

O. C. C. G. E.
Institut de Recherches
sur la Trypanosomiase
et l'Onchocercose

C. E. M. V.
Centre Universitaire
de Formation en
Entomologie Médicale
et Vétérinaire

ANALYSE STATISTIQUE DES EXPERIENCES EN CARRE LATIN
PROGRAMME REALISABLE SUR HEWLETT-PACKARD 41

Par Jean-Paul GOUTEUX +

et Mamadou DAGNOGO ++

Ce travail a bénéficié d'un appui financier du Programme
Spécial FNUD/Banque Mondiale/OMS de recherches et de
Formation concernant les maladies tropicales.

N° 30/IRTO/RAP/82

N° 01/CEMV/82

+ Entomologiste médical de l'O.R.S.T.O.M.
I.R.T.O. 1500 BOUAKE (R.C.I.)

++ Assistant au Centre Universitaire de Formation en Entomologie
Médicale et Vétérinaire
C.E.M.V. 01 - B.P. 2597 - BOUAKE - 01 (R.C.I.)

19 MAI 1987
O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
90 N° : 15 199
M Cote : B

SUMMARY

ANALYSIS OF LATIN SQUARE EXPERIMENT

Program for Hewlett-Packard 41 Calculator

This report consist of a listing of a Hewlett-Packard 41 Program for the analysis of variance of latin square.

The program use the TAYLOR's power law to check the normality of data and to choose an adequate transformation if needed.

It permit a variance analysis of each latin square of size K and of C independ latin squares, with or without transformed data.

The homogeneity of variance is tested with the BARTLETT's chi-square statistic.

1 - INTRODUCTION

Ce rapport propose un programme pour l'analyse des expériences en carrés latins, utilisable sur calculatrices programmables Hewlett-Packard 41 (CV ou C équipées de 4 modules mémoires).

Ce programme analyse la variance d'un carré latin de taille quelconque (+) ou de plusieurs carrés latins indépendants. La normalité des données est testée par l'étude de la liaison moyenne-variance. Une transformation rendant la variance indépendante de la moyenne est alors réalisable (loi de puissance de Taylor). L'homogénéité des variances des C carrés latins analysés est ensuite testée selon la méthode de BARTLETT.

Ce programme est à l'origine destiné à l'analyse d'expériences de piégeage sur les tsétsé (DIPTERA : GLOSSINIDAE), servant de support à l'étude de l'effet répulsif de différents insecticides et des moyens d'améliorer ce piégeage. Mais le domaine d'utilisation des carrés latins est très vaste puisqu'il va de l'expérimentation en éco-éthologie à celui de la recherche médicale, vétérinaire ou agronomique.

Il est inutile d'insister sur l'intérêt que présente l'automatisation de calculs longs et fastidieux, évitant ainsi toutes pertes de temps et toutes erreurs. Quant à l'intérêt de l'analyse statistique elle-même, les erreurs parfois caricaturales d'une évaluation trop rapide ou trop approximative sont là pour le rappeler.

2 - DESCRIPTION DU PROGRAMME

Les notions générales sur les carrés latins se trouvent dans tous les manuels de statistiques notamment, le "Lellouch et Lazar" (1974). Nous renvoyons également à un rapport précédent (GOUTEUX, 1978). Le test de non-additivité selon TUCKEY n'a pas été inclus dans ce programme car un programme en basic pour PC1211 a déjà été établi par VAUGELADE (1982). Cependant il est à remarquer que CHAIZE (1982), citant les travaux de MILIKEN et GRAYBILL (1972), signale d'une part qu'il existe au moins 18 autres modèles mathématiques pour tester les inter-actions lignes-colonnes et donc que le modèle de TUCKEY n'est pas exhaustif et, d'autre part, qu'une transformation normalisante supprime généralement les interactions lignes-colonnes.

(+) Jusqu'à 6 avec une capacité mémoire non étendue de 2 240 octets). Dans ces conditions la réduction du programme à ses parties essentielles permettrait d'aller jusqu'à 9. .../...

Les formules utilisées sont les suivantes :

2 - 1 Analyse de la variance d'un carré latin de taille k.

Le caractère quantitatif mesuré est x. T_t est le total du traitement t, T_l et T_c les totaux de la ligne l et de la colonne c, TG est le total général.

La somme des carrés des écarts (SCE) pour les traitements, lignes et colonnes est $\frac{\sum T_t^2}{k} - \frac{TG^2}{k^2}$. La SCE totale est $\sum x^2 - \frac{TG^2}{k^2}$ et la SCE résiduelle est égale à la SCE totale moins la SCE des traitements, lignes et colonnes.

