complets à six répétitions.
 Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par la méthode de Newman-Keuls.
 ** Significatif au seuil de 1 %.
 n.s. Non significatif au seuil de 5 %.

Interaction des deux facteurs significative

Tableau III. Sensibilité de deux variétés de canne à sucre aux viroses à [...], en 1990 : rapport entre le nombre de tiges virosées et le nombre total de tiges primaires, en pourcentage (NTVI %).

| Boutures | NTVI % | | Moyenne |
|----------------|---------------|---------------|---------------|
| | Variété | | |
| | B 51/410 | B 70/574 | |
| Saines | 0,2 (- 4,46) | 1,4 (- 3,76) | 0,8 (- 4,11) |
| Virosées | 63,4 (- 0,49) | 43,5 (- 0,82) | 53,5 (- 0,66) |
| Moyenne | 31,8 (- 2,47) | 22,5 (- 2,29) | 27,1 (- 2,38) |
| Effet virose | | ** | |
| Effet variété | | n.s. | |
| Interaction | | ** | |
| ETR (ddl = 12) | | (0,28) | |
| ETM | | (0,125) | |

Dispositif en blocs complets à cinq répétitions.
 ** Significatif au seuil de 1 %.
 n.s. Non significatif au seuil de 5 %.
 La variable NTVI % a été analysée après transformation log (NTVI % + 0,01). Les valeurs entre parenthèses sont les valeurs transformées.

Dispositif en blocs aléatoires avec parcelles divisées (*split-plot*)

Données à fournir

Nécessaires

- Type de dispositif ;
- Facteurs étudiés et modalités ;
- Nombre de répétitions.

Pour chaque variable mesurée :

- Unité de mesure ;
- Résultats des tests statistiques concernant l'effet des facteurs et leur interaction ;
- Moyenne générale de l'essai ;
- Coefficient de variation (CV) correspondant à la dernière erreur résiduelle ;
- Ecart-type résiduel (ETR) relatif à chaque niveau du dispositif ;
- Nom de la méthode de comparaison multiple utilisée, s'il y a lieu, et niveau de signification.

Conseillées

- Nombre de degrés de liberté (ddl) des différents ETR.

Commentaires

Le CV n'est pas nécessaire dans le cas de l'analyse de données transformées, car il peut n'avoir aucun sens (cas de valeurs transformées négatives).

L'ETR (souvent noté *s*) permet au lecteur de juger de la précision de l'essai et de comparer entre eux des essais portant sur une même plante, ayant une même surface parcellaire et un même dispositif. Il tend à remplacer le CV.

L'indication de la signification des effets est nécessaire, car l'essai ne s'interprète et ne s'analyse pas statistiquement de la même manière selon qu'il y a ou non une interaction significative entre les facteurs. Cette signification des effets peut être donnée soit sous forme de valeurs de probabilité, soit sous forme de symboles (*, **, n.s.).

L'indication des nombres de degrés de liberté des erreurs est inutile s'ils peuvent se calculer à partir des informations contenues dans le tableau.

Lorsqu'on a été amené à faire des transformations de variables pour des raisons statistiques, il faut nécessairement faire figurer les valeurs moyennes transformées (entre parenthèses). Les valeurs initiales non transformées peuvent être présentées de deux façons : on donne ou bien les moyennes arithmétiques de ces valeurs (ce qui a été fait dans ces tableaux), ou bien les valeurs obtenues après transformation inverse des moyennes des données transformées.

