



HAL
open science

Éléments de statistiques à l'usage des gériatres, gérontologues et étudiants arithmophobes

Jean-Pierre Jacus

► **To cite this version:**

Jean-Pierre Jacus. Éléments de statistiques à l'usage des gériatres, gérontologues et étudiants arithmophobes. La revue de gériatrie, 2020. hal-04366128

HAL Id: hal-04366128

<https://hal.science/hal-04366128v1>

Submitted on 28 Dec 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RUBRIQUE ENSEIGNEMENT

Eléments de statistiques à l'usage des gériatres, gérontologues et étudiants arithmophobes

Trad xxx

Jean-Pierre JACUS

*Auteur : Psychologue spécialisé en Neuropsychologie, Ph.D, Centre Hospitalier des vallées de l'Ariège, Consultation Mémoire, Foix, France ; Chargé d'Enseignement en Neuropsychologie. Université Toulouse II Jean Jaurès, Toulouse et Centre Universitaire Jean-François Champollion, Albi, France.
Courriel : jeanpierrej@chi-val-ariege.fr*

Article reçu le xxx et accepté le xxxx

RESUME

Les statistiques ont été grandement facilitées par l'essor de l'informatique mais nécessitent cependant quelques savoirs élémentaires. Dans une première partie, nous abordons les différentes variables en jeu dans une recherche scientifique, les tests statistiques, ainsi que leurs conditions d'utilisation, propres à mesurer les associations entre ces variables suivant leur nature.

Nous présentons ensuite une application pratique à l'aide du logiciel JASP d'accès gratuit. Outre les statistiques descriptives paramétriques (moyenne, variance, etc.) et non-paramétriques (médiane, mode, centiles, etc.), ce logiciel réalise les principaux tests statistiques d'utilité en recherche clinique : associations entre une variable qualitative à deux modalités et une ou plusieurs variable(s) quantitative(s) (T-tests) ; entre une variable qualitative à plus de deux modalités et une ou plusieurs variable(s) quantitative(s) (ANOVA) ; entre des variables quantitatives (corrélations) ; et entre des variables qualitatives (Chi-deux).

De par sa simplicité, JASP s'adresse d'abord aux étudiants et cliniciens-chercheurs travaillant notamment sur des échantillons de taille modeste.

Mots clés : Tests statistiques - Recherche - Logiciel JASP

SUMMARY

Because of development of computer tools, statistical software are easy available but can be expensive or complex of use. Nevertheless, none statistical software is exempt of knowledge in statistical methods. These methods are presented in the first part of this work.

In a second part, we present JASP software, created by Wagenmakers and coworkers which is in free access to the following adress <https://jasp-stats.org>. The main purpose of this paper, providing examples using JASP, is to recall the main statistical tests used in research and to underline their conditions of validity.

Theses statistical tests are the following: T-Test for association between factors with two levels and numeric variables (Independent Samples T-Test; Paired Samples T-Test; One Sample T-Test including non-parametric comparisons); ANOVA, with possibility of covariates and repeated measures for association between factors with more than two levels and numeric variables (ANOVA; ANCOVA; Repeated Measures ANOVA); Correlation for associations between two numeric variables (Pearson's test for parametric correlations and Spearman Correlation or Kendall's Tau-B for non-parametric correlations); Contingency tables and Chi-squared tests for associations between factors.

So this tool appears to be particularly interesting to do basically statistics for students as for clinicians in psychological and medicinal sciences.

Keywords: Statistical tests - Research - JASP software

INTRODUCTION

Il est dommage de voir des personnes et notamment des médecins de formations scientifiques renoncer à se lancer dans quelques recherches scientifiques ou études aussi simples soient-elles par méconnaissance ou simple peur de l'analyse statistique qu'elles peuvent requérir, notamment à l'heure où des logiciels statistiques sont aisément accessibles. Le présent article a simplement pour vocation à rappeler les principes d'une recherche, les variables en jeu et l'analyse statistique qui peut en découler. L'article sera décliné sous un volet théorique simple et un volet d'application pratique utilisant le logiciel *Jasp*.

