

Normalisation des données et calcul de la précision des mesures en microbiologie du sol

Pierre Armand ROGER, Pierre Adrien REYNAUD
et Gilles MONNIAUX

Laboratoire de Microbiologie du Sol,
ORSTOM, BP 1386, Dakar, Sénégal.

RÉSUMÉ

L'étude de la liaison moyenne variance sur des dénombrements de microorganismes telluriques et des mesures d'activité *in situ* montre une corrélation hautement significative entre moyenne et variance. Dans tous les cas étudiés la pente de droite de régression est voisine de 2, traduisant une distribution log-normale des variables.

Trois programmes destinés à être utilisés sur une calculatrice programmable HP 97 sont proposés. Ils permettent respectivement : l'étude de la liaison moyenne-variance ; le calcul de l'intervalle de confiance sur une moyenne et la comparaison de deux moyennes de valeurs distribuées suivant une loi log-normale.

MOTS-CLÉS : Méthodologie — Ecologie — Microorganismes — Sol — Intervalle de confiance — Numérations.

ABSTRACT

NORMALISATION OF DATA AND CALCULATION OF THE ACCURACY OF MEASUREMENTS IN SOIL MICROBIOLOGY.

Study of the correlation between means and variances of enumerations of soil microorganisms and *in situ* measurements of microbial activities in the soil, indicates that these variables have approximately a log-normal distribution.

The method of calculation for confidence interval is described. Three programs of calculation of an HP 97 programmable calculator were developed, permitting respectively : study of the correlation between means and variances ; calculation of the confidence interval of a mean and comparison of two means for log normal distributed variables.

KEY WORDS: Methods — Ecology — Microorganisms — Soil — Confidence interval — Enumeration.

1. INTRODUCTION

L'étude de l'écologie microbienne du sol passe nécessairement par le dénombrement des microorganismes telluriques et la mesure de leurs activités *in situ*. Les méthodes employées sont souvent des méthodes indirectes et il est indispensable de connaître leurs limites et de les chiffrer.

Les deux problèmes les plus fréquemment rencontrés sont le calcul de l'intervalle de confiance d'une moyenne et la comparaison de deux moyennes. Ces deux calculs portent le plus souvent sur de petits

échantillons car le nombre de répétitions réalisables est généralement limité par les techniques employées et par la variabilité temporelle des activités microbiennes.

Rappelons que le test *t* de Student-Fischer classiquement utilisé pour le calcul de l'intervalle de confiance et la comparaison de deux moyennes sur de petits échantillons suppose une distribution normale des valeurs auxquelles est appliqué ce test. Lorsque cette hypothèse est trop éloignée de la réalité on doit procéder à des changements de variable sur les résultats. Le choix de la transformation est fondé sur l'égalisation des variances, ce qui a pour consé-

quence de normaliser les distributions ou de les rapprocher de la normalité (voir par ex. Lellouch et Lazar, pp. 51-52).

L'étude de séries de dénombrements d'organismes dans les biotopes marins et terrestres a montré que les populations ne sont pas distribuées suivant des lois normales et qu'il existe une liaison entre la moyenne et la variance: sur un graphique en coordonnées logarithmiques, les points (m, s^2)* se disposent en un nuage rectilinéaire traduisant une liaison de la forme $\sigma^2 = a\mu^b$ (1) (Taylor, 1961) incompatible avec une loi normale où moyenne et variance sont indépendantes.

La détermination des paramètres a et b de l'équation (1) permet de choisir la transformation à appliquer aux données pour rendre la variance indépendante de la moyenne.

On établit (voir par ex. Kendall et Stuart, vol. 1, p. 232 et vol. 3, p. 88) que pour une liaison moyenne-variance $\sigma^2 = \Phi(\mu)$, la transformation rendant la variance indépendante de la moyenne est

$$g(x) = \int \frac{dx}{\sqrt{\Phi(x)}}$$

Pour une liaison de la forme $\sigma^2 = a\mu^b$:

$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int x^{-\frac{b}{2}} dx$$

$$\text{Si } b \neq 2 \quad g(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \frac{1}{1-\frac{b}{2}} x^{1-\frac{b}{2}}$$

$$\text{soit } q(x) = K_1 x^{1-\frac{b}{2}} + K_2$$

L'addition d'une constante ne changeant pas la variance on choisira la borne inférieure de l'intégrale pour que $K_2 = 0$. D'autre part le facteur multiplicatif n'altérant pas la pente de la liaison moyenne-variance ($m_{Kx} = km_x$; $s^2_{Kx} = k^2 s^2_x$) on retiendra:

$$g(x) = x^{1-\frac{b}{2}}$$

$$\text{Si } b = 2 \quad g(x) = \int \frac{dx}{x} = \text{Log } x$$

Le changement de base n'altérant pas la liaison moyenne-variance (opération linéaire) on retiendra $g(x)$

* m = moyenne calculée, estimation de la moyenne réelle μ
 s^2 = variance calculée, estimation de la variance réelle σ^2 .