Exemple de tableau

Tableau IV. Progression de *Xanthomonas campestris* après inoculation *in vitro* de quatre variétés de canne à sucre.

| Variété | Surface sous la courbe de progression (mm ²) | | | Nombre de talles à 10 semaines | | | Nombre de talles à 18 semaines | | |
|------------------------------------|--|--------|---------|--------------------------------|--------------|---------------|--------------------------------|--------|--------------|
| | Inoculation | | Moyenne | Inoculation | | Moyenne | Inoculation | | Moyenne |
| | avec | sans | | avec | sans | | avec | sans | |
| M 147-44 | 77,0 a | 30,8 a | 53,9 | 4,3 (2,25) | 0,3 (1,10) | 2,3 (1,67 b) | (5,75) | (3,75) | 4,8 (2,32 b) |
| S 17 | 48,1 b | 20,0 a | 34,1 | 2,5 (1,83) | 0,5 (1,20) | 1,5 (1,51 b) | (5,25) | (6,25) | 5,8 (2,55 b) |
| B 34-104 | 42,0 b | 24,8 a | 33,4 | 6,0 (2,60) | 4,5 (2,25) | 5,3 (2,43 a) | (8,50) | (7,50) | 8,0 (2,97 a) |
| NCo 376 | 38,3 b | 20,3 a | 29,3 | 4,0 (2,18) | 3,0 (1,90) | 3,5 (2,04 ab) | (8,00) | (7,25) | 7,6 (2,93 a) |
| Moyenne | 51,4 | 24,0 | 37,7 | 4,2 (2,21 a) | 2,1 (1,61 b) | 3,1 (1,91) | (6,90) | (6,20) | 6,5 (2,69) |
| Effet dans les grandes parcelles : | | | | | | | | | |
| Inoculation | ** | | | * | | | n.s. | | |
| ETR 1 (ddl = 3) | 5,54 | | | (0,35) | | | (0,22) | | |
| Effet dans les petites parcelles : | | | | | | | | | |
| Variété | ** | | | ** | | | ** | | |
| Interaction | ** | | | n.s. | | | n.s. | | |
| ETR 2 (ddl = 18) | 6,99 | | | (0,41) | | | (0,29) | | |
| CV (%) | 18,6 | | | - | | | - | | |

Dispositif en blocs aléatoires avec parcelles divisées, quatre répétitions.

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par la méthode de Newman-Keuls.

* Significatif au seuil de 5 %.

** Significatif au seuil de 1 %.

n.s. Non significatif au seuil de 5 %.

Les variables « nombre de talles » ont été analysées après transformation $\sqrt{x+1}$.

Les valeurs entre parenthèses sont les valeurs transformées.

Etude de courbes de réponse

Données à fournir

Nécessaires

- Type de dispositif ;
- Valeur des diverses doses comparées ;
- Nombre de répétitions.

Pour chaque variable mesurée :

- Unité de mesure ;
- Résultats des tests statistiques concernant les effets linéaire, quadratique ;
- Moyenne générale de l'essai ;
- Coefficient de variation (CV) ;
- Ecart-type résiduel (ETR) ;
- Ecart-type de la moyenne (ETM).

Conseillées

- Nombre de degrés de liberté de l'erreur (ddl) ;
- Graphique des valeurs ajustées et observées en fonction des doses et équation obtenue.

Commentaires

Le CV n'est pas nécessaire dans le cas de l'analyse de données transformées, car il peut n'avoir aucun sens (cas de valeurs transformées négatives).

L'ETR (souvent noté s) permet au lecteur de juger de la précision de l'essai et de comparer entre eux des essais portant sur une même plante, ayant une même surface parcellaire et un même dispositif. Il tend à remplacer le CV.

L'ETM permet au lecteur d'avoir une sorte d'étalon pour comparer les moyennes entre elles. Il n'a de sens que s'il y a un nombre égal de répétitions par traitement.

L'indication du nombre de degrés de liberté de l'erreur est inutile s'il peut se calculer à partir des informations contenues dans le tableau.

Il est important de noter que dans le cas d'un essai de courbe de réponse, l'essai doit être analysé statistiquement comme tel. Ainsi, si les doses ont un effet significatif, on testera l'existence des effets linéaire, quadratique..., puis on recherchera la courbe qui s'adapte aux valeurs observées. Les tests de comparaisons multiples ne conviennent pas à ce type de dispositif.

