L'UTILISATION PRATIQUE DES TRAITEMENTS STATISTIQUES SOUS « EXCEL »

Par Alain Mouchès

Maître de Conférences à l'Institut de Psychologie et de Sociologie Appliquées, U.C.O, Angers.

1.Généralités :

Un travail de recherche permet d'analyser et interpréter nos données, pour vérifier nos hypothèses. Et cette validation des conclusions expérimentales est intimement liée à l'emploi de la statistique. Mais le choix des tests appropriés est souvent délicat.
Le document proposé n'est pas un abrégé de statistiques, mais simplement une aide concrète vous permettant d'acquérir un « savoir-faire » des principaux tests statistiques.
Toutefois il est utile de vous souvenir de vos cours de statistiques, ou au besoin d'avoir sous la main un ouvrage de statistiques pour suivre ces exercices.

On parle souvent en Sciences Humaines, de "variable dépendante" et de "variables indépendantes"... Rappelons que la variable définit les caractéristiques de la mesure que l'on utilise pour prélever l'information.
La variable dépendante = les données : se poser une question-problème, et décrire la conduite étudiée.
La variable indépendante = source de variations, conditions manipulées par l'observateur.

Petit rappel (*avec un exemple tout à fait absurde, je le précise !*):
Supposons que je veux étudier la consommation de chocolat chez les étudiants (= *Variable dépendante*), et plus précisément, je veux savoir si les Littéraires mangent plus (ou moins) de chocolat que les Scientifiques (*Variable indépendante*).

Première difficulté: la typologie des variables.
Pour évaluer un traitement à partie des données opérées, il faut déterminer le type d'échelle de mesure utilisé.
Généralement, il existe trois niveaux de mesure. Ma variable dépendante est-elle: ordinale? nominale? d'intervalle ?
Nominal = classe d'équivalence, ordinal = plus grand que..., et intervalle = grandeur des intervalles entre les objets d'une échelle ordinale.
Si je décide de noter simplement l'existence ou l'absence de chocolat selon les individus (*je note « oui », ou « non », sans considérer la quantité*) alors la variable dépendante est devenue «nominale ».

Par contre, si je décide de comptabiliser le poids consommé de chocolat (en gramme) par jour, et par individus, dans ce cas nous avons affaire à une variable ordinale (continue). De même si l'on demande à notre consommateur de chocolat d'estimer de façon numérique sa dépendance (par ex . en utilisant une échelle de type « Likert » : 0= pas du tout, 1= un peu, 2 = assez souvent, etc.), c'est encore une échelle ordinale. Toutefois certains auteurs préfèrent parler d'échelle d'intervalle… Et j'avoue ne pas saisir toutes ces subtilités !
Disons qu'il existe des échelles « d'intervalles », c'est à dire sous forme de valeurs numériques particulières.
Par exemple on peut estimer le temps mis pour manger toute une tablette de chocolat.
Ou encore on obtient un score après épreuve qui indique l'état du consommateur, après ingestion de toute la tablette. (calcul par cumul des événements psychophysiologiques – nausée, anxiété, etc.-cités dans un questionnaire).

En tout cas selon les différentes échelles, on utilisera des tests appropriés.
Mais il existe un autre problème. Certains tests peuvent être « paramétriques », et d'autres « non-paramétrique ».
Que signifie cette différence entre tests ?

Si ma variable est ordinale, et si la population des étudiants est importante, on peut supposer que la distribution suit la loi normale (loi de Gauss).
En effet la consommation de chocolat varie selon les individus : quelques personnes ont une consommation nulle, ou très faible et au contraire quelques personnes trop gourmandes mangent toute une plaquette, et la majorité des individus auront une consommation plus raisonnable… Donc les échantillons suivent une distribution normale, c'est à dire un distribution « en forme de cloche ».
Si ma variable suit la loi de probabilité de Gauss, j'ai "le droit" d'utiliser les tests paramétriques. Je pourrai par exemple utiliser un « test de moyennes », tel que le « t de Student »
Cependant pour compliquer encore, on peut avoir des variables qui ne suivent pas vraiment la loi normale… Dans ce cas, on préférera les tests « non-paramétriques ».

En réalité, c'est parfois difficile de choisir les tests employés...
En effet, en particulier dans le cas des petits échantillons, certains histogrammes obtenus sont plus "ordinales" que "nominales", mais pourtant sont très loin d'une distribution dite « normale ».
Dans certains cas, les tests non-paramétriques sont plus adaptés. Et de fait, il existe des méthodes non-paramétriques qui traitent aussi des variables ordinales, et qui sont très adaptables à des cas particuliers.
Cependant beaucoup de chercheurs en Sciences humaines préfèrent utiliser les tests "paramétriques"… C'est une affaire de choix ! (*ou de flemme ?*).
Je vous signale néanmoins que certains nostalgiques des tests non-paramétriques ont réalisé des logiciels « free » permettant de calculer ces tests.

Dans tous les cas, le logiciel Excel (ainsi que ce logicien « free » trouvé par Internet) va vous permettre de réaliser très facilement la plupart des traitements statistiques, paramétriques ou non-paramétriques.

Mais auparavant, quelques « astuces » pour traiter facilement vos données sous Excel

A. Une première astuce : le « collage spécial »

Mes données que je vais tester sont en « ligne », et je veux qu'ils soient en « colonne »… Que faire ? Réponse : si vous devez changer vos données de « ligne» en « colonne »-ou inversement-: copiez vos données, et sélectionnez un emplacement, puis dans « **Edition** », choisir « **Collage spécial** », puis « **Transposé** », et cliquez **OK**.

B. Une deuxième astuce : « le filtrage »

Un exemple: vous venez de saisir les résultats d'un questionnaire…

SUJET	AGE	TEST 1	TEST 2	SEXE
1	enfant	25	10	homme
2	adulte	26	11	femme
3	adolescent	42	14	homme
4	adolescent	36	10	homme
5	adulte	21	9	homme
6	adulte	20	8	femme
7	enfant	32	12	femme
8	adulte	31	14	homme
//	…	...		femme
268	…etc.	…	…	…..

Vous possédez une foule d'informations, mais si vous devez comparer manuellement vos résultats aux différentes modalités (homme ou femme, grand moyen ou petit, enfant ou adulte etc…), votre analyse sera bien complexe !

Mais Excel possède un outil très efficace : le « filtrage », très pratique pour traiter vos données.
Procédure : dans « **Données** », cherchez « **filtre** ». Sélectionnez une cellule (par exemple dans « sujet », ou « sexe », ou « âge » etc.), et cliquez sur la commande « **filtrage automatique** ».
Ensuite vous pouvez très facilement séparer vos groupes soit en « hommes », soit en « femmes », ou encore vous pouvez analyser uniquement les « hommes-adultes », etc.

C. Où trouver les analyses statistiques intéressantes, sous Excel ?

C'est paradoxal, mais vous ne trouverez pas beaucoup de tests statistiques intéressants dans la fonction « statistiques » d'Excel !
Il faut plutôt chercher dans les « macros », et plus précisément dans « **Utilitaire analyse** ».
Comment peut-on trouver ce précieux « macro » ? Dans **« Outils »,** cherchez « **Utilitaire d'analyse** », (et si vous ne le trouvez pas, cherchez dans « **macros complémentaire** », et cochez « Utilitaire d'analyse »…)

Dans le cas des tests non-paramétriques, nous avons utilisé le logiciel "Astro Research" de Mr H. Delboy, médecin, statisticien, astrologue, musicologue, etc… Ce scientifique passionné d'astrologie, alchimie et d'autres bizarreries ésotériques a réalisé un logiciel remarquable et gratuit, qui fonctionne sous Excel. (*adresse* ***:hdelboy.club.fr/Nonparam.htm*****)**

2. Calculs statistiques paramétriques:

Ces quelques pages vous expliquent la marche à suivre des calculs les plus utilisés, en donnant des exemples.

A. L'enregistrement des observations:

1- Calculer la moyenne, l'écart-type, analyser la dispersion, etc…
(Visitez vos anciens cours de statistiques, SVP…)

Procédure : dans « **Utilitaire d'analyse** », cliquez « **Statistiques descriptives** », et cochez « **Rapport détaillé** ».

Entrez vos données dans « plage d'entrée » (en sélectionnant avec la souris la zone choisie), précisez si les données sont en colonnes, ou en lignes, et faites OK.

Vous trouvez aussitôt *la **moyenne**, **l'erreur-type** (*Erreur-type : $s_x = S/\sqrt{n}$), *la **médiane**, le **mode*** (= la valeur de l'observation associée à la fréquence la plus élevée) *, **l'écart-type*** (Ecart-type : $S = \sqrt{\sum (X - \overline{X})^2 / (n-1)}$), *la **variance** de l'échantillon (= le carré de l'écart-type S),, le coefficient d'aplatissement **Kurstosis**, le coefficient d'assymétrie, etc…*

2- Réalisation d'une distribution de fréquence : création d'un histogramme de données quantitatives groupées.

Exemple: un enseignant vient de corriger 20 copies d'examen. Les notes vont de 2 à 18/20, et il souhaite connaître la distribution.

Notes :

10	**9**	**8**	**7,5**	**17**	**18**	**12**	**13**	**7**	**6**	**4,5**	**11**	**13**	**10**	**8**	**8**	**11**	**13**	**2**	**6**	**11**

Cet enseignant décide d'utiliser des intervalles de notes pour réaliser un graphique plus représentatif.
Il détermine 9 classes, correspondant à l'intervalle de partition :
(1à 3), (3-5), (5-8), … (18-20)

Tableau de 9 classes :

1	**3**	**5**	**8**	**10**	**12**	**14**	**16**	**18**

Procédure : dans **« Utilitaire d'analyse », cliquez « Histogramme** ».
Rentrez les notes dans « plage d'entrée», et les 9 classes dans « plage des classes».
Vous pouvez cocher également « **représentation graphique** », puis « **OK** »… Et vous aurez aussitôt un résultat indiquant les classes, la fréquence des résultats, (*et en prime, un joli histogramme...*) Vous pouvez d'ailleurs transformer cet histogramme tout à loisir dans l' « Assistant graphique » d'Excel.

Remarque : si vous souhaitez créer une distribution de fréquence avec des données « non-groupées », il ne faut plus utiliser l'outil « histogramme » de l'Utilitaire d'analyse, mais à l'aide du « **Tableau croisé dynamique** » qui se trouve dans le menu « **Données** ».
Dans notre cas, cliquez sur « suivant », indiquez vos notes dans « plage », et cliquez sur **« disposition »**…
Ensuite glissez simplement le champ des « notes » sur le rectangle « ligne », puis glissez à nouveau sur « données ». Ensuite, cliquez « Terminer »… Là, vous allez vous sentir un peu bête car vous n'obtenez pas de « Fréquence », mais une banale « Somme » ! C'est normal, ne paniquez pas… Cliquez deux fois sur « somme », et vous tombez dans un « Champ dynamique », plein de merveilles : somme, moyenne, écart-type, produit, etc. Ici, choisissez « Nb » (qui signifie le nombre d'occurrence, ce qui correspond tout à fait !)