= log x.

Le tableau I indique les transformations normalisant les données en fonction de b .

Ce travail se propose :

— de déterminer une forme analytique de la liaison moyenne-variance dans des dénombrements de microorganismes telluriques, ou des mesures *in situ* de leurs activités;

— d'indiquer la méthode de calcul de l'intervalle de confiance applicable à ces deux types de mesures;

— de fournir trois programmes de calcul destinés à une calculatrice programmable (Hewlett Packard HP 97 ou HP 67), qui permettent respectivement : l'étude de la liaison moyenne-variance, le calcul de l'intervalle de confiance sur une moyenne et la comparaison de deux moyennes de valeurs distribuées suivant une loi log-normale.

TABLEAU I

Transformation normalisant les données en fonction de la pente de la droite de régression moyenne-variance.

1) Coefficient de corrélation non significatif : absence de liaison moyenne-variance		
2) Coefficient de corrélation significatif :		
Pente de la droite de régression	Loi de distribution	Transformation normalisante
1	Poisson	$y = \sqrt{x}$
1 < b < 2 2 < b < 3	—	$x^{1-\frac{b}{2}}$ ou $\text{Log}(x + x_0)$ (x_0 est une constante arbitraire à déterminer graphiquement)
2	Log normale	$y = \log x$
3	—	$y = \frac{1}{\sqrt{x}}$

2. LIAISON m - s^2 DANS LES DÉNOMBREMENTS ET LES MESURES D'ACTIVITÉS *IN SITU* DES MICROORGANISMES TELLURIQUES

L'étude de la liaison moyenne-variance nécessite un assez grand nombre de petits groupes de répétitions. On peut les obtenir à partir de résultats d'expériences effectuées à des dates et/ou des lieux différents mais pour lesquelles un protocole identique a été employé.

Pour cette étude nous avons utilisé des résultats expérimentaux obtenus par les chercheurs du laboratoire de Biologie des Sols de Dakar. Ces résultats, ainsi que les méthodes qui ont permis de les obtenir ont été publiés par ailleurs.

Le calcul du coefficient de corrélation et de la pente de la droite de régression moyenne-variance ont été effectués sur calculatrice programmable (HP 97) suivant le programme décrit chapitre IV a.

Les résultats sont regroupés au tableau II et montrent une liaison moyenne-variance caractérisée par un coefficient de corrélation hautement significatif ($p < 0,01$ dans tous les cas) et une pente voisine de deux. (La valeur moyenne de la pente sur les douze déterminations effectuées est de 1,99).

3. CALCUL DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE SUR DES DONNÉES RÉPARTIES SUIVANT UNE LOI LOG-NORMALE

Les résultats précédents montrent que la log-normalité des distributions semble être sinon une règle générale du moins une hypothèse de travail parfaitement justifiée en microbiologie du sol. Il convient toutefois de s'assurer de la validité de la transformation logarithmique qui, si elle est appliquée sans discernement peut conduire à des erreurs (Merny, 1970). La méthode de calcul exposée ci-après permet une vérification de la validité de la transformation. Soit x la variable initiale et y ($y = \log x$) sa transformée, pour laquelle on détermine les valeurs suivantes :

TABLEAU II

Détermination du coefficient de corrélation (r) et de la pente de la droite de régression (b) entre moyenne et variance sur des séries de N groupes de n répétitions de numérations et de mesures d'activités *in situ* de microorganismes telluriques.

Organismes	Nature de la mesure	Méthode de mesure	Origines des mesures	N	n	r Pour ddl = N-1 $p = 0,01$	r	b
Cyanobactéries	Numérations	Etallement sur boîtes de Pétri	Roger et Reynaud (1976)	27	13 à 40	0,48	0,95	1,88
	Activité réductrice d'acétylène (A.R.A.)	Sous cylindre C.P.V (Balandreau et Dommergues 1971)	Traore et coll. (1977)	27	20	0,48	0,956	1,88
		En flacons sérum (Hardy et coll. 1968)	Roger et coll. (1977)	24	4	0,50	0,892	2,02
Microflore fixatrice de N_2 dans la rhizosphère du riz	ARA/pied riz adulte	Sous sac plastique (Rinaudo et coll 1977)	Rinaudo et coll. (1977)	11	6 à 9	0,71	0,96	2,2
	ARA/pied plantules	En tubes spéciaux (Raimbault et coll 1976)	Rinaudo (non publié)	20	6 à 8	0,55	0,95	2,43
	ARA/g racines plantules			20	6 à 8	0,55	0,94	2,34
Microflore du cycle du soufre dans la rhizosphère et la spermosphère du riz	Numération des BSR	Mouraret et Baldensperger (1978)	Jacq (1977) (1978)	12	6	0,68	0,99	1,996
	Numération de Thiobacillus	Mouraret et Baldensperger (1977)		16	6	0,60	0,99	1,90
	Dosage des Sulfures	Chaudhry et Cornfield (1966)		36	4 à 8	0,42	0,95	1,69
Rhizobium sur Arachide	ARA/plante	En flacons sérum (Hardy et coll. 1968)	Ducerc (1978)	33	3 à 6	0,44	0,82	1,80
	ARA/g nodule frais			33	3 à 6	0,44	0,70	1,82
	ARA/g nodule sec			33	3 à 6	0,44	0,82	1,9