ORIGINE DES FLUCTUATIONS	ESTIMATION DE LA VARIANCE	F DE SNEDECOR
Entre traitement	$V_t = \frac{SCE_t}{k-1}$	V_t/V_{res}
Entre ligne	$V_l = \frac{SCE_l}{k-1}$	V_l/V_{res}
Entre colonnes	$V_c = \frac{SCE_c}{k-1}$	V_c/V_{res}
Résiduelle	$V_{res} = \frac{SCE_{res}}{(k-1)(k-1)}$	
Totale	$V_{tot} = \frac{SCE_{tot}}{k^2-1}$	

2 - 2 Analyse de la variance d'un ensemble de C carrés indépendants

on a dans ce cas $SCE_t = \frac{\sum T_t^2}{Ck} - \frac{T_t^2}{ck^2}$

$$SCE (1 \text{ ou } c) = \frac{\sum T_{1 \text{ ou } c}^2}{k} - \frac{T_{\text{carré}}^2}{k^2}$$

$$SCE_{\text{carré}} = \frac{\sum T_{\text{carré}}^2}{k^2} - \frac{TG^2}{Ck^2}$$

$$SCE_{\text{tot}} = \sum x^2 - \frac{TG^2}{Ck^2}$$

.../...

ORIGINE DES FLUCTUATIONS	ESTIMATION DE LA VARIANCE	F DE SNEDECOR
Entre traitements	$V_t = \frac{SCE_t}{k-1}$	V_t / V_{res}
Entre lignes	$V_l = \frac{SCE_l}{C(k-1)}$	V_l / V_{res}
Entre colonnes	Terme identique au précédent	
Entre carrés	$V_{carré} = \frac{SCE_{carré}}{C-1}$	$V_{carré} / V_{res}$
Résiduelle	$V_{res} = \frac{SCE_{res}}{(k-1)(Ck-C-1)}$	
Totale	$V_{tot} = \frac{SCE_{tot}}{Ck^2-1}$	

2-3 Etude de la liaison moyenne-variance

Les moyennes (m) et les variances (v) des N séries de n données constituées par les lignes et les colonnes, sont calculées, ainsi que le coefficient de corrélation (r) et la pente (b) de la droite de regression moyenne-variance en coordonnées logarithmiques.

$$m = \frac{\sum x}{n}$$

$$v(\text{ou } S^2) = \frac{\sum (x - m)^2}{n - 1} = \frac{\sum x^2}{n-1} - \frac{(\sum x)^2}{n(n-1)}$$

$$\sum mv = \frac{\sum m \cdot \sum v}{N}$$

$$r = \frac{\sum mv - \frac{\sum m \cdot \sum v}{N}}{\left[\left(\sum m^2 - \frac{(\sum m)^2}{N} \right) \left(\sum v^2 - \frac{(\sum v)^2}{N} \right) \right]^{1/2}}$$

$$b = r \frac{Sv}{Sm}$$

.../...

Dans le cas où le coefficient de corrélation est non significatif, il n'y a pas de liaison moyenne-variance. Si au contraire il est significatif, il existe une liaison moyenne variance incompatible avec une loi normale. Dans ce cas, la transformation normalisante (rendant la variance indépendante de la moyenne) est $y = x^p$ où $p = 1-b/2$ (loi de puissance de TAYLOR). Ainsi, si $p=1/2$, la transformation normalisante est la racine carrée, si $p = -1$, c'est l'inverse et si $p = -1/2$, c'est l'inverse de la racine carrée etc... La valeur $p = 0$ est interprétée comme une transformation logarithmique parce que la variable x^p se comporte comme $\text{Log } x$ lorsque p est petit. Le seuil choisi pour la transformation logarithmique : p inférieur ou égal à 0, 25 peut être modifié en introduisant un autre seuil au pas 391 du programme. En cas de transformation logarithmique ou pour les valeurs de p négatives, le programme permet d'éviter les valeurs nulles de x en prenant $x + 1$.

Pour obtenir des chiffres du même ordre de grandeur que les données utilisées dans l'étude qui a motivé ce programme (captures des glossines, valeur variant entre 0 à quelques dizaines), les données transformées sont multipliées par 10. Toutes autres modifications peuvent être évidemment envisagées en fonction de la nature des données, par le changement des pas 445 - 446 et 455 - 456.

2-4 Test d'homogénéité des variances

La formule du test de BARTLETT utilisée par le programme est la suivante :

$$M = 2,3026 \cdot \text{ddl}(\text{carré}) \cdot \left(C \text{ Log } \frac{\sum V_{\text{carré}}}{C} - \sum \text{Log} V_{\text{carré}} \right)$$

$$A = 1 + \frac{C + 1}{3C \text{ ddl}(\text{carré})}$$

La valeur $\frac{M}{A}$ est distribuée comme un KHI^2 pour $C - 1$ ddl.