Le **tableau croisé dynamique** est également très intéressant pour réaliser un questionnaire, des tableaux, des analyses croisées, etc. Amusez-vous à vous exercer en glissant les différents boutons proposés, et bientôt vous allez devenir un « accro » d'Excel…

LES TESTS STATISTIQUES POUR UN, DEUX, OU *K* ECHANTILLONS

La plupart des tests sera un comparaison de moyennes ou de fréquences…
Mais il faut tout d'abord identifier la (ou les) variables. Comment est formée ma variable dépendante ? Quel type d'échelle faut-il employer? La variable est-elle « ordinale », ou alors « nominale »?

Trois possibilités : nous voulons analyser
- -un seul échantillon à tester,
- -deux échantillons,
- -ou k échantillons…

Par exemple, si je compare simplement les étudiants qui consomment (ou non) du chocolat, c'est une variable à 1 échantillon. Si je veux analyser la comparaison Littéraire/Scientifique, et la consommation du chocolat, alors c' est une variable indépendante à 2 échantillons…
Et si je veux analyser la comparaison Littéraire/Scientifique des accros du chocolat, en considérant le sexe des individus, alors c'est une variable indépendante à 4 échantillons... Je vous conseille de regarder le tableau récapitulatif qui se trouve à la dernière page de ce document.

B. Les tests statistiques pour un, ou deux échantillons

Il faut d'abord préciser ce qu'on cherche: soit mon hypothèse suppose une indépendance (c'est à dire une absence de relation), ou au contraire mon hypothèse suppose une liaison (c'est à dire une association « corrélée »)?

B.1 : Les tests d'indépendance:

1-le test de Student, comparaison d'une moyenne :

Formule $t = \dfrac{\overline{X}-\mu}{s/\sqrt{n-1}}$

Exemple : d'après un rapport, on trouve que les hommes de plus de 30 ans regardent la télévision en moyenne 25 h par semaine. Nous voulons comparer cette moyenne à une population d'étudiants. Onze étudiants ont comptabilisé leur temps passé devant la télévision, par semaine :

Résultats

Etudiants	10	8	15	28	20	19	13	20	9	14	38

Procédure : dans « **Utilitaire d'analyse** », cliquez « **Test d'égalité des espérances : observations pairées ». Par un copier-coller (en colonnes, SVP [1]),** rentrez les échantillons observés dans « plage pour la variable 1 », et dans « plage pour la variable 2 » répétez simplement n.fois la moyenne théorique (ici, 25) :

Etudiants	10	8	15	28	20	19	13	20	9	14	38
théorique	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

Puis, faites **OK** : nous obtenons un tableau tout à fait clair, avec plusieurs informations:

Test d'égalité des espérances: observations pairées		
	Variable 1	*Variable 2*
Moyenne	17,6363636	25
Variance	80,2545455	0
Observations	11	11
Différence hypothétique des moyennes	0	
Degré de liberté	10	
Statistique t	-2,72617579	
P(T<=t) unilatéral	0,01066649	
Valeur critique de t (unilatéral)	1,81246151	
P(T<=t) bilatéral	0,02133298	
Valeur critique de t (bilatéral)	2,22813924	

Le t de Student

Valeur de la probabilité

Notez la moyenne des échantillons (17,63..), leur variance (80,25) les ddl (11), la probabilité (uni, ou bilatéral) etc.

Vous constatez que la moyenne des échantillons-étudiants est plus faible que celle de la population générale. Il y a une différence significative (p = .01).

Nous rejetons donc l'hypothèse nulle : les étudiants regardent moins la télévision que les adultes de plus de 30 ans.

[1] Pour passer de « ligne» en « colonne » sous Excel, copiez vos données, et sélectionnez un emplacement, puis dans « Edition », choisir « Collage spécial », puis « Transposé », et cliquez OK.

2- **Le rapport de variance** : test de F de Fischer-Snedecor. Ce test permet de vérifier l'existence significative de différences entre les moyennes de 2 groupes. Et plus exactement, il permet de tester l'hypothèse de l'égalité des variances des 2 populations. On va estimer la dispersion des valeurs entre les deux distributions, en définissant les valeurs du rapport des deux variances.
(Formule: $F = S_1^2/S_2^2$) C'est à dire : rapport des 2 variances observées (en pratique, rapport de la plus grande valeur à la plus petite) . Selon les tables de Snedecor, si F est supérieur à 2,27, il y a 5 chances sur 100 pour que la différence observée soit significative.

Procédure : dans « **Utilitaire d'analyse** », cliquez « **Test d'égalité des variances ».** Rentrez les deux échantillons dans « plage pour la variable 1 », et « plage pour la variable 2 », et faites « **OK**».
Et bien sûr, si vous constatez que la valeur du F est non-significative (cela veut dire que les deux distributions ne diffèrent pas du point de vue de la dispersion de leurs valeurs), alors dans ce cas, vous pouvez comparer les deux moyennes.

3- **le test de Student**: test de **deux moyennes** d'échantillons **appariés**. *(ou échantillons dépendants)* : Formule du **t** de Student: $t = \dfrac{\overline{D}}{S_d / \sqrt{n-1}}$

Avec $\overline{D}$ = moyenne de la différence des 2 moyennes
S_d = écart-type (de la différence … etc.) N = taille de l'échantillon

Exemple : nos 11 étudiants, (*apparemment passionnés par les expériences !*) passent un test d'anxiété, puis sont invité à participer à un entraînement à la relaxation. Ensuite, ils repassent le test d'anxiété… On veut évidemment estimer l'efficacité d'une formation à la relaxation.

Résultats

avant	30	38	45	28	20	19	23	40	29	34	38
après	10	21	16	16	11	22	23	26	18	32	28

Procédure : dans « **Utilitaire d'analyse** », cliquez « **Test d'égalité des espérances : observations pairées** ». **Par un coller-copier (en colonnes, SVP),** rentrez les deux échantillons dans « plage pour la variable 1 », et « plage pour la variable 2 », et faites « OK »

Un tableau s'affiche aussitôt :

Test d'égalité des espérances: observations pairées		
	Variable 1	*Variable 2*
Moyenne	31,2727273	20,2727273
Variance	72,6181818	47,4181818
Observations	11	11
Coefficient de corrélation de Pearson	0,29512579	
Différence hypothétique des moyennes	0	
Degré de liberté	10	
Statistique t	3,94784499	
P(T<=t) unilatéral	0,00136992	
Valeur critique de t (unilatéral)	1,81246151	
P(T<=t) bilatéral	0,00273983	
Valeur critique de t (bilatéral)	2,22813924	

Il indique plusieurs informations : moyenne, variance, etc., et même le coefficient **r** de Pearson (qui indique s'il y a une corrélation, ou non, entre les deux variables…)
Dans notre cas, nous allons nous s'intéresser à la valeur du **t** de Student, qui est indiqué dans la ligne « Statistique t » = 3,94. Le résultat est hautement significatif (probabilité unilatérale alpha de .001) (*Mais quel dommage, ce ne sont ici que des chiffres totalement inventés…*)

4- **<u>le test de Student</u> pour des échantillons <u>indépendants</u>** : il faut dans ce cas prendre le « **test d'égalité des espérances** » (*vous avez le choix entre « variances égales », ou « variances différentes »)…*
En théorie, le test t sur des échantillons indépendant suppose que les variances sont inconnues, mais égales. Mais parfois lorsqu'on suppose que les variances sont inégales –par exemple dans le cas des tailles d'échantillons trop réduites-, Excel utilise un autre calcul appelé la procédure de Welch-Aspin… *(Personnellement, je préfère utiliser dans ce cas un test non-paramétrique …*)
En tout cas, dans une situation « normale » d'un test de Student à variances égales, la formule du **t** de Student, comparaison de deux moyennes est: $t = \dfrac{m_1 - m_2}{\sqrt{\dfrac{s^2}{N_1} + \dfrac{s^2}{N_2}}}$

(avec s² =variance commune aux deux échantillons).

Un exemple: nous avons choisi au hasard 8 garçons et 9 filles qui ont passé un concours de mathématiques. Les résultats sont indiqués dans ce tableau.

HOMMES	FEMMES
56	40
54	30
25	60
65	65
45	24
58	52
45	50
48	36
	30

En utilisant ce « **test d'égalité des espérances** », vous n'avez qu'à placer (dans les Paramètres d'entrée » les résultats des garçons (« *plage pour la variable 1 »*), et le résultat des filles *(« plage pour la variable 2 »)* et vous faites « OK ». On obtient aussitôt ce tableau :

Test d'égalité des espérances: deux observations de variances égales		
	Variable 1	*Variable 2*
Moyenne	49,5	43
Variance	145,428571	207,5
Observations	8	9
Variance pondérée	178,533333	
Différence hypothétique des moyennes	0	
Degré de liberté	15	
Statistique t	1,00114155	
P(T<=t) unilatéral	0,16631795	

Valeur critique de t (unilatéral)	1,75305104	
P(T<=t) bilatéral	0,33263591	
Valeur critique de t (bilatéral)	2,13145086	

Vous avez ici un résultat qui n'est pas significatif (t = 1,001 inférieur à la valeur critique de **t**, avec ddl :15, et un probabilité alpha de 0,166). Les garçons ne sont pas meilleurs en Maths que les filles.

5- **le test « z »** de deux moyennes (dans le cas des grands échantillons).

Procédure : dans « **Utilitaire d'analyse** », cliquez « test de la différence significative minimale ». *Attention : il faut d'abord calculer les 2 variances (voir « statistiques descriptives », par exemple)…* Puis, rentrez les données, et faites OK.

B.2 : **Les tests de corrélation** : ou la « force » d'une liaison entre deux, ou plusieurs séries de données.