la moyenne \bar{y} , la variance s_y^2 , et les limites de confiance inférieure (li) et supérieure (ls) de la moyenne

$$li = \bar{y} - \frac{ts_y}{\sqrt{n}} \quad ls = \bar{y} + \frac{ts_y}{\sqrt{n}}$$

(n = taille de l'échantillon; t = variable de Student-Fischer à $n-1$ degrés de liberté au seuil de précision choisi).

La retransformation simple de \bar{y} , li et ls conduit à :

$$\begin{aligned} x' &= 10^{\bar{y}} \\ Li' &= 10^{li} \\ Ls' &= 10^{ls} \end{aligned}$$

qui sont des estimations biaisées de la moyenne x (connue) et des deux limites de confiance de cette moyenne : Li et Ls

$$\frac{\sum_1^n \log x_i}{n} \neq \log \left(\frac{\sum_1^n x_i}{n} \right)$$

Le problème de la correction de ce biais a été étudié par Neyman et Scott (1960); des valeurs non biaisées de \bar{x} , Li et Ls sont obtenues en multipliant les retransformées simples par un coefficient de correction C dont l'expression est :

$$c = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\left[\frac{(\ln 10)^2}{2} \cdot \frac{n-1}{n} \cdot s^2 \right]^i}{i! \prod_{k=1}^i \left(1 + 2 \frac{k+1}{n-1} \right)}$$

La validité de la transformation est confirmée si la retransformée corrigée $C\bar{x}' = C \cdot 10^{\bar{y}}$ est peu différente de x . En pratique on comparera la valeur de C calculée au moyen de l'équation n° (3) à la valeur

$$C' = \frac{\bar{x}}{10^{\bar{y}}}$$

Nous considérons la transformation comme valide si $0,66 \leq C'/C \leq 1,33$. Dans ce cas la moyenne estimée $C \cdot 10^{\bar{y}}$ sera recentrée sur la valeur x pour calculer les limites de l'intervalle de confiance.

4. PROGRAMMES DE CALCUL

4.1. PROGRAMME : « ÉTUDE DE LA LIAISON MOYENNE-VARIANCE »

Si l'on dispose de N groupes de n_1 répétitions chacun portant sur la même méthode de mesure, le programme permet de calculer :

- le coefficient de corrélation entre le log de la moyenne et le log de la variance des N groupes,
- l'équation de la droite de régression.

4.1.1. Mode opératoire

- Frapper N et appuyer sur A.
- Frapper n_1 et appuyer sur B.

— Introduire la première série de données en frappant chaque donnée et en appuyant sur C. Lorsque n_1 données ont été introduites la calculatrice imprime successivement : \bar{x} ; $\log \bar{x}$, s_x ; $\log s_x$.

— Si $n_2 \neq n_1$ frapper n_2 et appuyer sur B puis introduire la deuxième série de données.

— Lorsque N séries de données ont été introduites la calculatrice affiche crd (card). Si l'on désire garder les données sur fiche magnétique introduire successivement les deux côtés d'une fiche dans la calculatrice; le programme repart alors automatiquement. Si l'on ne désire pas conserver les données appuyer sur D. La calculatrice affiche successivement :

- r = coefficient de corrélation;
- a et b = paramètres de la droite de régression;
- \bar{X} et \bar{Y} = coordonnées du point moyen.

Lorsque, en cours d'introduction des données, on veut connaître la liaison sur les N' premiers groupes introduits ($N' < N$) il suffit d'appuyer sur D; on peut ensuite continuer la frappe des N-N' groupes de données restantes.

4.1.2. Liste des pas de programme

001	-LBLA	21 11	Mise à zéro des registres.
002	CLRG	16-53	Introduction du nombre de groupes de données N.
003	P \rightleftharpoons S	16-51	
004	CLRG	16-53	Impression et stockage de N.
005	SPC	16-11	
006	DSPO	-63 00	
007	PRTX	-14	
008	STOA	35 11	
009	RTN	24	
010	-LBLB	21 12	Introduction, impression et stockage du nombre de données dans le premier groupe. (n_1).
011	FIX	-11	
012	SPC	16-11	
013	PRTX	-14	
014	STOB	35 12	
015	SPC	16-11	
016	RTN	24	
017	-LBLC	21 13	Introduction, impression et stockage des données dans les registres statistiques. Lorsque le nombre n de données introduites est égal à n_1 la calculatrice passe une ligne sur la bande d'impression et imprime successivement :
018	DSP3	-63 03	
019	PRTX	-14	
020	$\Sigma +$	56	
021	ISZI	16 26 46	
022	RCLI	36 46	
023	RCLB	36 12	
024	X \neq Y?	16-32	
025	RTN	24	