3 - UTILISATION DU PROGRAMME

Le programme est conçu pour les conditions d'utilisation simples, sans imprimante. Il faut donc appuyer sur la touche R/S après chaque arrêt-affichage du calculateur.

3-1 Initialisation

Appel du programme par XEQ "CAR" ou XEQ "B" s'il est déjà positionné. Affichage : $k = ?$ introduire la dimension du carré (k). Affichage du nombre de registres des données nécessaires "SIZE = ...". Modification de la répartition mémoire si nécessaire (XEQ "SIZE ...").

.../...

3-2 Rentrée du tableau (lignes X Colonnes)

Le calculateur affiche "CARRE N° ..." avec signal sonore. Les données sont rentrées ligne par ligne après appel du calculateur : L1C1 = ? (ligne 1 colonne 1)... L1C2 = ?... etc... jusqu'à LkCk.

Nota : Pour éviter d'obtenir une variance nulle (et donc l'impossibilité de calculer son logarithme) lorsque toutes les valeurs d'une ligne (ou d'une colonne) sont identiques, ajouter une très petite valeur (0,0001) à l'une d'entre elles.

3-3 Test de normalité

Le calculateur affiche successivement : le nombre de degré de liberté du coefficient de corrélation "ddl = ...", le coefficient de corrélation "R=...", momentanément (2 seconde) la pente de la droite de regression Log moyenne - Log variance, puis l'exposant de transformation "p =". Un indicateur binaire, le FLAG 02 est utilisé pour décider de la transformation.

Le calculateur demande si la transformation est requise en affichant : "FLAG 2 ?". Selon la valeur de r et du seuil choisi, l'opérateur décide de l'opportunité de la transformation. S'il la juge nécessaire, il faut armer le FLAG 02 en appuyant sur SF02. Dans le cas contraire vérifier si le FLAG 02 est bien désarmé (appuyer sur CF 02).

3-5 Analyse de la variance du carré non transformé (FLAG 02 désarmé)

Le calculateur affiche successivement les variances. La valeur du F de SNEDECOR et les degrés de liberté :

"ddl RES = ..." ; "NON TRANS" ; "RES = ..." ; "TOT = ..." ; "T = ..." (pour traitement) ; "L = ..." (pour ligne) ; "C = ..." (pour colonne) ; "TEST F" ; idem T, L, C ; "ddl" ; idem T, L, C.

3-6 Si la transformation est demandée (FLAG 02 armé)

3-6-1 Rentrer de la valeur de chaque traitement

Le calculateur demande "T1 = ?" première valeur du premier traitement, puis "T2 = ?", deuxième valeur du premier traitement... etc... jusqu'à "Tk = ?", dernière valeur du dernier traitement.

3-6-2 Affichage du résultat du test de normalité sur les données transformées (voir 3-3).

3-6-3 Affichage des variances calculées sur les données transformées (voir 3-5) "TRANS" est affiché.

3-7 Carré suivant (voir 3-2)

3-8 Après introduction des C carrés :

Le calculateur demande le carré suivant (C + 1). Appuyer sur XEQ"E".

3-8-1 Test de BARTLETT

Le calculateur affiche successivement :

"M = ..."
"KHI² = ..."
"ddl = ..."

3-8-2 Analyse de variance (C CARRÉS INDEPENDANTS)

Le calculateur affiche successivement :

"V CAR = ..." ; "F CAR = ..." ; "RES = ..." ; "TOT = ..." ; "T = ...";
"L = ..." ; "C = ..." ; "ddl (idem) ; "TEST F" (idem).

Nota : les données pour chaque carré ont été transformées uniquement si le Flag N° 2 était préalablement armé.

4. EXEMPLE

Nous donnons ici comme exemple les résultats d'une expérience de piégeage de mouches tsétsés (essai de 4 pièges différents) réalisée en deux carrés latins indépendants. Les lignes représentent les jours et les colonnes les emplacements des pièges. (Pour des références plus précises sur cette expérience, voir GOUTEUX et al.; 1981)

.../...