QUELQUES PREREQUIS STATISTIQUES ELEMENTAIRES

Principe d'une recherche scientifique ou d'une étude

Le principe d'une étude consiste à faire varier un ou plusieurs paramètres, appelées variables indépendantes ou facteurs (car ce sont elles que le chercheur manipule) et à en étudier les conséquences sur des variables dites dépendantes (qui dépendent des facteurs). Une fausse croyance fréquente est qu'une étude complète requiert de nombreux facteurs ou variables indépendantes. Au contraire, un facteur, à l'image d'un médicament, doit être le plus isolé possible pour être évalué le plus précisément possible. En conséquence de quoi, au-delà de deux facteurs principaux, il est souvent difficile d'établir une analyse statistique adéquate simple et d'en extraire des interprétations adéquates.

Nature des variables dans une étude scientifique

Les tests statistiques ont pour principal but de mesurer des associations¹ entre les variables dans une étude, variables qui peuvent être de différentes natures.

¹ Il importe d'avoir à l'esprit qu'une association n'est pas un lien de causalité.

Variables quantitatives

Les variables quantitatives sont des variables numériques, pour lesquelles un calcul mathématique peut être réalisé (moyenne, etc.). Elles se répartissent elles-mêmes en deux catégories : discrètes ou continues. A la différence d'une variable continue, une variable quantitative discrète est une variable dont chaque valeur a été arrondie à un chiffre entier, tel l'âge que l'on a arrondi en années révolues, etc.

Variables ordinales

Il s'agit de variables dont les réponses peuvent être ordonnées par type (ex. « peu satisfait », « satisfait », « très satisfait »), ou par classes (ex. votre âge : 20-30 ans, 31-50 ans, plus de 50 ans). L'information recueillie ne peut plus faire l'objet d'opérations mathématiques et donc être considérée comme quantitative. Ainsi, dans une enquête, la variable « satisfaction », peut être entendue comme ordinale car le fait d'être « très satisfait » ne signifie pas que l'on soit deux fois plus « satisfait ». Il n'y a pas de relation mathématique entre les différentes classes de la variable qui ne peut plus faire l'objet de calculs mathématiques. Il existe simplement une relation ordinale entre les différentes classes de la variable (par exemple: « Très... », « Modérément... », « Peu... », « Pas du tout... »).

Les variables quantitatives et ordinales sont souvent des variables dépendantes. Ce sont des mesures qui dépendent des différents facteurs ou variables qualitatives que l'on utilisera.

Variables qualitatives

A l'image des variables ordinales, les variables qualitatives ne peuvent faire l'objet d'une opération mathématique, et de surcroît n'ont pas de lien ordinal entre les différentes modalités qui la composent (ex. Homme, Femme). Elles sont aussi appelées variables catégorielles et peuvent être de deux types : binaires (le cas le plus fréquent est le sexe), ou à k modalités (c'est-à-dire à plus de deux modalités).

Les variables qualitatives sont souvent appelées « facteurs ou variables indépendantes », car ce sont les variables censées influencer sur des variables dépendantes.

Séries dépendantes et appariées

Dans un plan expérimental, les sujets peuvent être emboîtés dans des facteurs (ex. le facteur « Sexe » est un facteur emboîtant à deux modalités : Homme ou Femme et on ne peut être dans les deux conditions à la fois). Les distributions qui en découlent sont donc indépendantes.

Les sujets peuvent aussi être croisés avec les facteurs (ex ; le facteur « Examen » composé d'une épreuve d'anglais et de français réalisées par tous les sujets). Les distributions qui en découlent sont appariées car ce sont les mêmes sujets qui passent les deux conditions du facteur « Examen ».

Exemple : un groupe de 50 garçons et de 50 filles passent un test d'effort et un test de mémoire. On veut savoir s'il existe une différence en fonction du sexe sur les scores à ces deux épreuves. Quelles sont les variables étudiées et leur nature ?