026	SPC	16-11		082	-	-45	
027	X	16 53		083	STO8	35 08	
028	PRTX	-14	\bar{x}	084	X	-35	
029	LOG	16 32		085	\sqrt{X}	54	
030	STOE	35 15		086	RCL6	36 06	
031	PRTX	-14	$\log \bar{x} = X$	087	÷	-24	
032	ST + 0	35-55 00		088	1/X	52	
033	X ²	53	x ²	089	PRTX	-14	
034	ST + 1	35-55 01		090	SPC	16-11	Calcul et impression de la pente de la droite de regression
035	S	16 54		091	RCL8	36 08	
036	PRTX	-14	s _x	092	RCL7	36 07	$b = r \frac{s_y}{s_x}$
037	X ²	53		093	÷	-24	
038	LOG	16 32		094	\sqrt{X}	54	
039	PRTX	-14	$\log s^2 = Y$	095	X	-35	
040	ST + 2	35-55 02		096	PRTX	-14	
041	SPC	16-11		097	RCLO	36 00	Calcul et impression de
042	X ²	53	Les valeurs X ; X ² ; Y ² ; XY	098	X	-35	
043	ST + 3	35-55 03	sont mises cumulativement en mémoire	099	CHS	-22	
044	LSTX	16-63		100	RCL2	36-02	
045	RCLE	36 15		101	+	-55	
046	X	-35		102	GSBO	23 00	$a = Y - bx = \frac{\Sigma Y - b \Sigma X}{N}$
047	ST + 4	35-55 04		103	PRTX	-14	
048	0	00	Les registres statistiques sont mis à zéro pour les calculs sur la série suivante de données.	104	RCLO	36 00	
049	STOI	35 46		105	GSBO	23 00	
050	P ⇒ S	16-51		106	PRTX	-14	\bar{x}
051	0	00		107	RCL2	36 02	Coordonnées du point moyen de la droite de régression.
052	STO4	35 04		108	GSBO	23 00	
053	STO5	35 05		109	PRTX	-14	\bar{y}
054	STO9	35 09		110	RTN	24	
055	P = S	16-51		111	-LBLO	21 00	Sous-programme $\left[x \frac{1}{N} \right]$
056	1	01	Lorsque le nombre de groupes de données introduits est égal à N	112	RCL5	36 05	
057	ST + 5	35-55 05	le programme s'arrête pour permettre l'inscription des données sur carte magnétique.	113	÷	-24	
058	RCL5	36 05		114	RTN	24	
059	RCLA	36 11		115	R/S	51	
060	X ≠ Y?	16-32					
061	RTN	24	Après inscription le programme repart automatiquement.				
062	WDTA	16-61					
063	-LBDL	21 14		3.	N = 3	-0.928	a
064	SPC	16-11		3.	n ₁ = 3	7.018	b
065	RCL4	86 84				2.684	\bar{x}
066	RCLO	36 04		123.000	x ₁₁	4.526	\bar{Y}
067	RCL2	36 02		456.000	x ₁₂		
068	X	-35		789.000	x ₁₃		
069	GSBO	23 00	Calcul et impression de r	456.000	\bar{x}		
070	-	-45		2.659	$\log \bar{x}$		
071	STO6	35 06		333.000	s _x		
072	RCL1	36 01		5.045	$\log s_x^2$		
073	RCLO	36 00		3.000	n ₂ = 3		
074	X ²	53					
075	GSBO	23 00					
076	-	-45		741.000	x ₂₁		
077	STO7	35 07		852.000	x ₂₂		
078	RCL3	36 03		963.000	x ₂₃		
079	RCL2	36 02					
080	X ²	53		852.000			
081	GSBO	23 00		2.930			

$$r = \frac{\Sigma xy - \frac{\Sigma x \cdot \Sigma y}{N}}{\sqrt{\left(\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{N}\right) \left(\Sigma y^2 - \frac{(\Sigma y)^2}{N}\right)}}$$

1.1.3. Exemple de contrôle

3.	N = 3	-0.928	a
3.	n ₁ = 3	7.018	b
		2.684	\bar{x}
		4.526	\bar{Y}
123.000	x ₁₁		
456.000	x ₁₂		
789.000	x ₁₃		
456.000	\bar{x}		
2.659	$\log \bar{x}$		
333.000	s _x		
5.045	$\log s_x^2$		
3.000	n ₂ = 3		
741.000	x ₂₁		
852.000	x ₂₂		
963.000	x ₂₃		
852.000			
2.930			

111.000
4.091

3.000 $n_3 = 3$

478.000 x_{31}
159.000 x_{32}
236.000 x_{33}

291.000
2.464
166.460
4.443

-0.451 r

4.2. PROGRAMME : « CALCUL DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE »

Pour des raisons pratiques nous avons réuni dans un même programme les calculs de l'intervalle de confiance de la moyenne de n données x_i réparties suivant une loi normale ou suivant une loi log-normale. Le calcul de la valeur C et sa comparaison avec C' permet ensuite de vérifier la validité de la transformation logarithmique.