1er carré

2ème carré

	I	II	III	IV
1	D0	B1	A9	C2
2	C2	D4	B1	A7
3	A4	C3	D7	B1
4	B1	A3	C1	D5

Total
A 23
B 4
C 8
D 16

	I	II	III	IV
1	B0	D7	A1	C2
2	D1	C1	B2	A8
3	C1	A4	D5	B1
4	A0	B1	C5	D3

Total
A 13
B 4
C 9
D 16

Résultats

Les résultats des différentes possibilités d'analyse sont donnés dans le tableau suivant :

	CARRE 1	CARRE 2	ENSEMBLE
DONNEES NON TRANSFORMEES	$r = 0,646$ (6ddl) S $p = 0,102$ VARIANCE ddl F RES = 4,979 6 TOT = 6,963 T = 17,896 3 3,594 L = 1,229 3 0,247 C = 5,729 3 1,115	$r = 0,934$ (6ddl) TS $p = - 0,163$ VARIANCE ddl F RES = 7,667 9 TOT = 6,117 T = 6,750 3 0,880 L = 0,417 3 0,054 C = 8,083 3 1,054	$KHI^2 = 0,061$ (1ddl) NS VARIANCE ddl F RES = 5,731 15 TOT = 21,281 31 T = 21,281 3 3,712 L = 0,83 6 0,141 C = 6,906 6 1,26 CAR- RE = 2,53 1 0,44
DONNEES TRANSFORMEES	$r = - 0,204$ (6 ddl) NS $p = - 1,293$ VARIANCE ddl F RES = 6,396 6 TOT = 7,835 T = 17,867 3 2,794 L = 2,875 3 0,450 C = 5,642 3 0,882	$r = 0,592$ (6ddl) NS $p = - 0,682$ VARIANCE ddl F RES = 7,268 6 TOT = 8,633 T = 9,524 3 1,310 L = 1,181 3 0,662 C = 17,923 3 2,466	$KH^2 = 0,034$ (1ddl) NS VARIANCE ddl F RES = 6,530 15 TOT = 22,071 31 T = 22,071 3 3,380 L = 2,028 6 0,311 C = 11,782 6 1,804 CAR- RE = 4,283 1 0,656
MLXTE	NON TRANSFORME	TRANSFORME	$KHI^2 = 0,167$ (1ddl) NS VARIANCE ddl F RES = 5,947 15 TOT = 22,181 31 T = 22,181 L = 1,205 3 3,730 C = 11,826 6 0,203 CAR- RE = 11 1 1,989

La lecture des tests (r , F , KHI^2) est faite à l'aide des tables données en annexe (annexe n° 1).

Dans tous les cas nous obtenons pour l'analyse de l'ensemble des 2 carrés, une différence significative au niveau des traitements (à 5 %) et non significative au niveau des lignes, colonnes ou carrés.

ADDENDUM

Un programme amélioré, ne nécessitant qu'une seule entrée des données et permettant d'autres possibilités de transformation est en cours d'élaboration et fera l'objet d'un rapport ultérieur.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient ici Messieurs Jacques BRENGUES, Directeur du Centre Universitaire de Formation en Entomologie Médicale et Vétérinaire (CEMV de Bouaké) et Daniel QUILLEVERE, Directeur de l'Institut de Recherches sur la Trypanosomiase et l'Onchocercose (IRTO de Bouaké) qui ont permis et facilité ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- CHALIZE (J.), 1982. - Mode de calcul de la variance d'interaction dans les blocs complets sans répétition et les carrés latins. Test de TUCKEY.
OCCGE Information n° 80 : 41 - 40.
- GOUPEUX (J.P.), 1979. - Analyse de la variance de carrés latins : Programmes réalisables sur HP 19/29 et 67/97.
Doc. Multigraphié ORSTOM-OCCGE N° 7.280/79-DOC.TECH.OCCGE.
- GOUPEUX (J.P.), CHALLIER (A.) et LAVEISSIERE (C.), 1981. - Modifications et essais du piège à glossines (Diptera, Glossinidae) Challer-Laveissière. Cah. ORSTOM sér. Ent. méd. Parasitol., vol. XIX, n° 2 : 87-99.
- LELLOUCH (J.) et LAZAR (P.), 1974. - Méthodes statistiques en expérimentation biologique, Flammarion, Paris : 284 pp.
- MILLIKEN (G.A.), GRAYBILL (F.A.), 1972. - Interaction models for the latin square. Austral. J. Statist., 14 (2) : 129 - 138.
- VAUGELADE (J.), 1982. - Programmation en basic du test de TUCKEY pour PC 1211.
OCCGE Informations n° 80 : 41 - 48.