1. Le test « r » de Bravais-Pearson

Formule : $$r = \frac{\sum (x_i - m_x)(y_i - m_y)}{\sqrt{\sum (x_i - m_x)^2{}_x \sum (y_i - m_y)^2}}$$

(avec xi= valeurs échantillon 1, yi= valeurs échantillon 2, et m= moyenne échantillon)

On peut calculer très facilement le « r » de Bravais-Pearson sous Excel:

Procédure 1: dans « **Utilitaire d'analyse** », cliquez « analyse de corrélation »… Non seulement vous aurez un tableau dans lequel se trouve la corrélation, mais vous pouvez également calculer plusieurs corrélations en fonction des séries d'observations testées… (cf coefficient de corrélation partielle entre X et Z pour y1z1, y1z2, y3z2, etc…)

*Procédure 2 : chercher (sur les boutons d'Excel) l'icône **fx (=** « Coller une fonction »), puis cherchez la fonction statistiques, puis « coefficient.corrélation », (ou encore « Pearson », c'est le-même calcul…). Collez vos données dans « matrice 1 », puis dans « matrice 2 », et faites OK : la corrélation est aussitôt indiquée*

*Procédure 3 : ou éventuellement en cliquant « **Test d'égalité des espérances : observations pairées** » ! En effet nous avons vu que ce test de deux moyennes va calculer non seulement les moyennes et variances, mais également l'analyse de corrélation entre les deux variables.*

Attention, l'utilisation des corrélations reste délicate car certaines variables peuvent influencer les autres, et on peut parfois trouver des résultats absurdes.
Par exemple, en testant une population de lycéens, des étudiants ont obtenu une corrélation surprenante : en croisant les résultats du saut en hauteur, et le poids des sujets, ils ont trouvé une corrélation significative (r =.60) : conclusion, plus vous êtes gros, plus vous sautez haut !
Bien évidemment ces étudiants avaient oublié une variable importante : celle de l'âge… Bien sûr, les petits collégiens de 12 ans sautent généralement moins haut que les grands lycéens de Terminale, et donc la corrélation apparente entre test et poids disparaît si l'on considère l'âge constant !
Dans ce cas, il faut alors réaliser une **corrélation partielle** en éliminant l'effet de certaines variables.
Revenons à notre exemple : nous trouvons r =.60 pour la corrélation A : saut/poids, mais il faut également calculer la corrélation B: saut/âge (ici, r = .69), et bien sûr la corrélation C : poids/âge (r = .88).

	Test saut	Poids	Age
Test saut	-	-	-
Poids	rA = .60	-	-
Age	rB = .69	rC =.88	-

Le calcul de corrélation partielle est $\dfrac{rA-(rB.rC)}{\sqrt{(1-r^2B).(1-r^2C)}}$.

Ce qui correspond *(en « traduction Excel»)* à cette formule un peu bizarre :

=(A1-(B1*C1))/((1-B1^2)*(1-C1^2))^0,5

Vous n'avez qu'à copier cette formule, et la coller sous Excel.
Il faut au préalable placer les chiffres dans les cases indiqués (A1, B1, C1).
Ainsi dans notre exemple on écrit 0,60 dans A1, 0,69 dans B1, et 0,88 dans C1, puis vous collez la formule dans une case quelconque : le calcul est aussitôt réalisé. La corrélation partielle donne r = -.02, c'est-à-dire une corrélation parfaitement nulle !

C. Les tests statistiques pour **k** échantillons :

La comparaison de plusieurs moyennes : La VD est ordinale, et nous voulons analyser k échantillons.

***C.1* - les tests d'indépendance** :

Il faut utiliser les **analyses de variances** (ANOVA), en analysant le croisement d'une, deux variables (*ou même plusieurs variables, avec le risque de devenir fou !*). Il existe des logiciels très adaptés (SPSS, Var3, Sphinx ou autres...) Mais attention à la "pêche à la ligne" des comparaisons multiples ! Les ANOVA multiples sont évidemment intéressantes, mais en comparer sans discernement plusieurs échantillons, on peut trouver des résultats totalement absurdes!

En tout cas, l'utilitaire d'analyse d'Excel permet aussi de calculer des ANOVA.
Sans être aussi performant que certains logiciels statistiques, il est suffisant pour la plupart des cas...
Plus exactement, Excel propose d'effectuer :

- **une analyse de variance entre groupes pour 1 facteur**
- **une analyse de variance entre groupes pour un facteur, avec des mesures répétitives**
- **une analyse de variance entre groupes pour deux facteurs**.

1- **<u>Analyse de variance à un facteur,</u>** constitué de k modalités (*Plan : Sn<An>*)

Exemple : un chercheur veut savoir si la musique peut jouer sur l'apprentissage… Pour cela, notre chercheur fait apprendre des listes de mots à 4 groupes d'étudiants qui entendent des styles de musiques nettement différents : de l'opéra, du flamenco, du piano classique, et du free-jazz…On note le nombre de mots mémorisés après apprentissage…

opéra	flamenco	piano	jazz
13	15	12	16
15	12	13	12
13	12	10	13
14	15	12	14
15	14	14	10
10	11	12	11
16	15	16	15
14	15	15	12
15	14	12	12
13	15		16
14			17

<u>Procédure</u> : dans « **Utilitaire d'analyse** », cliquez « **analyse de variance : un facteur** », et comparez (en précisant colonnes, ou lignes) ces résultats en faisant OK.

Résultats : on trouve sur Excel ce tableau :

Analyse de variance: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	*Nombre d'échantillons*	*Somme*	*Moyenne*	*Variance*
Colonne 1	11	152	13,8181818	2,56363636
Colonne 2	10	138	13,8	2,4
Colonne 3	9	116	12,8888889	3,36111111
Colonne 4	11	148	13,4545455	5,27272727

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	*Somme des carrés*	*Degré de liberté*	*Moyenne des carrés*	*F*	*Probabilité*
Entre Groupes	5,39137719	3	1,79712573	0,52418075	0,66836743
A l'intérieur des groupes	126,852525	37	3,42844663		
Total	132,243902	40			

Vous constatez que dans notre expérience, la musique ne semble pas affecter l'apprentissage, car les moyennes sont très proches, et l'analyse de variance (F=0,524) n'est pas significative…(p = .669)

Explication et calcul de cette analyse de la variance entre groupes, pour un facteur :

F = MC « entre » **/ MC** « inter » : soit le rapport entre <u>la moyenne des carrés entre les groupes</u>, et la <u>moyenne des carrés à l'intérieur des groupes</u>

Moyenne des carrés « entre groupes » = (somme des carrés / degré de liberté) entre les groupes
Moyenne des carrés « à l'intérieur » = (somme des carrés / degré de liberté) à l'intérieur des groupes

2- **<u>Analyse de variance sur des moyennes d'échantillons appariés</u>** (*Plan : Sn*Ap*)

Exemple : 11 sujets ont des troubles du sommeil importants, et acceptent de tester 3 traitements pharmacologiques différents. Chaque individu va utiliser un médicament durant une semaine. On comptabilise le nombre d'heures de sommeil, par nuit :

sujets	Médicament 1	Médicament 2	Médicament 3
1	2	0	3
2	4	1	4
3	2	1	3
4	2	2	4
5	1	0	1
6	3	2	5
7	4	2	11
8	4	2	10
9	10	3	9
10	8	6	14
11	2	2	5

<u>Procédure</u> : dans « Utilitaire d'analyse », cliquez «**analyse de variance : deux facteurs, <u>sans</u> répétition d'expérience** », et comparez…

Tableau affiché :

Analyse de variance: deux facteurs sans répétition d'expérience				
RAPPORT DÉTAILLÉ	*Nombre d'échantillons*	*Somme*	*Moyenne*	*Variance*
Ligne 1	4	6	1,5	1,66666667
Ligne 2	4	11	2,75	2,25
Ligne 3	4	9	2,25	0,91666667
Ligne 4	4	12	3	1,33333333
Ligne 5	4	7	1,75	4,91666667
Ligne 6	4	16	4	3,33333333
Ligne 7	4	24	6	15,3333333
Ligne 8	4	24	6	13,3333333
Ligne 9	4	31	7,75	10,25
Ligne 10	4	38	9,5	11,6666667
Ligne 11	4	20	5	18
Colonne 1	11	66	6	11
Colonne 2	11	42	3,81818182	7,76363636
Colonne 3	11	21	1,90909091	2,69090909
Colonne 4	11	69	6,27272727	16,6181818

ANALYSE DE VARIANCE						
Source des variations	*Somme des carrés*	*Degré de liberté*	*Moyenne des carrés*	*F*	*Probabilité*	*Valeur critique pour F*
Lignes	270	10	27	7,315270949	9,8046E-06	2,16457963
Colonnes	138,272727	3	46,0909091	12,4876847	1,7977E-05	2,92227753
Erreur	110,727273	30	3,69090909			
Total	519	43				

Vous constatez qu'il y a bien une différences entre les 3 médicaments et le F et très significatif (12,48)… (*et à mon avis, le médicament 2 était probablement un placebo !*)

Explication et calcul de cette analyse de variance pour deux facteurs, avec des mesures répétitives :
F= MC « *traitement* **» / MC «** *erreur* **»**
Dans cette situation « pairée », il y a trois calculs de sommes des carrés : la SC « sujets »(= « lignes »), la SC « traitements » (= « colonnes »), et la SC « interactions » (= « erreurs » dans l'interaction sujets **x** traitements)

Moyenne des carrés « traitement » = (somme des carrés / degré de liberté) des traitements
Moyenne des carrés « erreur » = (somme des carrés / degré de liberté) des erreurs

3- **Analyse de variance, à plan factoriel 2 x 2 (ou 2 x 3, etc…)** : (*plan : Sn<Ap x Bq>*)

Procédure : dans « Utilitaire d'analyse », cliquez « **analyse de variance : deux facteurs, avec répétition d'expérience** » (*Attention, c'est un peu plus compliqué : suivez bien les consignes !*).
En pratique, vous devez réaliser un tableau du type 2 x 2, placez les échantillons dans le tableau, mettez ce tableau dans « plage d'entrée) et indiquez le nombre d'échantillons par case dans « **nombre de lignes par échantillons** »...
Limite : ce calcul est possible uniquement dans le cadre des « plans équilibrés ». En pratique, cela veut dire que les cases doivent avoir le même nombre d'échantillons (= nombre de lignes par échantillons)…

***Exemple** : 36 futurs policiers, hommes ou femmes, ont tous passé des tests psychologiques avant de commencer leur stage. Après le première semaine d'effort, ils doivent décider s'ils arrêtent ou continuent leur stage. Exactement la moitié du groupe (hommes et femmes) décident d'arrêt. Nous avons donc 4 groupes équilibrés de 9 personnes, et le psychologue veut savoir si la décision est liée : 1er : au sexe, 2ème : à l'anxiété (en utilisant les résultats du test d'anxiété).*

	arrêt	poursuite
hommes	12	19
	19	18
	25	15
	21	18
	18	17
	22	15
	12	14
	20	17
	18	14
femmes	21	21
	20	12
	14	14
	15	16
	21	14
	21	10
	18	15
	20	10
	18	8

Résultat sur le tableau Excel :

Analyse de variance: deux facteurs avec répétition d'expérience			
RAPPORT DÉTAILLÉ	arrêt	poursuite	Total
hommes			
Nombre d'échantillons	9	9	18
Somme	167	147	314
Moyenne	18,5555556	16,3333333	17,4444444
Variance	18,5277778	3,5	11,6732026
femmes			
Nombre d'échantillons	9	9	18
Somme	168	120	288
Moyenne	18,6666667	13,3333333	16
Variance	7	15,25	18
Total			
Nombre d'échantillons	18	18	
Somme	335	267	
Moyenne	18,6111111	14,8333333	
Variance	12,0163399	11,2058824	

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	*Somme des carrés*	*Degré de liberté*	*Moyenne des carrés*	*F*	*Probabilité*	*Valeur critique pour F*
Échantillon	18,7777778	1	18,7777778	1,69636136	0,20206088	4,14908641
Colonnes	128,444444	1	128,444444	11,6035132	0,0017919	4,14908641
Interaction	21,7777778	1	21,7777778	1,96737767	0,17035434	4,14908641
A l'intérieur du groupe	354,222222	32	11,0694444			
Total	523,222222	35				

Explication et calcul de cette analyse de variance pour deux facteurs, entre deux groupes :

Trois tests F sont proposées dans ce cas : le F de l'effet principal du facteur A (ici, le facteur « sexe »), le F de l'effet principal du facteur B (facteur « décision »), et le F de l'interaction A x B.