4.2.1. Mode opératoire

- Vider les registres en appuyant sur [f, E].
- Introduire la série de données x_i en frappant chaque donnée et en appuyant sur A.
- Lorsque les données ont été introduites appuyer sur B qui commande l'impression de n .
- Frapper la valeur de t choisie et appuyer sur C. La calculatrice imprime successivement la limite inférieure, la moyenne, la limite supérieure et la précision pour l'hypothèse : données réparties suivant une loi normale.
- Appuyer sur D. La calculatrice imprime successivement la valeur C' , la limite inférieure, la moyenne, la limite supérieure, la précision inférieure et la précision supérieure pour l'hypothèse : données réparties suivant une loi log-normale.
- Appuyer sur E. La calculatrice imprime successivement C , C' , C'/C .

4.2.2. Liste des pas de programme

Pour le calcul de C on aura intérêt à se reporter à l'article de Merny (1970) la méthode de calcul décrite par cet auteur ayant été reprise pour la réalisation du programme.

001	-LBL	21 16 15	Programme de nettoyage vérifié par l'impression de 0.0000
002	CLRG	16-53	
003	P \rightleftharpoons S	16-51	
004	CLRG	16-53	
005	CLX	-51	
006	PRTX	-14	
007	SPC	16-11	
008	RTN	24	
009	-LBLA	21 11	Introduction des données et de leur transformée $y = \log x$ en mémoire statistique.
010	ENT↑	-21	
011	PRTX	-14	
012	LOG	16 32	Impression des données.
013	$\Sigma+$	56	
014	RTN	24	
015	-LBLB	21 12	Impression du nombre de données introduites.
016	SPC	16-11	
017	P \rightleftharpoons S	16-51	
018	RCL9	36 09	
019	PRTX	-14	
020	SPC	16-11	
021	P \rightleftharpoons S	16-51	
022	RTN	24	
023	-LBLC	21 13	Introduction et impression de la valeur t choisie.
024	PRTX	-14	
025	SPC	16-11	Calcul de l'intervalle de confiance
026	STO1	35 01	
027	P \rightleftharpoons S	16-51	
028	RCL9	36 09	
029	P \rightleftharpoons S	16-51	
030	\sqrt{X}	54	
031	1/X	52	
032	RCL1	36 01	
033	X	-35	
034	STO2	35 02	
035	S	16 54	
036	X \rightleftharpoons Y	-41	
037	ENT↑	-21	
038	RCL2	36 02	
039	X	-35	
040	STO2	35 02	
041	\bar{X}	16 53	
042	X \rightleftharpoons Y	-41	
043	RCL2	36 02	
044	+	-55	
045	PRTX	-14	$\bar{x} + \frac{t s_x}{\sqrt{n}} = 1s$
046	\bar{X}	16 53	
047	X = Y	-41	
048	PRTX	-14	\bar{x}
049	ENT↑	-21	
050	RCL2	36 02	
051	-	-45	
052	PRTX	-14	$\bar{x} - \frac{t s_x}{\sqrt{n}} = 1i$
053	\bar{X}	16 53	
054	X \rightleftharpoons Y	-41	
055	1/X	52	