Dans certains cas, le modèle polynomial n'est pas le mieux adapté. Il faut alors préciser le modèle utilisé (exemple : monomoléculaire). Devront alors figurer le test de la part de l'effet traitement expliquée par le modèle et le test de la part de l'effet traitement non expliquée par le modèle.

Lorsqu'on a été amené à faire des transformations de variables pour des raisons statistiques, il faut nécessairement faire figurer les valeurs moyennes transformées (entre parenthèses). Les valeurs initiales non transformées peuvent être présentées de deux façons : on donne ou bien les moyennes arithmétiques de ces valeurs (ce qui a été fait dans ces tableaux), ou bien les valeurs obtenues après transformation inverse des moyennes des données transformées.

Exemple de présentation

Tableau V. Courbe de réponse à l'azote de la variété de canne à sucre CO 449 à [...], en 1990.

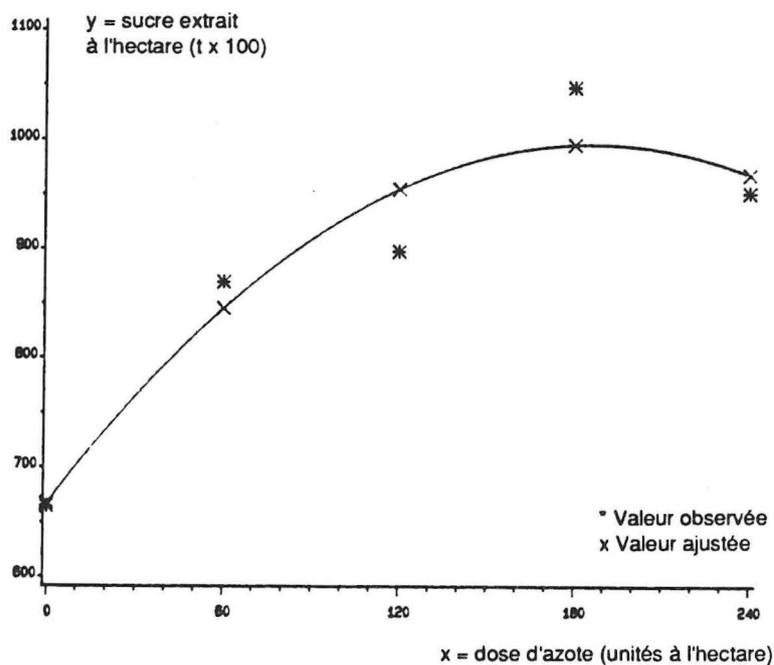
| Dose d'azote (x) (unités par ha) | Rendement en sucre extrait (t x 100) à l'hectare (y) | |
|-------------------------------------|--|-------|
| 0 | 664 | |
| 60 | 869 | |
| 120 | 898 | |
| 180 | 1048 | |
| 240 | 951 | |
| Moyenne | 886 | |
| Effet linéaire | ** | |
| Effet quadratique | * | |
| Autres composantes | n.s. | |
| CV (%) | 15,3 | |
| ETR (ddl = 20) | 135,4 | |
| ETM | 55,3 | |
| Equation de la courbe de réponse | $y = - 0,0095 x^2 + 3,543 x + 667$ | |

Dispositif en blocs complets à six répétitions.

* Significatif au seuil de 5 %.

** Significatif au seuil de 1 %.

n.s. Non significatif au seuil de 5 %.



Etude de la régression linéaire entre deux variables

Données à fournir

Nécessaires

- Nombre d'observations.

Pour chaque variable mesurée :

- Unité de mesure ;
- Minimum ;
- Maximum ;
- Moyenne ;
- Ecart-type.

Pour chaque régression linéaire simple :

- Nuage des points et dessin de la droite ;
- Equation de la droite si l'objectif est la prévision de la valeur d'une variable à partir de la valeur d'une autre ;
- Coefficient de détermination r^2 ;
- Ecart-type résiduel de la régression (s) ;
- Signification du test de $r = 0$.