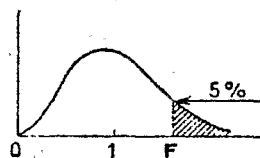
LISTAGE DU PROGRAMME

01*LBL "CAR"	61 RCL 01	121 RCL 06	181 FRC	241 RCL 14
02*LBL B	62 RCL 02	122 X+2	182 .001	242 *
03 CLRG	63 "L"	123 XEQ 15	183 +	243 ST+ 09
04 FIX 0	64 ARCL X	124 -	184 ENTER↑	244 RTN
05 CF 00	65 "FC"	125 STO 12	185 ENTER↑	245*LBL 15
06 CF 01	66 ARCL Y	126 RCL 11	186 1000	246 RCL 20
07 CF 03	67 "I=?"	127 *	187 *	247 2
08 "K=?"	68 PROMPT	128 SQRT	188 RCL 20	248 *
09 PROMPT	69*LBL 10	129 RCL 10	189 X+2	249 /
10 STO 20	70 FS? 03	130 /	190 1	250 RTN
11 30	71 XEQ 10	131 1/X	191 -	251*LBL "CL"
12 +	72 STO IND 00	132 STO 13	192 1000	252 FIX 3
13 STO 00	73 Σ+	133 RCL 20	193 /	253 RCL 17
14 RCL 20	74 LASTX	134 2	194 +	254 FS? 01
15 X+2	75 ST+ 17	135 *	195 +	255 STO 23
16 +	76 X+2	136 2	196 STO 00	256 FS? 01
17 "SIZE"	77 ST+ 07	137 -	197 1	257 ST+ 25
18 XEQ "AE"	78 1	138 FIX 0	198 STO 01	258 RCL 18
19*LBL A	79 ST+ 01	139 "dd1"	199 STO 02	259 FS? 01
20 CF 01	80 RCL 20	140 XEQ "AF"	200 RTN	260 ST+ 21
21 RCL 23	81 RCL 01	141 FIX 3	201*LBL 06	261 RCL 19
22 RCL 20	82 X+Y?	142 RCL 13	202 1	262 FS? 01
23 /	83 XEQ 06	143 FIX 3	203 STO 01	263 ST+ 22
24 X+2	84 ISC 00	144 "R"	204 ST+ 02	264 RCL 07
25 ST+ 26	85 GTO 05	145 XEQ "AF"	205 RCL 10	265 FS? 01
26 1	86 XEQ 02	146 RCL 12	206 X+2	266 ST+ 24
27 ST+ 03	87 0	147 RCL 11	207 ST+ 18	267 RCL 20
28*LBL "AA"	88 STO 01	148 /	208 XEQ 09	268 ST/ 10
29 4.019	89 STO 02	149 SQRT	209 CLΣ	269 ST/ 18
30 XEQ "CR"	90 CLΣ	150 RCL 13	210 RTN	270 ST/ 19
31 XEQ 02	91*LBL 07	151 *	211*LBL 08	271 ST/ 17
32 CF 03	92 RCL IND 00	152 PSE	212 0	272 RCL 17
33 CF 04	93 Σ+	153 2	213 STO 01	273 ST* 17
34 CF 00	94 1	154 /	214 1	274 RCL 17
35 RCL 03	95 ST+ 01	155 1	215 ST+ 02	275 ST- 16
36 "CARRE N0"	96 RCL 20	156 -	216 RCL 20	276 ST- 18
37 ARCL X	97 ST+ 00	157 STO 30	217 X+2	277 ST- 19
38 AVIEW	98 RCL 01	158 "P"	218 ST- 00	278 ST- 07
39 BEEP	99 X=Y?	159 XEQ "AF"	219 1	279 RCL 07
40 STOP	100 XEQ 08	160 FIX 0	220 ST+ 00	280 STO 17
41 XEQ 05	101 RCL 02	161 RTN	221 RCL 10	281 RCL 20
42 XEQ 0	102 RCL 20	162*LBL 01	222 X+2	282 X+2
43 "FLAG 2?"	103 X*Y?	163 31	223 ST+ 19	283 1
44 AVIEW	104 GTO 07	164 ENTER↑	224 XEQ 09	284 -
45 STOP	105 RTN	165 ENTER↑	225 CLΣ	285 ST/ 17
46 XEQ 01	106*LBL 0	166 RCL 20	226 RTN	286 FS? 01
47 XEQ 04	107 RCL 09	167 1	227*LBL 09	287 XEQ 03
48 FC? 02	108 RCL 04	168 -	228 MEAN	288 RCL 16
49 SF 01	109 RCL 06	169 +	229 LOG	289 ST- 07
50 XEQ "CL"	110 *	170 1000	230 STO 14	290 RCL 18
51 FC? 02	111 XEQ 15	171 /	231 ST+ 04	291 ST- 07
52 GTO A	112 -	172 +	232 X+2	292 RCL 19
53 XEQ "TT"	113 STO 10	173 STO 00	233 ST+ 05	293 ST- 07
54 XEQ 0	114 RCL 05	174 0	234 SDEV	294 RCL 20
55 SF 01	115 RCL 04	175 STO 01	235 X+2	295 1
56 XEQ "CL"	116 X+2	176 STO 02	236 LOG	296 -
57 GTO A	117 XEQ 15	177 RTN	237 ST+ 06	297 RCL 20
58*LBL 05	118 -	178*LBL 02	238 X+2	298 2
59 FS? 03	119 STO 11	179 XEQ 01	239 ST+ 08	299 -
60 GTO 10	120 RCL 08	180 RCL 00	240 LASTX	300 *