056	ENT↑	-21		114	-	-45	
057	RCL2	36 02		115	ENT↑	-21	
058	X	-35		116	RCL3	36 03	
059	PRTX	-14	$\frac{t \cdot s_x}{\sqrt{n}} \times \frac{1}{\bar{x}}$	117	÷	-24	
060	R/S	51		118	PRTX	-14	$\frac{Ls - \bar{x}}{\bar{x}}$
061	-LBDL	21 14	Calcul de l'intervalle de confiance	119	RCL4	36 04	
062	P ⇌ S	16-51		120	RCL3	36 03	
063	RCL9	36 09	$\bar{y} \pm \frac{t s_y}{\sqrt{n}}$	121	-	-45	
064	P ⇌ S	16-51	$C' \cdot 10$	122	ENT↑	-21	
065	$\sqrt{\bar{X}}$	54		123	RCL3	36 03	
066	1/X	52		124	+	-24	
067	RCL1	36 01		125	PRTX	-14	$\frac{Li - \bar{x}}{\bar{x}}$
068	X	-35		126	R/S	51	
069	STO2	35 02		127	-LBLE	21 15	Calcul de C
070	S	16 54		128	P ⇌ S	16-51	Impression de n.
071	ENT↑	-21		129	RCL9	36 09	Mise en mémoire de n et n-1.
072	RCL2	36 02		130	P ⇌ S	16-51	
073	X	-35	$\frac{t s_y}{\sqrt{n}}$	131	DSPO	-63 00	
074	STOI	35 46		132	GSBa	23 16 11	
075	\bar{X}	16 53		133	STOA	35 11	
076	RCLI	36 46		134	1	01	
077	+	-55		135	-	-45	
078	10 ^x	16 33	$10^{\bar{y} + \frac{t s_y}{\sqrt{n}}} = L's = 10^{ls}$	136	STOO	35 00	
079	STO2	35 02		137	S	16 54	Rappel et impression de s _y ²
080	\bar{X}	16 53		138	X ²	53	
081	10 ^x	16 33		139	DSP5	-63 05	
082	STO3	35 03	$10^{\bar{y}}$	140	GSBa	23 16 11	
083	\bar{X}	16 53		141	RCLO	36 00	Calcul, impression et mise en
084	RCLI	36 46		142	X	-35	mémoire de A :
085	-	-45		143	PRTX	-14	
086	10 ^x	16 33	$10^{\bar{y} - \frac{t s_y}{\sqrt{n}}} = 10^{li} = L'i$	144	RCLO	36 00	$A = \frac{\frac{1}{2}(\ln 10)^2 (n-1) S_{2y}}{n}$
087	STO4	35 04		145	X	-35	
088	\bar{X}	16 53		146	RCLA	36 11	
089	X ⇌ Y	-41		147	÷	-24	
090	ENT↑	-21		148	1	01	S _{2y} = somme des carrés des
091	RCL3	36 03		149	0	00	écarts de y.
092	÷	-24		150	LN	32	
093	SPC	16-11		151	X ²	53	
094	PRTX	-14	C'	152	2	02	
095	SPC	16-11		153	÷	-24	
096	STO5	35 05		154	X	-35	
097	ENT↑	-21		155	PRTX	-14	
098	RCL2	36 02		156	STO1	35 01	
099	X	-35	$C' \cdot 10^{\bar{y} + \frac{t s_y}{\sqrt{n}}} = Ls$	157	1	01	Calcul et stockage cumulatif des
100	PRTX	-14		158	GSBb	23 16 12	termes successifs.
101	RCL5	36 05		159	DSPO	-63 00	
102	ENT↑	-21		160	0	00	
103	RCL3	36 03		161	PRTX	-14	$ti + 1 = \frac{A}{(i+1)(2i+n-1)} ti$
104	X	-35		162	STOI	35 46	avec to = 1
105	PRTX	-14	$C' \cdot 10^{\bar{y}} = \bar{x}$	163	-LBL9	21 09	jusqu'à ce que le dernier terme
106	RCL5	36 05		164	ISZI	16 26 46	calculé soit suffisamment petit
107	ENT↑	-21		165	RCL1	36 01	(< 0,00001)
108	RCL4	36 04		166	RCLI	36 46	
109	X	-35	$C' \cdot 10^{\bar{y} - \frac{t s_y}{\sqrt{n}}} = Li$	167	÷	-24	
110	PRTX	-14					
111	SPC	16-11					
112	RCL2	36 02					

168	RCLI	36 46		1.1006	C'
169	1	01			
170	-	-45		37 9863	Ls
171	2	02		20.000	\bar{x}
172	X	-35		10.5301	Li
173	RCLO	36 00			
174	+	-55		0.8993	Ps
175	÷	-24		-0.4735	Pi
176	RCL9	36 09			
177	X	-35		3.	n
178	DSP5	-63 05		0.05821	s ²
179	GSBb	23 16 12		0.11642	S _{2y} ^y
180	RCLI	36 46		0.20576	A
181	DSPO	-63 00			
182	PRTX	-14	Impression de C	1.0000	t ₀
183	RCL9	36 09		0.	
184	5	05			
185	CHS	-22		0.10288	t ₁
186	10 ^x	16 33		1.	
187	X < Y?	16-35			
188	GTO9	22 09		0.00265	t ₂
189	RCL8	36 08		2.	
190	DSP4	-63 04		0.00003	t ₃
191	GSBa	23 16 11		3.	
192	RCL5	36 05			
193	÷	-24		1.94476656-07	t ₄
194	1/X	52			
195	SPC	16-11		4.	
196	PRTX	-14	Impression de C'/C	1.1056	C
197	RTN	24			
				0.9956	C'/C.
198	-LBLa	21 16 11	Sous-programme a		
199	SPC	16-11			
200	PRTX	-14			
201	RTN	24			
202	-LBLb	21 16 12	Sous-programme b		
203	SPC	16-11			
204	PRTX	-14			
205	STO9	35 09			
206	ST+8	35-55 08			
207	RTN	24			
208	R/S	51			

pour une distribution log-normale

4.3. PROGRAMME : « Comparaison de deux moyennes de valeurs distribuées suivant une loi log-normale ».

Soient deux séries de résultats

$$a_1, a_2, \dots, a_{n_a}$$

$$b_1, b_2, \dots, b_{n_b}$$

Le programme permet de calculer la variable t du test de Student-Fischer sur les données transformées par $y = \log x$.