Réponses :

- *sexe : variable qualitative binaire. C'est un facteur emboîtant ;*
- *test : variable qualitative binaire. C'est un facteur croisé avec les sujets ;*
- *score au test d'effort : variable quantitative (c'est une variable dépendante) ;*
- *score au test de mémoire : idem ;*
- *comme le facteur test est croisé avec les sujets, les résultats aux tests (effort et cognition) sont des distributions (ou séries) appariées.*

Statistiques paramétriques et non-paramétriques

On désigne par la terminologie « statistiques paramétriques » des statistiques basées sur la comparaison des moyennes² et utilisant comme indicateur de la dispersion des résultats d'une distribution la variance³ ou sa racine carré ; l'écart-type. L'utilisation d'un tel type de statistique requiert au moins la normalité de la distribution étudiée que l'on peut vérifier à l'aide d'un test de normalité (Shapiro-Wilk par exemple) et qui est garantie dès lors que l'effectif (n) est ≥ 30 , (ce par approximation à la loi normale). La loi normale, aussi appelée loi de Laplace-Gauss est la loi de distribution des grands effectifs, en forme de cloche symétrique, caractérisée par deux paramètres : la moyenne et la variance.

Dans le cas de petit effectifs ($5 < n < 30$), il est préférable d'utiliser des statistiques non-paramétriques, c'est-à-dire ne comparant plus des moyennes mais les rangs des sujets et ne requérant donc plus la variance d'une distribution.

Hypothèses statistiques

On teste l'hypothèse nulle (H_0), supposant qu'il n'y a pas de lien entre les variables étudiées, (donc qu'il n'y a pas d'effet d'un facteur sur un autre ou sur une variable dépendante), contre l'hypothèse alternative (H_1), supposant l'inverse. Cette hypothèse peut être :

- unilatérale (signifiant qu'on attend la supériorité d'un groupe sur un autre) ;
- bilatérale (signifiant qu'on attend la supériorité d'un groupe comme de l'autre).

Dans les faits, on choisit le plus souvent l'hypothèse bilatérale à moins de pouvoir prouver qu'en théorie, un groupe ne peut dépasser l'autre.

² Moyenne = $\frac{\sum x_i}{n}$ où $\sum x_i$ = les scores obtenus pour telle ou telle variable dépendante et n = l'effectif

³ Variance = $\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1}$ et écart-type appelé également $\sigma = \sqrt{\text{variance}}$

NB : Le choix de l'hypothèse unilatérale ou bilatérale ne concerne que les lois de probabilité bilatérales et symétriques comme la loi normale ou celle de Student. Nous verrons plus loin que cette possibilité ne concerne que les T-tests et les corrélations se référant à ces lois.

A titre d'exemple, si l'on compare les scores au Mini Mental State Examination (MMSE) entre un groupe de patients Alzheimer et un groupe Contrôle avec un test de Student, on peut choisir l'hypothèse unilatérale de la supériorité du groupe Contrôle sur le groupe Alzheimer, car, en théorie, le groupe Alzheimer ne pourra jamais dépasser le groupe Contrôle à un questionnaire où il suffit de disposer de ses fonctions cognitives basiques (être normal) pour avoir le score maximal. Ce choix peut donc être justifié par l'effet « plafond » du test.

En dehors de cas spécifiques, le plus prudent est toujours de choisir l'hypothèse bilatérale.

Risque d'erreur de première et seconde espèce

Deux types d'erreurs sont associés à l'analyse statistique :

Erreur dite de première espèce ou erreur de type I

Elle est relative au risque que l'on accepte en rejetant H_0 (alors que celle-ci est vraie) et en concluant à une différence significative entre différents résultats et donc à une association entre des variables, alors qu'il n'y en a pas. Il s'agit donc du risque de déclarer une valeur comme étant hors norme, alors qu'elle ne l'est pas, sur la loi de probabilité considérée. Ce risque appelé α est d'au plus 5 %, et se lira *p-value* < 0,05 (ou $p < 0,05$). En cas de variables dépendantes (VD) en nombre conséquent, ce seuil peut être corrigé par la méthode de Bonferroni ($\frac{\alpha}{\text{nombre de VD}}$) ou réduit au seuil de 1% ($\alpha = 0,01$).

Erreur dite de seconde espèce ou erreur de type II

Elle concerne le risque pris en acceptant H_0 (alors que celle-ci est fautive) et donc en concluant à l'absence de différence significative entre différents scores et l'absence de liens entre

variables, alors qu'elles sont liées. Ce second risque nommé β est plus difficile à contrôler car dépendant d'une réalité que l'on ne connaît pas. Autrement dit, les risques α et β ne sont pas symétriques et l'un n'est pas le complémentaire de l'autre. Dans ces conditions, le statisticien privilégiera le risque α qu'il peut quantifier.