301 ST/ 07	361+LBL 21	421 GTO 16	481 *	541 ST/ 22	601 X12
302 FIX 0	362 *NON TRANS*	422 XEQ 02	482 RCL 29	542 ST/ 27	602 RCL 03
303 *dd1 RES*	363 RTN	423 XEQ 10	483 -	543 /	603 *
304 XEQ *AF*	364+LBL 04	424 RTN	484 10	544 X12	604 1
305 FIX 3	365 1	425+LBL 17	485 LN	545 RCL 03	605 -
306 RCL 20	366 ST+ 01	426 0	486 *	546 ST/ 27	606 STO 13
307 1	367 RCL 01	427 STO 01	487 RCL 20	547 /	607 ST/ 24
308 -	368 *ST*	428 1	488 X12	548 STO 25	608 RCL 27
309 ST/ 16	369 ARCL X	429 ST+ 02	489 1	549 RCL 26	609 STO 17
310 ST/ 18	370 *I=?*	430 RCL 10	490 -	550 ST- 21	610 RCL 27
311 ST/ 19	371 PROMPT	431 ST+ IND 00	491 STO 29	551 ST- 22	611 STO 16
312 FS? 03	372 FC? 02	432 X12	492 *	552 RCL 25	612 RCL 21
313 XEQ 20	373 ST+ IND 00	433 ST+ 16	493 STO 28	553 ST- 26	613 STO 18
314 FC? 03	374 X12	434 0	494 *M*	554 ST- 24	614 RCL 22
315 XEQ 21	375 ST+ 16	435 STO 10	495 XEQ *AF*	555 ST- 27	615 STO 19
316 TONE 8	376 ISG 00	436 RTN	496 RCL 03	556 RCL 24	616 RCL 29
317 AVIEW	377 GTO 04	437+LBL 11	497 1	557 RCL 27	617 STO 07
318 STOP	378 RTN	438 FS? 00	498 +	558 RCL 21	618 XEQ 22
319 XEQ 22	379+LBL 03	439 GTO 12	499 RCL 03	559 +	619 RCL 28
320 RCL 07	380 RCL 17	440 GTO 13	500 RCL 29	560 RCL 22	620 STO 16
321 ST/ 16	381 ST+ 28	441+LBL 12	501 *	561 RCL 26	621 RCL 10
322 ST/ 18	382 LOG	442 1	502 3	562 +	622 STO 18
323 ST/ 19	383 ST+ 29	443 +	503 *	563 +	623 STO 19
324 *TEST F*	384 RTN	444 LOG	504 /	564 -	624 RCL 12
325 AVIEW	385+LBL *TT*	445 10	505 1	565 STO 29	625 STO 07
326 STOP	386 CLA	446 *	506 +	566 RCL 20	626 RCL 13
327 XEQ 23	387 SF 03	447 RTN	507 RCL 28	567 1	627 STO 17
328 FIX 0	388 CF 00	448+LBL 13	508 X<>Y	568 -	628 *dd1*
329 RCL 20	389 4.019	449 FS?04	509 /	569 STO 28	629 AVIEW
330 1	390 XEQ *CR*	450 1	510 *KH12*	570 ST/ 27	630 STOP
331 -	391 .25	451 FS?04	511 XEQ *AF*	571 RCL 03	631 FIX 0
332 STO 16	392 RCL 30	452 +	512 RCL 03	572 *	632 XEQ 22
333 STO 18	393 ABS	453 RCL 30	513 1	573 STO 10	633 FIX 3
334 STO 19	394 X<=Y?	454 YTX	514 -	574 ST/ 21	634 RCL 29
335 *dd1*	395 SF 00	455 10	515 FIX 0	575 ST/ 22	635 ST/ 27
336 AVIEW	396 RCL 30	456 *	516 *dd1*	576 RCL 03	636 ST/ 21
337 STOP	397 X<0?	457 RTN	517 XEQ *AF*	577 1	637 ST/ 22
338 XEQ 23	398 SF 04	458+LBL 18	518 FIX 3	578 -	638 RCL 27
339 RTN	399 XEQ 01	459 RCL IND 00	519 RTN	579 STO 11	639 STO 16
340+LBL 22	400 1	460 XEQ 11	520+LBL E	580 ST/ 26	640 RCL 21
341 RCL 07	401 STO 02	461 RTN	521 FIX 3	581 RCL 26	641 STO 18
342 *RES*	402+LBL 16	462+LBL *CR*	522 1	582 *Y CAR*	642 RCL 22
343 XEQ *AF*	403 1	463 0	523 ST- 03	583 XEQ *AF*	643 STO 19
344 RCL 17	404 ST+ 01	464 STO IND Y	524 FS? 02	584 RCL 20	644 *TEST F*
345 *TOT*	405 RCL 02	465 RDN	525 XEQ 20	585 RCL 03	645 AVIEW
346 XEQ *AF*	406 RCL 01	466 ISG X	526 FC? 02	586 *	646 STOP
347+LBL 23	407 ARCL Y	467 GTO *CR*	527 XEQ 21	587 RCL 03	647 XEQ 23
348 RCL 16	408 *IT*	468 RTN	528 AVIEW	588 -	648 RTN
349 *T*	409 ARCL X	469+LBL *AF*	529 STOP	589 1	649 .END.
350 XEQ *AF*	410 *I=?*	470 *I=?*	530 XEQ *BART*	590 -	
351 RCL 18	411 PROMPT	471 ARCL X	531 XEQ 01	591 RCL 28	
352 *L*	412 CLA	472 AVIEW	532+LBL 19	592 *	
353 XEQ *AF*	413 XEQ 11	473 STOP	533 RCL IND 00	593 STO 12	
354 RCL 19	414 ST+ 10	474 RTN	534 X12	594 ST/ 29	
355 *C*	415 RCL 01	475+LBL *BART*	535 ST+ 27	595 RCL 26	
356 XEQ *AF*	416 RCL 20	476 RCL 03	536 ISG 00	596 RCL 29	
357 RTN	417 X*Y?	477 ST/ 28	537 GTO 19	597 /	
358+LBL 20	418 GTO 16	478 RCL 03	538 RCL 25	598 *F CAR*	
359 *TRANS*	419 XEQ 17	479 RCL 20	539 RCL 20	599 XEQ *AF*	
360 RTN	420 ISG 00	480 LOG	540 ST/ 21	600 RCL 20	