4.2.3. Exemple de contrôle

0.0000	-	Vérification du nettoyage des registres
10.0000	-	
20.0000	-	Données
30.0000	-	
3.0000	n	
2.0000	t	
31.5470	ls	Pour une distribution normale.
20.0000	\bar{x}	
8.4530	li	
0.5774	p	

4.3.1. Mode opératoire

— Appuyer sur A. L'impression de 0.00 indique que les registres ont été vidés.

— Frapper n_a et appuyer sur B.

— Introduire la série de données [a] en frappant chaque donnée et en appuyant sur C. Lorsque n_a données ont été introduites, la calculatrice avance d'une ligne sur la bande d'impression des résultats.

— Frapper n_b et appuyer sur D.

— Introduire la série de données [b] en frappant chaque donnée et en appuyant sur E lorsque n_b données

ont été introduites, la calculatrice avance d'une ligne sur la bande d'impression. Appuyer sur f.A. Les résultats sont imprimés dans l'ordre suivant :

$$s^2 (\log a, \log b) ; \frac{\Sigma \log a}{n} ; \frac{\Sigma \log b}{n} ; t$$

Le remplacement des deux pas de programme 016 et 036 correspondant à la transformation logarithmique permet d'utiliser ce programme pour n'importe quel type de données pour lesquelles on aura déterminé au préalable une forme analytique de la transformation normalisante. Bien entendu la suppression de ces pas permet l'utilisation pour des données réparties suivant une loi normale.

4.3.2. Liste des pas de programme

001	-LBA	21 11	Sous programme d'effacement des registres primaires et secondaires vérifié par l'impression de 0.00.
002	CLX	-51	
003	CLRG	16-53	
004	P = S	16-51	
005	CLRG	16-53	
006	PRTX	-14	
007	SPC	16-11	
008	RTN	24	
009	-LBLB	21 12	Introduction, impression et mise en mémoire de n_a
010	PRTX	-14	
011	STOA	35 11	
012	SPC	16-11	
013	RTN	24	
014	-LBLE	21 13	Introduction, impression, transformation et mise en mémoire des données [a]
015	PRTX	-14	
016	LOG	16 32	
017	ST+1	35-55 01	Comparaison du nombre de données introduites n à n_a
018	X ²	53	
019	ST+2	35-55 02	Lorsque $n = n_a$ la calculatrice passe une ligne sur la bande d'impression.
020	ISZI	16 26 46	
021	RCLI	36 46	
022	RCLA	36 11	
023	X ≠ Y?	16-32	
024	RTN	24	
025	0	00	
026	STOI	35 46	
027	SPC	16-11	
028	RTN	24	
029	-LBLD	21 14	Introduction, impression et mise en mémoire de n_b .
030	PRTX	-14	
031	STOB	35 12	
032	SPC	16-11	
033	RTN	24	
034	-LBLE	21 15	Introduction, impression, transformation et mise en mémoire des données [b]
035	PRTX	-14	
036	LOG	1632	
037	ST+3	35-55 03	Comparaison du nombre de données introduites n à n_b .
038	X ²	53	

039	ST+4	35-55 04	Lorsque $n = n_b$ la calculatrice passe une ligne sur la bande d'impression.
040	ISZI	16 26 46	
041	RCLI	36 46	
042	RCLB	36 12	
043	X ≠ Y?	16-32	
044	RTN	24	
045	SPC	16-11	
046	RTN	24	
047	-LBLa	21 16 11	Calcul et affichage de la variance estimée sur les données transformées des deux échantillons
048	RCLA	36 11	
049	RCLB	36 12	
050	+	-55	
051	2	02	
052	CHS	-22	
053	+	-55	
054	1/X	52	
055	STO5	35 05	
056	RCLA	36 11	
057	1/X	52	
058	RCL1	36 01	
059	X ²	53	
060	X	-35	
061	CHS	-22	
062	RCL2	36 02	
063	+	-55	
064	STO6	35 06	
065	RCLB	36 12	
066	1/X	52	
067	RCL3	36 03	
068	X ²	53	
069	X	-35	
070	CHS	-22	
071	RCL4	36 04	
072	+	-55	
073	RCL6	36 06	
074	+	-55	
075	RCL5	36 05	
076	X	-35	
077	DSP4	-63 04	
078	PRTX	-14	
079	SPC	16-11	Calcul et stockage du dénominateur de
080	STO7	35 07	
081	RCLA	36 11	
082	1/X	52	
083	RCLB	36 12	
084	1/X	52	
085	+	-55	
086	RCL7	36 07	
087	X	-35	
088	√X	54	
089	1/X	52	
090	STO8	3508	
091	RCL1	36 01	Calcul, impression et stockage de
092	RCLA	36 11	$\frac{\Sigma \log a}{na}$
093	1/X	52	
094	X	-35	

$$s^2 = \frac{\left[T_2 - \left(\frac{T_1}{na} \right)^2 \right]_a + \left[T_2 - \left(\frac{T_1}{nb} \right)^2 \right]_b}{na + nb - 2}$$

$$t = \frac{\frac{\Sigma \log a}{na} - \frac{\Sigma \log b}{nb}}{\sqrt{\frac{s^2}{na} + \frac{s^2}{nb}}}$$