Un résultat est significatif dès lors que la *p-value* du test est $< 0,05$ (hormis corrections de Bonferroni). Cette p-value correspond au risque d'erreur de première espèce accepté.

TESTS STATISTIQUES (PRINCIPES ET CONDITIONS D'UTILISATION)

(Tableau I : Tests statistiques et conditions d'utilisation)⁽¹⁻³⁾

Chi-deux (χ^2 , χ^2 de Yates, test exact de Fisher, test de Mc Nemar) : ils permettent de tester l'effet d'une variable qualitative sur une autre variable qualitative (par ex. tester la représentation d'une démence en fonction du sexe).

T-test (Student, Welch) : ils permettent de tester l'effet d'une variable qualitative binaire sur une variable quantitative, autrement dit de comparer deux groupes ou deux conditions sur une mesure ou plusieurs mesures, (par ex. comparer les performances à un examen, le poids, etc., en fonction du sexe).

ANOVA (avec mesures répétées et ANCOVA) : L'analyse de variance à un facteur (ANOVA) et avec co-variables (ANCOVA) permet de tester l'effet d'une variable qualitative à plus de 2 modalités sur une ou plusieurs variables quantitatives, (par ex. comparer les performances à un test, le salaire, etc. suivant la catégorie socio-professionnelle dès lors que les catégories sont > 2).

La Corrélation : permet de tester le lien entre deux variables quantitatives issues d'un même échantillon (par ex. tester l'association entre les performances à un test d'effort et un test cognitif).

Chi-deux

Le principe du χ^2 consiste à comparer la répartition observée à une répartition théorique telle qu'elle serait si les deux variables qualitatives étudiées n'avaient aucun lien entre elles⁴.

Conditions d'utilisation

Si chacune des deux variables qualitatives n'a que deux modalités (tableau 2 X 2) alors :

- on utilisera le χ^2 quand tous les effectifs théoriques (E.Théo) > 5 ;
- on utilisera le χ^2 avec correction de continuité (dite de Yates) quand $2,5 \leq E.Théo \leq 5$;
- on utilisera le *test exact de Fisher* quand $E.Théo < 2,5$.

Si une ou deux variables qualitatives a (ont) plus de deux modalités :

- $\chi^2 = \chi^2$ de Yates quand $E.Théo \geq 5$;
- sinon, on utilisera le test exact de Fisher en ramenant chacune des variables qualitatives à 2 modalités (tableau 2 X 2).

En cas de séries appariées, il faut utiliser le *test de Mc Nemar*

⁴ Nous rappelons simplement que le calcul « à la main » du χ^2 classique est le suivant : $\chi^2 = \sum \frac{(n-t)^2}{t}$

Où n = effectif observé ; t = effectif théorique et le degré de liberté = (modalités Variable₁ - 1) × (modalités Variable₂ - 1). Nous rappelons également le calcul « à la main » de l'effectif théorique à partir de celui observé.

Sexe → Démence ↓	Hommes	Femmes	Total Démence
Déments	$\frac{\Sigma \text{ ligne 1} \times \Sigma \text{ colonne 1}}{n}$	$\frac{\Sigma \text{ ligne 1} \times \Sigma \text{ colonne 2}}{n}$	$\Sigma \text{ ligne 1}$
Non-Déments	$\frac{\Sigma \text{ ligne 2} \times \Sigma \text{ colonne 1}}{n}$	$\frac{\Sigma \text{ ligne 2} \times \Sigma \text{ colonne 2}}{n}$	$\Sigma \text{ ligne 2}$
Total Sexe	$\Sigma \text{ colonne 1}$	$\Sigma \text{ colonne 2}$	n

n = effectif total. Ici le degré de liberté = (modalités Sexe - 1) × (modalités Démence - 1) = 1 × 1 = 1

T-test

Les T-tests permettent de comparer deux distributions, de tailles égales ou non, autour d'un facteur binaire différenciant ces distributions⁵.