Table de F (point 5%) (*).

La table donne la limite supérieure de $F = \frac{s_A^2}{s_B^2}$, pour le risque 5% (valeur ayant 5 chances sur 100 d'être égalee ou dépassée), en fonction des nombres de degrés de liberté l_A et l_B .



$l_B \backslash l_A$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,9	245,9	248,0	249,1	250,1	251,1	252,2	253,3	254,3
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,43	19,45	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	2,07	1,99	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,13	2,06	1,97	1,93	1,88	1,84	1,79	1,73	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	2,04	1,96	1,91	1,87	1,82	1,77	1,71	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,10	2,03	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,25
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00

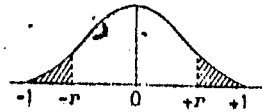
La valeur cherchée $F_{l_B}^{l_A}$ est lue à l'intersection de la colonne l_A et de la ligne l_B .

Exemple : pour les degrés de liberté $l_A = 6$, $l_B = 10$, la limite supérieure de F est $F_{10}^6 = 3,22$.

(*) D'après E.S. Pearson et H. O. Hart'zy, Biometrika tables for statisticians, vol. 1, University Press, Cambridge, avec l'aimable autorisation des auteurs.

Table du coefficient de corrélation (*)

La table indique la probabilité α pour que le coefficient de corrélation égale ou dépasse, en valeur absolue, une valeur donnée r , c'est-à-dire la probabilité extérieure à l'intervalle $(-r, +r)$, en fonction du nombre de degrés de liberté (d.d.l.).



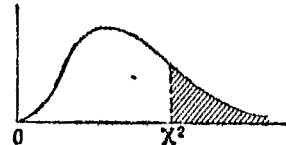
d.d.l. \ α	0,10	0,05	0,02	0,01
1	0,9877	0,9969	0,9995	0,9999
2	0,9000	0,9500	0,9800	0,9900
3	0,8054	0,8783	0,9343	0,9587
4	0,7293	0,8114	0,8822	0,9172
5	0,6694	0,7545	0,8329	0,8745
6	0,6215	0,7067	0,7887	0,8343
7	0,5822	0,6664	0,7498	0,7977
8	0,5494	0,6319	0,7155	0,7646
9	0,5214	0,6021	0,6851	0,7348
10	0,4973	0,5760	0,6581	0,7079
11	0,4762	0,5529	0,6339	0,6835
12	0,4575	0,5324	0,6120	0,6614
13	0,4409	0,5139	0,5923	0,6411
14	0,4259	0,4973	0,5742	0,6226
15	0,4124	0,4821	0,5577	0,6055
16	0,4000	0,4683	0,5425	0,5897
17	0,3887	0,4555	0,5285	0,5751
18	0,3783	0,4438	0,5155	0,5614
19	0,3687	0,4329	0,5034	0,5487
20	0,3598	0,4227	0,4921	0,5368
25	0,3233	0,3809	0,4451	0,4869
30	0,2960	0,3494	0,4093	0,4487
35	0,2746	0,3246	0,3810	0,4182
40	0,2573	0,3044	0,3578	0,3932
45	0,2428	0,2875	0,3384	0,3721
50	0,2306	0,2732	0,3218	0,3541
60	0,2108	0,2500	0,2948	0,3248
70	0,1954	0,2319	0,2737	0,3017
80	0,1829	0,2172	0,2565	0,2830
90	0,1726	0,2050	0,2422	0,2673
100	0,1638	0,1946	0,2301	0,2540