F_A = **MC** « A » / **MC** « *intérieur* »
F_B = **MC** « B » / **MC** « *intérieur* »
F_{AxB} = **MC** « A x B » / **MC** « *intérieur* »

Avec Moyenne de carrés « intérieur » = (somme des carrés / degré de liberté) des variations à l'intérieur du groupe. Notons que sous Excel, les 3 moyennes de carrés **MC** « A », **MC** « B » et **MC** « A x B » sont appelés respectivement « échantillon », « colonnes », et « interaction »

Dans cet exemple, on constate donc que **le facteur « décision » est dépendant au niveau d'anxiété**. Par contre les autres facteurs ne sont pas significatifs : il n'y a pas de différence entre les deux sexes…

C.2 - les tests de corrélation :

Un autre type d'analyse multivariée : **la** **régression linéaire**.

L'analyse de régression linéaire utilise la méthode des « moindres carrés » pour tracer une droite sur l'ensemble d'observations, et analyse l'incidence des variables indépendantes sur la variable dépendante unique. (*Par exemple, vous voulez savoir si le poids des individus varie en fonction de la taille, et de l'âge, etc…*)

Dans le cas d'une régression à deux variables, l'équation est donnée par $\hat{Y}$ = a + bX

Avec Y = la variable de critère, X = la variable « de prédiction », a = la **constante** de régression, et b = la **pente**.

Si $\overline{X}$ correspond à la moyenne de X, ***r*** correspond au coefficient de corrélation, et *Sy* l'écart-type de Y, la constante a = $\overline{Y} - b\overline{X}$, et la pente b = $\frac{Sy}{Sx}$, cela donne finalement une formule pas trop complexe : $\hat{Y} = \overline{Y} - r\frac{Sy}{Sx}.\overline{X}$

(*Mais cela se complique beaucoup dans le cas d'une régression multiple, puisque l'équation de régression devient $\hat{Y}$ = b0 + b1X1+ b2 X2+…+BnXn ! Eh bien, sachez que le brave Excel peut prendre en compte jusqu'à 16 variables de prédiction…*)

Procédure : dans « Utilitaire d'analyse », cliquez « régression linéaire ». Indiquez les données pour la variable Y, et pour la (ou les) variable(s) X, et faites OK…

Les résultats affichés sont :

- le ***coefficient de détermination multiple*** (dans le cas à deux variables, cela correspond simplement au coefficient r de corrélation de Pearson)

- le ***coefficient de détermination* R²** (*indiqué bizarrement en R^2 : voir les symboles de calcul d'Excel…* =multiplication, ^=puissance, etc.*) : il donne une idée du % de variabilité de la variable à modéliser, et plus le coefficient R² est proche de 1, plus il y a une corrélation et meilleur est le modèle… (*et le coefficient de détermination R² **ajusté** reflète, d'une façon plus fidèle, le degré de cette relation linéaire à la population…*)
- ***l'analyse de la variance*** : elle indique la régression (= le modèle) en indiquant le F de Fischer, et les « résidus ». Par exemple la régression correspond à la variation de « taille » qui s'explique par sa relation avec « le poids ». Et au contraire, les résidus (ou variation résiduelle) représente la variation de la « taille » qui ne peut s'expliquer par « le poids ».

Attention, cette ANOVA est particulière : elle teste si la moyenne de la variable à modéliser (le poids, par ex.) suffit à décrire les résultats obtenus… Bref, les variables explicatives apportent (ou non…) une quantité d'information significative au modèle. Si F est significatif, cela veut dire que la pente de la droite de régression diffère de 0, et donc nous admettons qu'il existe une relation linéaire significative entre le 2 (ou plus) variables.

-l'écart-type et le test de Student : pour la (ou les) variables X (le poids, et la taille, par ex.) en lien avec le modèle. Il faut considérer non le « t » de la constante, mais plutôt le « t » des variables X (. S'intéresser également aux limites (supérieures et inférieures) pour un seuil de confiance de 95%

***D*- Les procédures de validation des questionnaires et des échelles** :

Les échelles et les questionnaire sont très utiles lorsque l'examen porte sur un grand nombre de sujets. Mais il faut déterminer le degré de spécificité des instruments utilisés. En effet une mesure ne doit pas être « contaminée » par des composantes d'erreurs. Une attention particulière est donc portée à la validité des outils construits.

Un test souvent cité, le **coefficient *alpha* de Cronbach,** est un indicateur très utilisé de la fiabilité et de la « cohérence interne » des échelles, qui est fondée sur la corrélation moyenne des éléments. Il est présumé que les éléments sont en corrélation parce qu'ils visent à mesurer un concept commun.
Ce coefficient est défini comme *le pourcentage total de la variance réelle parmi la variance observée d'une mesure*. Il est calculé selon la formule suivante :

$$\alpha = \frac{k}{k-1}\left(1 - \frac{\sum_{i-1}^{k} \sigma^2_i}{\sigma^2_{échelle}}\right)$$

Dans cette équation, k est le nombre d'items, i est un item, σ^2_i est la variance de l'item et $\sigma^2_{\text{échelle}}$ est la variance des scores obtenus.

(Notons qu'on trouve parfois une forme alternative de calcul du coefficient alpha :

$$\alpha = \frac{k\bar{r}}{1 + \bar{r}(k-1)}$$

où k est le nombre d'items de l'échelle et ř la corrélation inter-items moyenne).

Application du test de Cronbach:
Il est très facile de calculer ce coefficient sous Excel (*et sans devoir acheter des logiciels très spécialisés !*)
Un exemple : nous avons décidé de construire un questionnaire concernant les facteurs stressants en milieu hospitalier.
Nous voulons vérifier la fiabilité de ce questionnaire formé par 4 questions (« items »), en le proposant à 11 infirmières.
Les sujets (« répondants ») indiquent leur choix grâce à une échelle (1 à 6)….

Résultats :

répondants	ITEM 1	ITEM 2	ITEM 3	ITEM 4	SCORE (total)
1	2	3	2	4	11
2	1	2	1	3	7
3	2	2	1	3	8
4	3	3	2	4	12
5	2	2	1	5	10
6	2	3	2	5	12
7	1	2	1	3	7
8	2	3	1	3	9
9	3	4	2	6	15
10	3	3	2	6	14
11	2	2	2	5	11
Variances :	***0,49***	***0,45***	***0,27***	***1,41***	***7,07***

(*Vous pouvez sans difficulté calculer ces variances pour chaque colonne dans «l'utilitaire d'analyse » (par exemple avec « analyse de variance à 1 facteur », ou encore dans « statistiques descriptives »...)*

Variances	
0,49090909	Variance des 4 items
0,45454545	
0,27272727	
1,41818182	
2,63636364	Somme des variances
7,07272727	Variance des scores obtenus

Rappel de la formule : α = (k/k-1) . (1-(Σvar.k/ var.t))

Ce qui donne, sous Excel : =(4/3) * (1-(2,636 / 7,072))= **0,836**

Et dans notre cas, l'**alpha de Cronbach** indique une fiabilité suffisante (supérieur à .80)

Le coefficient alpha de Cronbach qui se rapproche de la valeur 1 dénote une cohérence parfaite entre les éléments. Le niveau suggéré de fiabilité est typiquement de 0,80 ou supérieur; toutefois, cela peut varier selon le type de données.

<u>Autre procédure</u> *: si vous préférez l'autre formule (* $\alpha = \frac{k\bar{r}}{1+\bar{r}(k-1)}$ *), il faut alors utiliser le test de corrélation de Pearson dans « utilitaire d'analyse ».*

Résultat

	Colonne 1	*Colonne 2*	*Colonne 3*	*Colonne 4*
Colonne 1	*1*			
Colonne 2	*0,71206533*	*1*		
Colonne 3	*0,67082039*	*0,61967734*	*1*	
Colonne 4	*0,68640647*	*0,50952467*	*0,70164642*	*1*

Vous devez ensuite calculer la <u>somme des corrélations</u> (en valeur absolu, SVP, car des corrélations peuvent être négatives !), puis vous calculez la moyenne.
Dans notre cas, nous trouvons une somme = 3,900. Donc ř = 3,9/6=0,65.

*Calcul : =(0,65*4/(1+(0,65*3)). Donc α =* ***0,881***

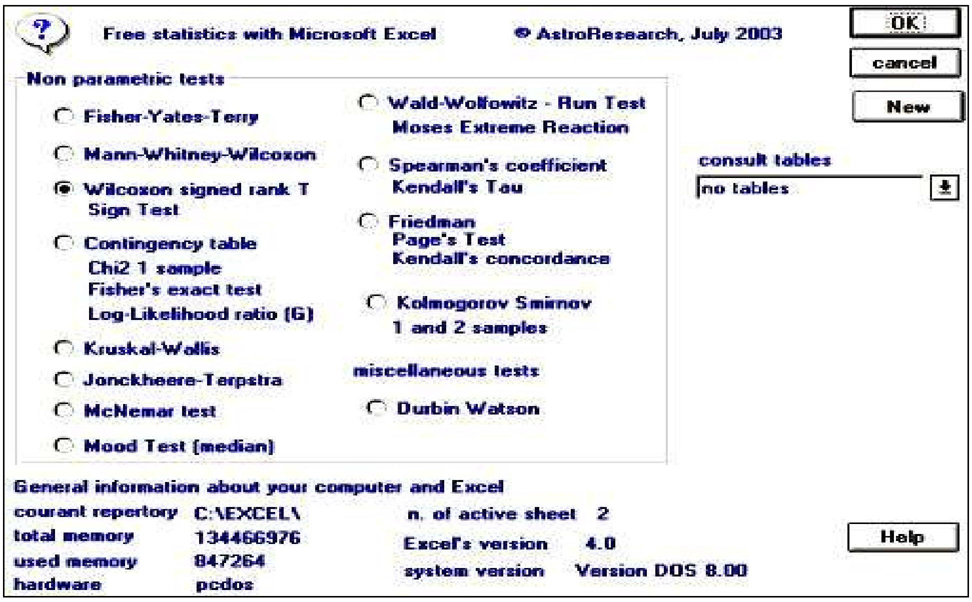
3. Utilisation pratique des tests statistiques non-paramétriques

Comme nous l'avons déjà signalé, les méthodes paramétriques étudiées postulent implicitement la normalité des variables traitées. Mais en pratique, et en particulier dans le cas des petits échantillons, les histogrammes obtenus sont généralement très loin d'une distribution dite « normale ». On peut alors utiliser des tests « non-paramétriques ».
Comme dans le cas des méthodes paramétriques, les méthodes non-paramétriques s'adressent soit à un échantillon, soit à deux échantillons (échantillons indépendants, ou échantillons appariés), soit encore à k échantillons. Il faut également spécifier les caractéristiques de la variable : variable nominale, ou variable ordinale.
Vous connaissez déjà l'emploi du Khi2 (ou plutôt le χ^2**)**, un test qui permet de comparer une caractéristique expérimentale (un effectif brut), à un valeur théorique.
Ce test est adapté aux variables « nominales », et qui impliquent une relation d'équivalence (satisfait, non-satisfait, etc…). Mais il existe aussi d'autres méthodes également puissantes, qui traitent des variables « ordinales », et qui sont très adaptables à des cas particuliers.