095	PRTX	-14	
096	STO7	35 07	
097	RCL3	36 03	Calcul et impression de
098	RCLB	36 12	$\frac{\Sigma \log b}{nb}$
099	1/X	52	
100	X	-35	
101	PRTX	-14	
102	CHS	-22	Calcul et impression de t
103	RCL7	36 07	
104	+	-55	
105	RCL8	36 08	
106	X	-35	
107	SPC	16-11	
108	PRTX	-14	
109	SPC	16-11	
110	RTN	24	

4.3.3. Exemple de contrôle

0.0000	Mise à zéro des registres
5.0000	n_a
3.4800	a_1
3.9800	a_2
3.7200	a_3
3.8300	a_4
3.7500	a_5
5.0000	n_b
2.5600	b_1
2.5300	b_2
2.8300	b_3
2.3100	b_4
2.6300	b_5
0.0007	s_2
0.5738 ←	$\frac{\Sigma \log a}{n_a}$
0.4093 ←	$\frac{\Sigma \log b}{n_b}$
9.6081	t

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM, le 1^{er} mars 1978.

BIBLIOGRAPHIE

BALANDREAU (J.), DOMMERCUES (Y.), 1971. — Mesure *in situ* de l'activité nitrogenasique. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, t. 273 : 2020-2023.

CHAUDHRY (I.A.) et CORNFIELD (A.H.), 1966. — Determination of sulphide in waterlogged soils, *Pl. Soil*, 25 : 474-479.

DUCERF (P.), 1978. — Diplôme d'études approfondies. Université de Paris VI. Juillet 1978.

HARDY (R.W.F.), HOLSTEN (R.D.), JACKSON (E.K.), BURNS (R.C.), 1968. — The acetylene assay for N_2 fixation; laboratory and field evaluation. *Plant physiology*, 43 : 1185-207.

JACQ (V.), 1977. — Sensibilité du riz aux sulfures d'origine microbienne. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, vol. XII, n° 2 : 97-99.

JACQ (V.), 1978. — Utilisation du « Sulfur coated urea » en rizière et sulfatoréduction. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, vol. XIII, n° 2.

KENDALL (M.G.), STUART (A.), 1963-1968. — The advanced theory of statistics. 3 vols. Griffin London. Vol. 1, p. 232; vol. 3, p. 90.

LELLOUCH (J.), LAZAR (P.), 1974. — Méthodes statistiques en expérimentation biologique. Flammarion Médecine-Sciences. Paris, 283 p.

MERNY (G.), DEJARDIN (J.), 1970. — Les nématodes phytoparasites des rizières 'inondées de Côte d'Ivoire : II. Essai d'estimation de l'importance des populations. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, vol. XI : 45-67.

MOURARET (M.), BALDENSPERGER (J.), 1977. — Use of membrane filters for the enumeration of auto-trophy Thiobacilli. *Microb. Ecology*, 3 (4).

MOURARET (M.), BALDENSPERGER (J.), 1978. — Use of membrane filters for the enumeration of sulfate reducing bacteria. *Microb. Ecology* (sous presse).

NEYMAN (J.), SCOTT (E.), 1960. — Correction for bias introduced by a transformation of variables. *Ann. Math. Stat.*, 31 : 643-655.

RAIMBAULT (M.), RINAUDO (G.), GARCIA (J.L.), BOUREAU (M.), 1976. — A device to study metabolic gases in the rice rhizosphere. *Soil. Biol. Biochem.*, 9 : 193-196.

RINAUDO (G.), FARES-HAMAD (I.), DOMMERCUES (Y.), 1977. — N_2 fixation in the rice rhizosphere : methods of measurements; practices suggested to enhance the process. Proceedings on « Biological Nitrogen fixation in farming systems of the tropics ». (J. Wiley and sons Ltd. UK. ed).

ROGER (P.), REYNAUD (P.), RINAUDO (G.), DUCERF (P.), TRAORE (T.), 1977. — Mise en évidence de la distribution log-normale de l'activité réductrice d'acétylène *in situ*. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, vol. XII, n° 2 : 133-139.

TAYLOR (R.L.), 1961. — Aggregation, variance and the mean. *Nature*, London, 189 : 732-735.

TRAORE (T.), REYNAUD (P.), ROGER (P.), 1977. — Note sur le réemploi d'un même échantillon pour les mesures journalières de réduction de l'acétylène par les Cyanophycées. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, vol. XII, n° 2 : 141-144.