Conditions d'utilisation

Les T-tests paramétriques requièrent la normalité des deux distributions ou des effectifs pour chacune des distributions ≥ 30 , permettant une approximation par la loi normale. Si cette condition n'est pas réalisée, il est préférable d'utiliser un test non-paramétrique (voir ci-dessus). La normalité peut se vérifier par un test de Shapiro-Wilk non-significatif (voir exemple ci-dessous) :

- on utilisera le *Test de Student*, si les variances de chacune des distributions sont comparables au test F de Sénédécour ou test de Levene (non-significatifs, donc à la *p-value* > 0.05) ;
- on utilisera le *Test de Welch*, si les variances ne sont pas comparables (test F ou test de Levene significatifs, donc à la *p-value* < 0.05) ;
- on utilisera le *Test de Student pour séries appariées*, si ce sont les mêmes sujets dont différents scores sont comparés ;
- si l'effectif de l'une ou des deux distribution est(ont) < 30 , on utilisera le test de Mann & Whitney pour les séries indépendantes et celui de Wilcoxon pour celles appariées.

ANOVA ou analyse de variance à un facteur

Quand on compare plus de deux distributions autour d'un même facteur (donc que le facteur a plus de deux modalités), on ne peut plus utiliser de T-test. En effet, comparer deux à deux

⁵ Nous rappelons simplement que le calcul « à la main » du test *t* de Student pour variances égales (comparaisons

de moyennes pour séries indépendantes à variances comparables) est $T = \frac{moy_1 - moy_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$ où $s = \sigma \times \frac{n}{n-1}$

trois distributions, reviendrait à faire trois comparaisons. Le risque d'erreur α ne serait plus $1 - 0,95 = 0,05$, soit 5 %, mais $1 - (0,95)^3$, soit $1 - 0,857 = 0,143$, soit 14,3 %. Dès lors que le facteur étudié (variable qualitative) comprend plus de 2 modalités, il convient de réaliser une ANOVA.

Conditions d'utilisation

Normalité (test de Shapiro-Wilk non-significatif, donc à la p -value $> 0,05$) ou effectif de chaque distribution ≥ 30 .

Comparabilité des variances de chacune des distributions (test de Bartlett ou test de Levene non-significatif, donc à la p -value $> 0,05$).

Sinon : on utilisera le *test non-paramétrique de Kruskal & Wallis* requérant simplement des effectifs > 5 dans chacune des distributions.

ANOVA ou Kruskal & Wallis: analyse post-hoc

Si l'ANOVA montre une p -value significative ($p < 0,05$), cela signifie qu'il existe une différence entre les k distributions du facteur étudié. Il convient alors de savoir quelles distributions diffèrent entre-elles.

Pour cela, on réalise une analyse dite « post-hoc », permettant de comparer les distributions deux à deux. Cette analyse existe aussi bien pour l'ANOVA que pour son équivalent non-paramétrique, le test de Kruskal & Wallis.

Corrélations

La corrélation de Pearson (r)⁶ mesure la force d'une association entre deux variables quantitatives. Cette mesure est comprise entre -1 (corrélation négative parfaite suggérant qu'à

⁶ Nous rappelons le calcul « à la main » d'une corrélation de Pearson = $r = \frac{cov(x,y)}{s_x \cdot s_y}$ où : $cov(x,y) =$

$\frac{\sum(x_i - moy\ de\ x)(y_i - moy\ de\ y)}{n-1}$; $n =$ effectif ; et $s = \sigma \times \frac{n}{n-1}$

mesure qu'une variable augmente, l'autre décroît et réciproquement), et 1 (corrélation positive parfaite suggérant qu'à mesure que l'une augmente, l'autre augmente également). Entre ces deux extrêmes, la corrélation égale à 0 suggère une absence d'association entre les deux variables. Attention! Une association n'est pas un lien de cause à effet... Enfin, la corrélation mesure la force de l'association, la *p-value* mesure sa significativité...

Conditions d'utilisation


Les deux variables X et Y doivent chacune suivre une loi normale (que l'on vérifiera par un test de Shapiro-Wilk non-significatif, donc avec une *p-value* > 0.05) ou avoir chacune un effectif ≥ 30 .