Les méthodes non-paramétriques sont des « statistiques d'ordre ». Dans le cas des variables ordinales, elles n'utilisent plus les données d'origine, mais seulement leur rang après un classement approprié.

Au niveau calcul informatique, nous avons utilisé un logiciel « free » permettant de calculer ces fameux tests en utilisant Excel. (*Fini la corvée du calcul des rangs, et des effectifs théoriques !*)
Vous pouvez trouver ce macro dans **hdelboy.club.fr/Nonparam.htm**

Activez ce macro des **« test non-paramétriques».** (*Un message quelque peu angoissant vous indique « les macros peuvent contenir des virus », etc. Pas de panique ! Il faut simplement accepter, et « activer les macros »…)* En pressant à la fois « Ctrl » et « A », vous avez un choix important de tests.



A. L’analyse de variables nominales:

1- le test du Khi² : étude d’un ou deux échantillons indépendants

Le χ^2 est un test parfait pour analyser plusieurs échantillons à variables **nominales**.

Formule du Khi ² : $X^2 = \sum \frac{(ni - n'i)^2}{n'i}$ (avec n’i = effectif théorique)

Le Khi², avec correction de Yates : $X^2 = \sum \frac{(\left| ni - n'i - 0,5 \right|)^2}{n'i}$

Grâce au logiciel « free » des tests non-paramétriques, l’utilisation du χ^2 devient très facile puisque les effectifs théoriques sont aussitôt calculés.

Exemple : 127 étudiant(e)s (70 hommes et 57 femmes) ont respiré l’odeur d’un tee-shirt porté par un garçon pendant une nuit. Les sujets doivent juger cet odeur, en le qualifiant soit en « agréable » ou en « désagréable ».

Le test d’indépendance du χ^2 est tout à fait approprié.

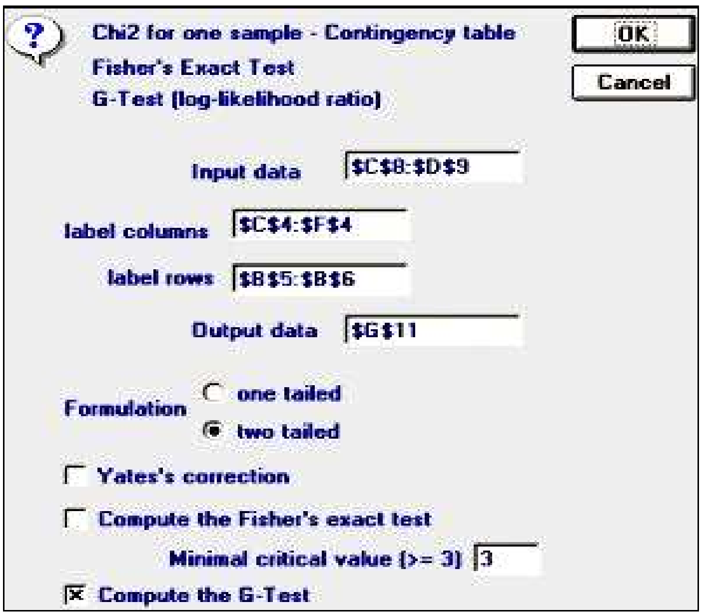
	H	*F*
Agréable	23	36
Désagréable	47	21

Marche à suivre : copiez ces résultats, puis activez ce macro **« test non-paramétriques».**

En pressant à la fois « Ctrl » et « A », vous avez un choix important de tests.

Dans notre cas, **cliquez « Contingency table »,**

La boîte de dialogue suivante apparaît :



Collez votre tableau dans « imput data » (si vous le souhaitez, vous pouvez même ajouter H et F dans « label column », et agréable-désagréable dans « label rows »)..., puis cliquez sur « OK ».

Un petit rappel concernant la formule des *n* théoriques… Ainsi pour le 1ère case, la formule de *n'i* est : ((23+47)x(23+36)), rapporté à la somme totale=127, donc n'i= 32,519, etc.

Le logiciel calcule automatiquement ces effectifs théoriques, et le résultat du χ^2 est aussitôt indiqué (avec ou sans correction, selon le cas).

(ni-n'i)²/n'i , soit ici :

(23 –32,52)²/32,52

	H	F	**nij**
agréable	2,79	3,42	6,21
désagréable	2,42	2,97	5,39
nji	5,21	6,39	11,6

Contingency table	
ddl	1
chi2	11,596
p	0,001

Dans notre cas, la différence est très nette (χ^2 = 11,596, p .001) . Donc une majorité d'hommes trouvent cette odeur désagréable, alors qu'un certain nombre de femmes la trouvent plutôt agréable.

Je vous rappelle que le χ^2 est « le » test des variables nominales. Puissant et très employé, il peut être utilisé pour 1, 2, ou plusieurs échantillons indépendants.

2- <u>le χ^2 Mac Nemar</u> : Dans le cas des <u>échantillons appariés</u>, il faut utiliser le χ^2 Mac Nemar qui analyse le changement dans les plans « avant-après » (consultez les ouvrages de statistiques).

Formule du χ^2 de Mac Nemar : $\chi^2 = \dfrac{(|a-d|-1)^2}{a+d}$

Avec une table carrée 2x2, de type :

		APRES	
		-	+
AVANT	+	A	B
	-	C	D

Ce calcul est très facile. Mais à mon avis, il est préférable de le faire à la main car paradoxalement la manipulation du logiciel est beaucoup plus délicate !

Exemple : la vision d'une émission à la télé peut-elle amené un changement d'attitude ? Pour le savoir, on demande à 125 personnes leur attitude à l'égard d'une mesure à prendre. Avant l'émission, 40 se prononcent en faveur de la mesure, alors que 85 sont contre. Après l'émission, cette fois 70 sont pour la mesure, et 55 contre.

Tableau :

		après		
		non	oui	total
avant	oui	5	35	40
	non	50	35	85
	total	55	70	125

Calcul : (*sous Excel, évidemment !*) : = (30-1)^2/(5+35)

Soit : χ^2 de Mac Nemar = 21,02 (*ce qui est significatif à .001 : il y a bien une influence sur l'attitude des sujets !*)

<u>3- le test Kolmogorov-Smirnov</u> : à la différence du χ^2, le test **Kolmogorov-Smirnov** est le test des <u>variables ordinales</u>.

C'est surtout un test d'ajustement d'une distribution. Cette épreuve permet de vérifier s'il existe une concordance entre une distribution de notes « observées », et une distribution « théorique ».

Exemple pour 1 échantillon: on a demandé à 10 sujets d'exprimer leur préférence à l'égard de 5 dessins du même objet, mais qui sont plus ou moins flous. Peut-on estimer que les sujets manifestent une tendance significative en faveur d'un dessin ?

Rang de dessins =	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Nombre de sujets	0	1	0	5	4

Explication du calcul : le test va comparer les deux distributions :

Distribution cumulée théorique	**1/5**	**2/5**	**3/5**	**4/5**	**5/5**
Distribution cumulée observée	0/10	1/10	1/10	6/10	10/10

Si la distribution théorique est appelée Fn(x), et si F(x) est la distribution observée, le test calcule la plus grande des déviations. Si les différences sont faibles entre Fn(x) et F(x), on suppose que les variations sont aléatoires et l'hypothèse nulle est acceptée.

Formule: D = maximum $\mid$ Fn(x) – F(x) $\mid$

La distribution D est comparée à une table (notons que la signification d'une valeur de D dépend de la taille N de l'échantillon.)

<u>Marche à suivre</u> : vous devez d'abord mettre vos données en **2 colonnes**. L'une indique le rang -ou la série- (que vous placez dans **"Labels"**), et l'autre colonne indique le nombre de sujets qui ont répondu selon le rang (dans "**input data**").

N'oubliez pas d'indiquer dans notre cas "one sample test". Vous devez également estimez votre hypothèse formulée: bilatéral, ou unilatéral ? ("1 tailed", "2 tailed"?). Puis faites **OK**.

Le test de Kolmogorov-Smirnov calcule aussitôt la déviation maximale (D), le nombre de rang, et le nombre de sujets N.

Fn (x)	F (x)	d
0,2	0	0,2
0,4	0,1	0,3
0,6	0,1	0,5
0,8	0,6	0,2
1	1	0

=2/5 (Distribution cumulée théorique)

=1/10 (Distribution cumulée observée)

Kolmogorov-Smirnov for one sample	
Dk	0,5
n rank	5
N	10
m	2
p	p < 0.01
D critical 0.05	0,41
D critical 0.01	0,49

Il indique aussi si le résultat est significatif à deux valeurs critiques (D pour .05, et D pour .01). Enfin, (*et en couleurs, petits veinards !*) il calcule automatiquement, sous forme d'un graphe, la courbe de la distribution de fréquences cumulées.
Dans notre expérience, on trouve Dk = 0,5 (=5/10), et ce résultat est significatif ($p<.01$). Cela veut dire finalement que les choix des dessins ne sont pas aléatoires, nos sujets préférant l'objet plutôt flou…

B.Les tests statistiques non-paramétriques pour deux échantillons:

1- Le test de Wilcoxon : un test pour échantillons appariés

Exemple 1 : variables ordinales, deux échantillons appariés
Imaginons que nous avons réalisé un test de rapidité effectué selon deux conditions (matin, et soir), par 11 sujets identifiés.

matin	23	36	45	26	30	19	23	40	29	34	38
soir	17	21	16	16	11	22	23	26	18	32	28

Nous sommes alors dans le cas de « deux échantillons **appariés**, à variable ordinale ». Apparemment, pour certains sujets la note du test du matin est supérieure au retest du soir. Mais cette différence est-elle significative ? Dans tous les cas, les tests classiques « paramétriques » proposent une comparaison des moyennes, et/ou un rapport de variances.
Quels sont les tests non-paramétriques adaptés dans ce cas ?