Conseillées

- Quartiles et médiane des variables mesurées ;
- Equation de la droite s'il s'agit seulement d'étudier la liaison linéaire entre les deux variables ;
- Tracé de l'intervalle de confiance autour de la droite si l'objectif est la prévision de la valeur d'une variable à partir de la valeur d'une autre.

Commentaires

Les modalités d'échantillonnage devront être indiquées dans la partie *Matériel et méthode*.

Le tracé du nuage des points est obligatoire lorsqu'on étudie la liaison entre les deux variables.

La signification du test $r = 0$ peut être donnée soit sous forme de valeurs de probabilité, soit sous forme de symboles (*, **, n.s.).

Exemple de présentation

Tableau VI. Etude de la régression linéaire du poids (g) d'une tige de canne à sucre en fonction de son volume (ml).

| Variable | Moyenne | Ecart-type | Minimum | 1 ^{er} quartile | Médiane | 3 ^e quartile | Maximum |
|------------|---------|------------|---------|--------------------------|---------|-------------------------|---------|
| Poids (y) | 547,4 | 260,9 | 155,6 | 348,5 | 503,4 | 718,6 | 1 335,1 |
| Volume (x) | 576,6 | 283,1 | 187,4 | 353,3 | 520,1 | 741,5 | 1 476,2 |

Nombre d'observations : 77 $r^2 = 0,95^{**}$ $s = 60,5$ $y_{est} = 30,2 + 0,9 x$

y_{est} Estimation de y.

** Significatif au seuil de 1 %.

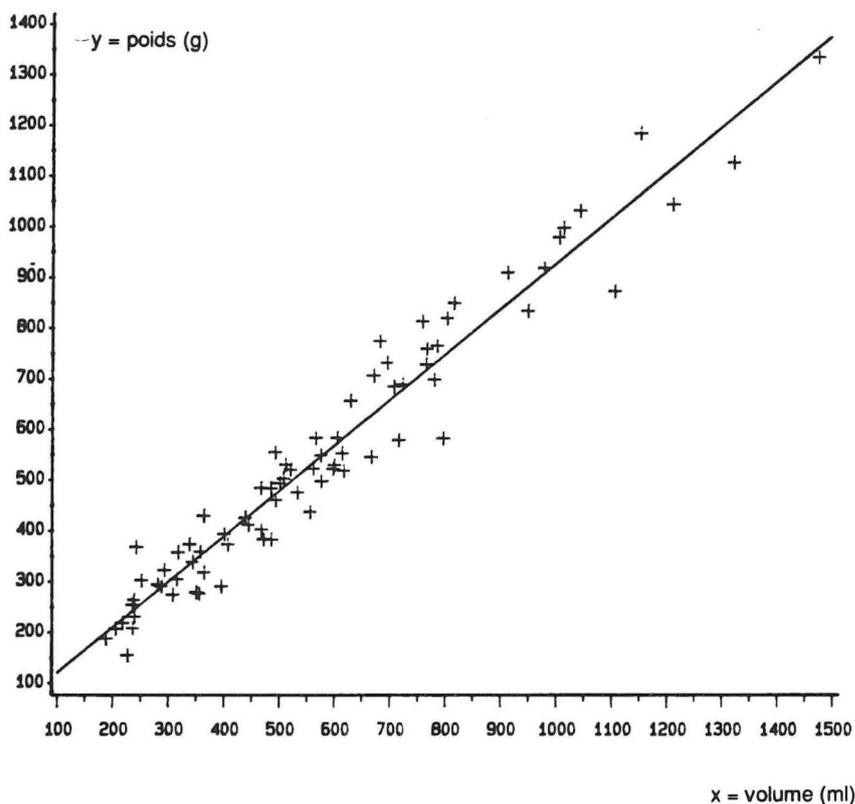


Figure 2. Etude de la régression linéaire du poids (g) d'une canne en fonction de son volume (ml). (Equation de la droite : $y = 30,2 + 0,9 x$).