Exemple : avec d.d.l. = 30, pour $r = 0,3494$ la probabilité est $\alpha = 0,05$.

(*) D'après Fisher et Yates, Statistical tables for biological, agricultural and medical research (Oliver and Boyd, Edinburgh), avec l'aimable autorisation des auteurs et des éditeurs.

Table de χ^2 (*).

La table donne la probabilité α pour que χ^2 égale ou dépasse une valeur donnée, en fonction du nombre de degrés de liberté (d.d.l.).



α d.d.l.	0,90	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,0158	0,455	1,074	1,642	2,706	3,841	5,412	6,635	10,827
2	0,211	1,386	2,408	3,219	4,605	5,991	7,824	9,210	13,815
3	0,584	2,366	3,665	4,642	6,251	7,815	9,837	11,345	16,266
4	1,064	3,357	4,878	5,989	7,779	9,488	11,668	13,277	18,467
5	1,610	4,351	6,064	7,289	9,236	11,070	13,388	15,086	20,515
6	2,204	5,348	7,231	8,558	10,645	12,592	15,033	16,812	22,457
7	2,833	6,346	8,383	9,803	12,017	14,067	16,622	18,475	24,322
8	3,490	7,344	9,524	11,030	13,362	15,507	18,168	20,090	26,125
9	4,168	8,343	10,656	12,242	14,684	16,919	19,679	21,666	27,877
10	4,865	9,342	11,781	13,442	15,987	18,307	21,161	23,209	29,588
11	5,578	10,341	12,899	14,631	17,275	19,675	22,618	24,725	31,264
12	6,304	11,340	14,011	15,812	18,549	21,026	24,054	26,217	32,909
13	7,042	12,340	15,119	16,985	19,812	22,362	25,472	27,688	34,528
14	7,790	13,339	16,222	18,151	21,064	23,685	26,873	29,141	36,123
15	8,547	14,339	17,322	19,311	22,307	24,996	28,259	30,578	37,697
16	9,312	15,338	18,418	20,465	23,542	26,296	29,633	32,000	39,252
17	10,085	16,338	19,511	21,615	24,769	27,587	30,995	33,409	40,790
18	10,865	17,338	20,601	22,760	25,989	28,869	32,346	34,805	42,312
19	11,651	18,338	21,689	23,900	27,204	30,144	33,687	36,191	43,820
20	12,443	19,337	22,775	25,038	28,412	31,410	35,020	37,566	45,315
21	13,240	20,337	23,858	26,171	29,615	32,671	36,343	38,932	46,797
22	14,041	21,337	24,939	27,301	30,813	33,924	37,659	40,289	48,268
23	14,848	22,337	26,018	28,429	32,007	35,172	38,968	41,638	49,728
24	15,659	23,337	27,096	29,553	33,196	36,415	40,270	42,980	51,179
25	16,473	24,337	28,172	30,675	34,382	37,652	41,566	44,314	52,620
26	17,292	25,336	29,246	31,795	35,563	38,885	42,856	45,642	54,052
27	18,114	26,336	30,319	32,912	36,741	40,113	44,140	46,963	55,476
28	18,939	27,336	31,391	34,027	37,916	41,337	45,419	48,278	56,893
29	19,768	28,336	32,461	35,139	39,087	42,557	46,693	49,588	58,302
30	20,599	29,336	33,530	36,250	40,256	43,773	47,962	50,892	59,703

Exemple : avec d.d.l. = 3, pour $\chi^2 = 0,584$ la probabilité est $\alpha = 0,90$.

Quand le nombre de degrés de liberté est élevé, $\sqrt{2\chi^2}$ est à peu près distribué normalement autour de $\sqrt{2}$ (d.d.l.) - 1 avec une variance égale à 1.

(*) D'après Fisher et Yates, Statistical tables for biological, agricultural, and medical research (Oliver and Boyd, Edinburgh) avec l'aimable autorisation des auteurs et des éditeurs.