Le test de **Wilcoxon** est une adaptation à la comparaison de deux moyennes, pour deux échantillons appariés. Il calcule les différences (positives et négatives), le traduit en rang, puis compare la distribution de la somme des rangs pour les deux échantillons, et estime la différence observée. (pour plus de précision -calcul, formules, etc.-, consultez la bibliographie*)*

En utilisant le même logiciel **« test non-paramétriques», en pressant à la fois « Ctrl » et « A »** vous trouvez facilement le test Wilcoxon.

Par un coller-copier (en colonnes, SVP [2]), placez ces chiffres dans « Input range », et faites OK…

Ce qui donne à l'écran ce tableau…

		rank diff.	rank +	rank -
Wilcoxon rank test		6	3	
Np	10	15	8	
Mx	31,18	29	10	
My	20,91	10	4,5	
P+	53	19	9	
P-	2	-3		2
P0	1			
T the.	27,5	14	7	
varT	96,25	11	6	
e	2,599	2	1	
p	p < 0.01	10	4,5	
ties	2			
critical value Pmin 5%	8			
critical value Pmin 1%	3			
Sign Test				
S+	9			
S-	1			
S min	1			
S max	9			
H1bil.	0,011			
H'1 uni	0,999			

Son calcul nous montre que la comparaison entre le test, puis retest donne une différence significative. (Nous obtenons P- = 2: or la table des valeurs critique de l'épreuve de Wilcoxon indique 8 pour p = .05, et 3 pour p = .01). Le résultat est significatif à p <.01
A noter : le logiciel ajoute une valeur de statistique plus pratique, en utilisant une approximation normale: e = 2,599, qui correspond au ***t*** de Student.
Par ailleurs, il y a une correction pour le cas des 2 ex-aequo (*cf le terme « ties »*).

Version « paramétrique »
Si vous voulez absolument utiliser un test paramétrique, il faut choisir le test de Student : test de deux moyennes d'échantillons appariés. Après calcul, on trouve t = 3,73 également sign. à .001

<u>**2- Le test de Mann-Whitney**</u> **:** un test pour échantillons indépendants

Le test de **Mann-Whitney** est l'adaptation aux techniques du t de Student en estimant une comparaison entre deux échantillons <u>indépendants</u>.

[2] Pour passer de « ligne» en « colonne » sous Excel, copiez vos données, et sélectionnez un emplacement, puis dans « Edition », choisir « Collage spécial », puis « Transposé », et cliquez OK.

<u>Exemple 2:</u> variables ordinales, deux échantillons indépendants

(Un exemple montrant la nécessité d'utiliser un test non-paramétrique)

Soit une série de résultats :

A	**23**	**23**	**36**	**45**	**26**	**30**	**8**	**42**	**40**	**29**	**34**	**38**
B	**22**	**17**	**21**	**16**	**16**	**11**	**22**	**132**	**26**	**18**	**32**	**28**

Supposons que ces deux séries, A et B, correspondent aux résultats de deux groupes de 24 souris : A= 12 souris stressées et B= 12 non-stressées.

Nous sommes dans une situation de « <u>deux échantillons indépendants, à variable ordinale</u> ».
Les chiffres obtenus correspondent au temps (en secondes) du parcours d'un labyrinthe.
Ces différences entre les groupes sont-elles significatives ?
Vous constatez quelques « anomalies » au niveau résultats. Ainsi une souris (du groupe A) a parcouru très rapidement le labyrinthe (8s), alors qu'une autre (du groupe B) a beaucoup « flemmardé » car elle a dépassé plus de 2 minutes…
En pratique, cette situation comportementale est souvent observée en éthologie. Mais bien évidemment, nous sommes loin d'une loi normale !
En observant les résultats, il semble néanmoins que les souris A ont un parcours plus long que les B. Cependant ces différences sont-elles significatives ?
Dans ce cas précis, un test « paramétrique » de comparaison de moyennes serait très discutable, précisément à cause de ces deux sujets « hors normes ». Il faut ici utiliser un test non-paramétrique **par rang**, qui va évidemment neutraliser ces chiffres excessifs sans modifier la situation expérimentale**.**
(A noter : les 2 échantillons n'ont pas besoin d'être identiques). *On considère la somme des rangs observée dans les deux groupes (R1 et R2) et le nombre de sujets (N1 et N2) et grâce à un calcul simple (voir les ouvrages statistiques…), le nombre U le plus faible est comparé à sa valeur critique*.

Formule :**U**. de Mann et Whitney :

$$U = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1,$$

$$ou U' = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2+1)}{2} - R_2$$

Avec R= le total des rangs des notes obtenues par l'échantillon

<u>Marche à suivre</u> : En pressant à la fois « Ctrl » et « A », vous trouvez facilement le Mann-Whitney.
Par un coller-copier –toujours en colonnes-, placez ces chiffres dans « Input range », et faites OK…

Aussitôt, le test de Mann-Whitney est calculé : on trouve à droite le calcul des **rangs**, et à gauche le **résultat** final.

Mann Whitney test	
N	24
nx	12
ny	12
Uxy	110,5

rank x	rank y
10,5	8,5
10,5	5
19	7
23	3,5

Uyx	**33,5**
Uo	72
s2U	300
mxy	31,17
myx	30,08
rank S xy [Wx]	188,5
rank S yx [Wy]	111,5
M rank xy	15,71
M rank yx	9,29
e	**2,223**
critical value of U 5%	37
critical value of U 1%	27
p	0,0262
corrections for ties	yes
ties	8
s2U	299,478261
e	2,22473393
p	0,0261

12,5	3,5
16	2
1	8,5
22	24
21	12,5
15	6
18	17
20	14

e= approximation normale du ***t*** de Student

On trouve U=33,5, ce qui indique ici une différence significative (probabilité de p=.026)
Il faut noter que le logiciel ajoute une valeur de statistique plus pratique, en utilisant une approximation normale: e = 2,223, qui correspond au ***t*** de Student.
Par ailleurs, il y a une correction pour le cas des ex-aequo (*cf le terme « ties »*). Toutefois ces 8 ex-aequo ne changent pas le résultat final.

Version « paramétrique »
*On pourrait théoriquement calculer le rapport de variances (F-test), avant une comparaison de deux moyennes. (Vous pouvez facilement calculer le F. de Snedecor sous Excel : dans « **Test d'égalité des variances** »). Toutefois dans notre cas si le F est significatif, ce résultat n'apporte rien ! Il montre simplement une différence de variances par suite de ces deux chiffres « hors normes » : mais cela n'indique pas que les sujets stressés sont moins rapides. Dans notre cas, seul un test non-paramétrique est adapté. Et si vous voulez absolument utiliser un test paramétrique, il faudrait alors « ignorer », et éliminer les deux sujets qui vous posent problème !*

Notons qu'il existe d'autres tests non-paramétriques pour 2 échantillons indépendants: le test Wald-Wolfowitz, ou le « Moses test of extreme reactions »… qui donnent des résultats comparables au Mann-Whitney. Ces deux tests sont présents dans ce logiciel. Pour plus de précisions (explications, formules…) consultez les ouvrages spécialisés.

Je donne un autre exemple:

Des étudiants ont observé dans une école maternelle les comportements agressifs, en séparant deux groupes : les garçons et les filles. Les scores sont représentés dans ce tableau :

garçons	**86**	**69**	**72**	**65**	**113**	**65**	**118**	**45**	**141**	**104**	**41**	**50**
filles	**55**	**40**	**22**	**58**	**16**	**7**	**9**	**16**	**26**	**36**	**20**	**15**

Résultats : le test Mann-Whitney indique e = 3,81 (p.0001) ; de même le test Wald-Wolfowitz indique z = -3,54 (p.0003). Il y a donc une nette différence entre les garçons et les filles… (…*encore une expérience qui va renforcer les stéréotypes des genres !*)

3- Le test de Kolmogorov-Smirnov pour 2 échantillons :
Variables ordinales, deux échantillons indépendants, deux distributions.

Le test de **Kolmogorov-Smirnov** (pour 2 échantillons) vise à déterminer si les 2 échantillons ont été tirés de la même population ayant la même distribution. Comme dans le cas d'un échantillon, on cherche à vérifier l'accord entre 2 distributions cumulées, c'est à dire la comparaison entre 2 séries de valeurs cumulées.

Expérience **:** Nous voulons vérifier si une information contre le danger de l'alcool peut améliorer la vigilance des jeunes conducteurs. Pour ce faire, nous comparons deux populations de fêtards trouvés dans 2 discothèques. Dans la discothèque A, les jeunes ont vu une vidéo montrant un accident de voiture après une soirée arrosée. Dans la discothèque B, les jeunes n'ont pas eu d'information. Au petit matin, tous les sujets des deux populations passent une expérience de temps de réaction.

Résultats : (nombre de sujets, selon les 13 séries de temps de réaction)

Temps (en ms)	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**
A	2	1	4	0	2	1	1	1	1	0	0	0	0
B	0	0	0	2	3	2	1	0	2	0	0	2	1

Marche à suivre : Par un coller-copier (ici, en colonnes, SVP [3]), copiez ces résultats: vous rentrez vos données A et B en colonnes dans "input data", mais en plus il faut indiquer (dans "labels") la série des 13 situations. N'oubliez pas d'indiquer "two sample test" ! Puis faites OK.
Le test calcule aussitôt Kd, et vous aurez en plus des beaux graphiques représentant les deux distributions cumulées, ainsi que la déviation observée.
On obtient Kd=7, pour N=13 (ce qui correspond à la différence la plus grande entre les 2 distribution déviation observée : D max = 0,538 (= 7/13, ce qui correspond à 3ème intervalle = 40ms).
La table nous indique que ce chiffre est significatif à .05 : on peut donc admettre qu'il y a bien une différence entre les deux groupes (test bilatéral), et même on peut accepter l'hypothèse de supériorité du groupe A (test unilatéral) : les sujets ayant visionné la vidéo ont un meilleur temps de réaction *(= vraisemblablement, ils ont moins bu !)*

4. Le Test de la médiane (ou « Mood test »)

Il s'agit du test du signe, adapté à deux échantillons mais ce test de la médiane peut être étendu à plusieurs groupes. On calcule la valeur médiane de la distribution. Cette épreuve indique si deux échantillons indépendants (n'ayant pas forcément la même taille) ont été tirés au hasard du même ensemble-parent. Les échantillons ont-ils des indices de tendance centrale différents (*dans ce cas, on va utiliser un test bilatéral*), ou veut-on vérifier si la médiane d'un échantillon est plus élevé que celle de l'autre ? (*dans ce cas, on utilise le test unilatéral*).

Exemple : deux petits groupes d'étudiants (C et D) ont suivi un enseignement de statistique. Les deux groupes ont passé le même examen de statistiques, corrigé par le même professeur. Les résultats sont-ils identiques, ou peut-on dire qu'un groupe est meilleur que l'autre ?

[3] Pour passer de « ligne» en « colonne » sous Excel, copiez vos données, et sélectionnez un emplacement, puis dans « Edition », choisir « Collage spécial », puis « Transposé », et cliquez OK.

C	D
13	15
12	16
16	15
10	9
10	15
10	14
8	14
9	14
8	13
10	13
	6
	7

Marche à suivre : indiquer dans « label » les 2 séries (C et D), puis vous rentrez vos données A et B en colonnes dans "input data". Cliquer « one tailed », « censor x=median », et « compute chi-square ». Puis faites OK. Aussitôt, la médiane est indiquée *(ici : 12,5*), et le calcul du Khi² est effectué.

	C	D	
x < 12.5	8	3	11
x > 12.5	2	9	11
	10	12	22
	Contingency table		
	ddl	1	
	chi2	6,6	
	p	0,005	

La différence est significative : vu les résultats de l'examen, les étudiants du groupe D ont des meilleures notes que celles du groupe C .

Notons que si les groupes étaient plus importants, on pourrait évidemment utiliser un test des moyennes. Mais si vous utilisez le t de Student (test paramétrique), la différence n'est pas significative (malgré des moyennes bien différentes : 10,6 et 12,5 !) Par contre en utilisant le test Mann-Whitney, la différence redevient significative… D'où l'importance d'utiliser les tests non-paramétriques pour les petits échantillons !)

C. Les tests non-paramétriques pour **k** échantillons :

Pour mémoire, vous pouvez sans difficulté utiliser le test du χ^2 dans le cas de ***k*** échantillons indépendants et à variable nominale. De même les échantillons à variables ordinales peuvent être traités par le test de la Médiane comme nous venons de le voir, mais son extension à ***k*** échantillons conduit à une perte d'information. Il existe néanmoins des tests plus puissants.

Exemple : Nous avons fait passé un test cognitif à 3 groupes d'étudiants: 5 à préférence « visuelle », 5 « auditifs », 4 « mixtes »

V (visuels)	**50**	**62**	**52**	**55**	**51**
A (auditifs)	**26**	**32**	**34**	**20**	**22**
M (mixtes »	**46**	**44**	**39**	**45**	

Comment peut-on analyser ces résultats ? Seule une analyse de variance est possible.

1-**le test Kruskal-Wallis** correspond à une **analyse de variance** non-paramétrique.
Tous ces chiffres seront remplacés par son rang, et le test nous indiquera si les diverses sommes des rangs sont suffisamment différentes pour être significatives.

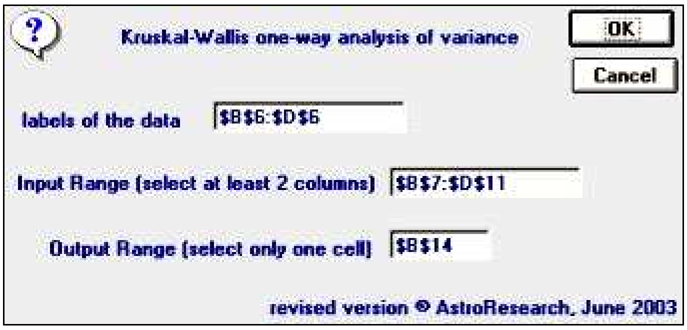
Formule : $\mathrm{H} = \frac{12}{\mathrm{n}(\mathrm{n}+1)} \sum_{j=1}^{k} \frac{R^2{}_j}{n_j} - 3(n+1)$

avec : k = nombre d'échantillons

n = l'effectif total = $\sum_{j=1}^{k} n_j$

Rj = la somme des rangs dans le j ème échantillon.
note : si k>3 et /ou si nj >5, le calcul de la quantité H sera comparé à Khi² au seuil α choisi.

Marche à suivre : Copiez les résultats proposés, **le transformez en 3 colonnes**, en **indiquant les 3 étiquettes**, V, A, M (ou A, B, C, si vous voulez…). Collez ces données dans le « test non-paramétriques » **», pressez à la fois « Ctrl » et « A »,** et vous trouvez facilement le test de Kruskall-Wallis



Inscrivez dans « labels of the data » 1es 3 étiquettes, puis saisir les données dans « input range », et faites OK.

Résultat affiché : un tableau indique le calcul des rangs, et le test statistique :

	V (visuels)	A (auditifs)	M (mixtes »	
	10	3	9	
	14	4	7	
	12	5	6	
	13	1	8	
	11	2		

	V (visuels)	A (auditifs)	M (mixtes »
sample size	14		
count	5	5	4
average	54	27	44
rank sum	60	15	30
rank average	12	3	7,5
ties	0		
Q	11,571		
Q corr.	11.571 | 5% > :5.643 | 1% > :7.791		
p	p < 0.01		

Le résultat est significatif : Q= 11,57 p < 0.01. (on trouve dans la table 5,6 pour p= .05, et 7,8 pour p= .01 (Il y a une différence significative entre les « visuels », « mixtes » et « auditifs »).

Version « paramétrique »
*Si vous préférez faire un ANOVA paramétrique sous Excel, allez dans « Outils », cherchez « Utilitaire d'analyse », cliquez « **analyse de variance : un facteur** », et comparez (en précisant colonnes, ou lignes) ces résultats.*

2- le test Jonckheere-Terpstra

Alors que le test de Kruskal-Wallis permet de mesurer une différence entre plusieurs moyennes, sans préjuger de leur ordre, cette ANOVA non-paramétrique de Jonckheere permet de mesurer un ordonnancement de différentes moyennes, pourvu que ces échantillons soient indépendants. Les moyennes sont calculées par rang. A partir de k échantillons, on construit un tableau où les rangs sont envisagés deux à deux, par un test U (cf. le test de **Mann-Whitney)**

$$J = \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^{k} U_{i,j}$$

puis J sera comparé à une table (*mais ce test n'est pas souvent présent dans les ouvrages !*), ou alors vous pouvez utiliser cette formule d'approximation quelque peu impressionnante :

$$J^* = \frac{J - \mathrm{E}_{H_0}[J]}{\sqrt{\mathrm{Var}_{H_0}(J)}} = \frac{J - \left\{\frac{N^2 - \sum_{j=1}^{k} n_j^2}{4}\right\}}{\sqrt{\frac{N^2(2N+3) - \sum_{j=1}^{k} n_j^2(2n_j+3)}{72}}}$$

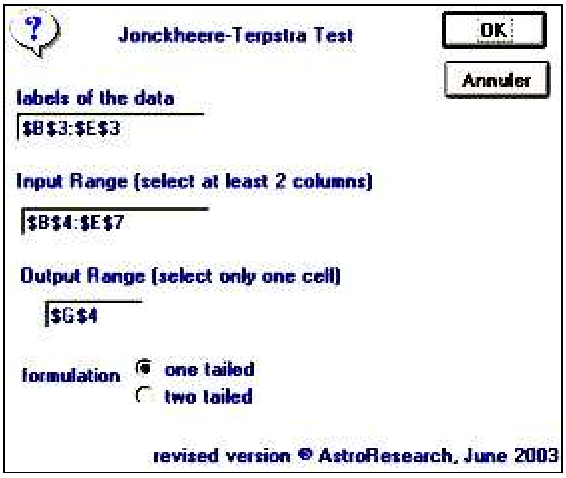
Heureusement, le logiciel calcule automatiquement cette formule !

Ce test est à utiliser pour évaluer (par exemple) un « effet dose ».

Exemple : nous devons tester 4 médicaments « stimulants » en utilisant 39 souris de laboratoire. Les scores obtenus correspondent à l'activité exploratoire des rongeurs ayant reçu la drogue.

médi. A	médi.B	médi.C	médi.D
12	23	25	23
14	32	78	25
21	35	56	45
24	32	25	54
21	45	12	63
25	65	120	45
50	52	130	54
90	65	98	120
110	120	120	97
		26	56
		100	

Cette ANOVA est particulière puisqu'elle range les différentes moyennes obtenues. La procédure est simple : vous inscrivez dans « labels of the data » 1es 4 étiquettes, puis saisir les données dans « input range », et faites OK.



Résultats :

Jonckheere - Terpstra test	
N	39
levels	4
ni	9 | 9 | 11 | 10
mi	40.78 | 52.11 | 71.82 | 58.2
J [x | µ | ±]	352.5 | 284.5 | 39.87
J*	1,705
p	0,044
critical exact value for J [5 | 1 | 0.5] %	not available

Nombre des sujets

Moyennes des 4 scores

valeur ; moyenne ; écart-type

Le test est donc significatif à p=.04 : le médicament C est le plus efficace, puis le D, puis le B… Pourtant si vous décidez d'utiliser le test Kruskal Wallis, ou encore un test paramétrique (*ANOVA à 1 facteur*), les résultats seraient non-significatifs (*Q = 5,19 n.s, et F = 1,29, n.s*).

<u>3- le test de Friedman</u>: un exemple d'étude de K échantillons <u>appariés</u>.

Dans le cas des mesures appariées (ou mesures répétées), l'appariement peut être réalisé à partir de caractéristiques du sujet (âge, sexe, niveau, etc.) ou bien on peut considérer les mêmes sujets dans des conditions différentes (réplication d'expériences, etc.)
Les colonnes représentent les diverses conditions, et les lignes représentent les différents sujets (ou séries appariés de sujets).
Exemple : nous devons analyser 6 sujets, qui vont passer 4 tests différents. Nous allons nous intéresser au nombre d'erreurs effectuées pendant le test.

	Test A	Test B	Test C	Test D
Sujet 1	10	10	15	10
Sujet 2	5	8	8	5
Sujet 3	10	8	10	10
Sujet 4	15	4	18	9
Sujet 5	12	11	11	8
Sujet 6	14	10	21	4

Dans ce cas, on peut utiliser le **test de Friedman** qui correspond à une version non-paramétrique de l'analyse de variance à deux facteurs.
Tous ces chiffres par sujets sont transformés en rang, puis on compare la somme des rangs obtenus pour chaque situation, à la somme théorique. La loi de probabilité de Friedman est proche de celle du Khi2.

Formule du test de Friedman : $X^2 = \frac{12}{Nk(k+1)} \sum (Rj)^2 - 3N(k+1)$

Avec : N= nombre de lignes, k= nombre des colonnes
Rj= somme des rangs de la *jème* colonne
Et **Σ** nous indiquent qu'il faut additionner les carrés des sommes des rang de toutes les colonnes.

<u>Marche à suivre</u> : chercher dans le « test non-paramétriques» le test de Friedman, puis « entrée ». (*Ce n'est pas utile de cocher le « Page's test », ni le « Kendall's coefficient » qui sont également proposés***).**
Dans « input label treatment », indiquez l'appellation des 6 sujets (colonne). Dans « input label block », indiquez les 4 situations (ligne : tests A, B, C, D). Collez les données dans « input range », et faites OK.

Résultat affiché : un tableau indique le calcul des rangs :

Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	Sujet 6	total Ri
2	1,5	3	3	4	3	16,5
2	3,5	1	1	2,5	2	12
4	3,5	3	4	2,5	4	21
2	1,5	3	2	1	1	10,5

Et le résultat du test :

Friedman's Test

N	24
N (=t)	6
k (=b)	4
SRj2	967,5
Fr (3, 15)	4,25
p	0,02329
critical value 5%	7,6
ties	12
corr. for ties	0,817
T'	8,265
p'	0,04084

F= analyse de variance à 1 facteur sur donnée réalisé sur la base des rangs

Test χ^2 de Friedman

Dans notre cas il y a une correction pour les ex-aequo (*cf le terme « ties »*). Ici, nous avons 12 « ties ». Au final, après la correction le résultat reste significatif (**T'= 8,26**, p= .04).

4- Le test de Page (Page's test) :

Ce test est utilisé dans des circonstances spéciales: les tests « *d'appréciation* ». Ce test est congénère du test de Jonkheere - Terpstra, (*il mesure un ordonnancement de différentes moyennes),* à ceci près qu'on l'emploie dans le cas d'échantillons appariés.

Sa logique est simple : Hypothèse nulle : Ho= A=B=C, etc. Alors que H1= A>B>C, etc.

Par exemple, on ajoute un excipient à un médicament en sorte d'améliorer le goût, et on souhaite apprécier l'effet de cette dose sur le jugement. C'est dans ces cas que la statistique de Page est conseillée. Elle est définie par **L**, où :

$$L = \sum_{j=1}^{k} j R_j$$

Explication : **L** représente la somme des **j** rangs **Rj**, de **j** = 1 à **k**. **k** est le nombre de « blocs », exactement comme dans le test de Friedman.

Dans le cas où le nombre de blocs k est inférieur à 10, on consulte une table spéciale. Au-delà, la formule à employer est :

$$L^* = \frac{L - \left(\frac{nk(k+1)^2}{4}\right)}{\sqrt{\frac{n(k^3-k)^2}{144(k-1)}}}$$

où L* est l'approximation normale de L, dès que k > 10 ; elle suit une loi de Khi ^{2} à 1 ddl. n est le nombre d'observations (*attention : il doit y avoir le même nombre à chaque colonne*) et k est le nombre de « blocs ».

Si nous reprenons l'exemple précédent (test de Friedman), vous cochez le « Page's test » en suivant les mêmes consignes :

Page's Test	
N (= t)	6
k (= b)	4
L	145,5
m	150
s	7,071
SL	0,636
p	NS

Ici, SL = L*
L* = (L – m) / s

Le résultat n'est pas significatif (NS). Ainsi si l'on trouve une différence entre les tests (voir résultat de Friedman, qui est significatif), on n'observe cependant pas d'effet d'ordre (ou d'effet-dose).

D. Les mesures de corrélation non-paramétriques

1. le Coefficient de contingence

Dans le **cas d'une variable nominale**, on peut facilement calculer le **Coefficient de contingence**.

En utilisant le χ^2 pour k échantillons, ce coefficient correspond à $C = \sqrt{\ } \ (\chi^2 / N + \chi^2)$

(Bien évidemment, C n'est significatif que si χ^2 l'est, avec $\boldsymbol{\nu}$ *= (k-1)(l-1) degrés de liberté)*

2- Exemple de corrélations non-paramétriques pour 2 échantillons

Les personnalités autoritaires sont-elles liées à leur status social ? Pour le savoir, nous avons testé 12 sujets qui ont passé deux questionnaires de psychologie sociale.

82	**98**	**87**	**40**	**116**	**113**	**111**	**83**	**85**	**126**	**106**	**117**
42	**46**	**39**	**37**	**65**	**88**	**86**	**56**	**62**	**92**	**54**	**81**

Nous pouvons utiliser le **test de corrélation de Spearman**, bien connu (qui calcule la corrélation entre deux ensembles de rangs) ou encore le **test « tau » de Kendall** (qui base sa statistique sur le nombre d'inversions constatées dans les classements).

Formule : rô de Spearman : $r = 1 - \dfrac{6\sum d^2}{N(N^2-1)}$

(avec d = différences entre les 2 classements

Formule du « tau » de Kendall : $\tau = \dfrac{2S}{n(n-1)}$

Avec S = total Réel (= somme des notes +1 ou –1 de toutes les paires)
Et n (n-1) = total Possible.

Le logiciel propose ces deux test de corrélation. Il suffit de placer en colonnes ces données dans « Input range » et faire OK.

Spearman rank order correlation	
N	24
Np	12
Mx	97
My	62,33
Sd	0
Sd2	52
df	10
r'	**0,818**
t	4,497
p	0,00115
Z	0,00333
ties	no
Kendall's Tau	
n	12
S	44
tau	**0,6667**

rô de Spearman

τ de Kendall

Tk for ties	X : 0 - Y : 0
tau corr. for ties	0,6667
p	0,0026

On trouve une corrélation très significative (r'= 0,818 pour le test de Spearman, et *tau* de Kendall = 0,66 ; p= .001).
(*Note : le test de Spearman est accompagné d'un graphique sous Excel représentant le nuage des points de la corrélation*).
Ajoutons que ces tests de corrélation sont adaptés pour évaluer la liaison entre **deux** classements.

2. corrélations non-paramétriques pour k échantillons

Enfin pour évaluer **plus de 2** classements, il faut utiliser soit le **Coefficient de contingence** (*dans le cas d'une variable nominale)*, ou soit le **Coefficient de concordance de Kendall W** (*test non-paramétrique pour variable ordinale*).
(*Vous pouvez également le trouver dans le logiciel en cherchant le test de Friedman, et en cochant le « Kendall's coefficient »*).
Exemple : nous avons demandé à 4 sujets de classer par ordre de préférence 6 dessins :

Sujets	**Dessin 1**	**Dessin 2**	**Dessin 3**	**Dessin 4**	**Dessin 5**	**Dessin 6**
A	5	4	1	6	3	2
B	2	3	1	5	6	4
C	4	1	6	3	2	5
D	4	3	2	5	1	6

Le raisonnement de Kendall est le suivant : si tous les sujets sont d'accord, la somme (Rj) de chaque colonne sera une progression arithmétique de raison k (k étant le nombre de sujets). Et en moyenne, l'écart sera grand entre chaque total Rj, et la moyenne des Rj.
A l'inverse si les sujets effectuent les classements aléatoirement, alors les sommes Rj seront voisines de la moyenne des Rj. Kendall a établi un coefficient de concordance fondé sur le principe des écarts entre chaque total Rj et la moyenne des Rj (W), qui varie de 0 à +1.

Formule du Coefficient de concordance de Kendall .W

$$W = \frac{12S}{k^2(n^3 - n)} \text{ , avec } S = \sum R_j^2 - \frac{(\sum R_j)^2}{N}$$

Avec Rj = somme de chaque colonne (somme des rangs)
k = nombre de classement effectués
n= nombre d'éléments à classer
S= somme des carrés des écarts entre chaque Rj et le moyenne du Rj

Dans notre cas, il faut suivre le même protocole que le test de Friedman.
On trouve dans notre cas :

Kendall's coefficient of concordance	
k	4
N	6
df	5
s	64
W	0,229
F	0,229
T for ties	0
W*	0,229
p	0,47
critical value of W [5 | 1] %	0,501 | 0,644

W = 0,229. (p = 0,47) : il n'y a pas de véritable accord entre les 4 sujets.

OUVRAGES

BEAUFILS B. « Statistiques Appliquée à la Psychologie », tome 2, Bréal édition, 1996

DRETZKE :"Statistiques avec Microsoft Excel", (traduit par I. Goulet), Edition Reynald Goulet Inc., 2005

GUEGUEN N. « Statistiques pour psychologues », Dunod, 2001

HOWELL D.C « Méthodes statistiques en Sciences humaines », Boeck Université, 1998

SIEGEL S. « Nonparametric statistics for the behavioral sciences », McGraw-Hill, 1956

Vous pouvez me contacter par E-mail : **alain.mouches@uco.fr**

Concernant le macro "free" des tests non-paramétriques sous Excel utilisé, l'adresse est:
hdelboy.club.fr/Nonparam.htm

Enfin, vous pouvez également utiliser par Internet des logiciels gratuits de traitements statistiques. Une adresse : **http://www.u707.jussieu.fr/biostatgv/tests.php**

Utilisation des principaux tests statistiques, disponibles sous Excel

Nombre des échantillons à analyser	**Type de variables**	**Type d'échantillons**	**Tests non-paramétriques** *(macro « free », avec calcul sous Excel)*	**Tests paramétriques :** (Calcul sous Excel, *dans* ***« Utilitaire d'analyse »)***	**Tests de Corrélation**
Un échantillon	**NOMINALE**		**Khi2** , *Test binomial*		
	ORDINALE		**Kolmogorov-Smirnov**	**T. de Student** *(dans**"Test d'égalité des espérances: observations pairées")*** ***Pour n>30, «Test de la différence significative minimale*** **(z-test*****) »***	
Deux échantillons	**NOMINALE**	Echantillons indépendants	**Khi2** pour 2 échantillons		<u>*non paramétrique*</u>**:** **Test ρ de Spearman**, **τ de Kendall**.
		Echantillons appariés	**Khi2 de McNemar**		
	ORDINALE	Echantillons indépendants	**U de Mann-Whitney**, *Autres tests : Wald-Wolfowitz, test de Moses* **Kolmogorov-Smirnov** **Le test de la médiane** (Mood test)	**F. de Snedecor** *(dans****: « Test d'égalité des variances »).*** **T. de Student** ***(dans "Test d'égalité des espérances: 2 observations différentes"*** ***Pour n>30, « Test de la différence significative minimale*** **(z-test*****) »***	<u>*paramétrique*</u> *:* **« r » de Bravais-Pearson** Sous Excel, dans « analyse de corrélation »
		Echantillons appariés	**Test de Wilcoxon**	**T. de Student** *(dans**"Test d'égalité des espérances: observations pairées")***	
K échantillons	**NOMINALE**	Echantillons indépendants	**Khi2** pour k échantillons		Coefficient de contingence *(voir Khi 2 pour k éch.)*
		Echantillons appariés	*Test Q de Cochran*		Corrélation multiple: sous Excel, dans **« Régression linéaire »**
	ORDINALE	Echantillons indépendants	**Test de Kruskal-Wallis** **Le test de la médiane** **Test de Jonckheere-Terpstra**	**ANOVA** ***(dans : « analyse de variance : un facteur)***	
		Echantillons appariés	**Test de Friedman** **Test de Page**	**ANOVA** ***(dans : « analyse de variance : deux facteurs, sans répétition d'expérience »***	Coefficient de **concordance de Kendall W**.