Les variances des variables X et Y doivent être comparables, ce que l'on vérifiera par un test F de Sénédcor ou un test de Levene non-significatif, donc avec une *p-value* > 0,05.

Sinon : on utilisera la corrélation non-paramétrique ou corrélation des rangs de Spearman (ρ ou rho de Spearman).

APPLICATION SUR LE LOGICIEL JASP

Téléchargement

Le logiciel *Jasp* créé par Wagenmakers *et al.* est téléchargeable gratuitement à partir du lien <https://jasp-stats.org>⁽⁴⁾. Il est disponible pour formats Windows depuis la version XP, ou pour formats Mac OS X depuis la version Mountain Lion 10.8. Après téléchargement et ouverture du logiciel (actuellement version 0.12.1.0 susceptible d'évoluer), l'écran supérieur gauche affiche neuf onglets dont  destiné à l'importation de données, suivi de huit onglets relatifs aux principales statistiques (*Descriptives, T-Tests, ANOVA, Regression, Frequencies, Factor, Meta Analysis et Summary Statistics*). Le logiciel dispose déjà de jeux de données inclus, mais nous proposons un jeu de données afin d'illustrer les différentes statistiques

expliquées ici et invitons le lecteur à l'utiliser après lecture de chaque type de test statistique exposé.



Datas

Jeu de données

Le lecteur pourra trouver ci-joint un jeu de données fictives (datas) concernant 3 groupes de 31 sujets chacun : groupe Contrôle, groupe souffrant d'un Trouble Cognitif Léger et groupe souffrant d'une maladie d'Alzheimer. Le sexe de chacun est indiqué, ainsi que son âge en années révolues, son niveau d'étude (Niveau Socio Culturel - NSC en années de scolarité après le cours préparatoire) et son score au *Mini Mental State Examination* - MMSE (coté sur 30).

Indiquez la nature de chacune des variables :

Neuropathologie *Variable qualitative à 3 modalités. Facteur emboitant.*

Sexe *Variable qualitative binaire. Facteur emboitant.*


Age *Variable quantitative (discrétisée).*

NSC (Niveau d'études) *Variable quantitative.*




MMSE *Variable quantitative.*

Importation des données

Les données doivent être copiées depuis le jeu de données en annexe (variables en colonnes et observations en ligne) et enregistrées au format csv (séparateur: point-virgule) (*.csv) dans Excel (Figure 1).

L'importation se fait en cliquant sur l'onglet , *Open*, *Computer*, puis *Browse* (parcourir), permettant d'accéder à l'adresse où le fichier de données est enregistré (Figure 2).

Ouverture du fichier de données et définition des variables

Après ouverture, le fichier s'affiche sur la partie gauche de l'écran *JASP*. Il est d'abord nécessaire de définir la nature de chacune des variables au moyen des icônes suivantes :  (réglette marron) pour les variables quantitatives (« Age », « NSC » et « MMSE ») ;  (barres colorées) pour les variables ordinales et  (cercles colorés) pour les variables qualitatives (« Neuropathologie » et « Sexe »). Il est préférable de dénommer clairement les modalités des variables qualitatives ou ordinales sur le fichier csv du jeu de données (exemple pour la variable sexe : « *homme* », « *femme* »), de façon à définir automatiquement la nature des variables et à obtenir des graphiques explicites (Figures 3 et 4).

Statistiques descriptives

L'onglet *Descriptives* permet l'étude d'une ou plusieurs variables quantitatives (colonne Variables) en fonction ou non d'une variable qualitative à 2 modalités ou plus (Split). Le lecteur pourra remarquer que le logiciel fonctionne avec des boîtes de dialogues en faisant glisser chacune des variables à étudier de la case de gauche à celle de droite avec les flèches intermédiaires.

L'option *Statistics* dans *Descriptives statistics* propose les tendances centrales paramétriques (moyenne) ou non-paramétriques (médiane, soit la valeur séparant les 50 % des observations les plus faibles, des plus élevées), ainsi que les dispersions paramétriques (variance, déviation standard soit l'écart-type) ou non-paramétriques (rang, valeur minimale, maximale).

Nous avons ici fait apparaître le percentile (ou centile) 20 pour la variable « Age », en fonction de la Neuropathologie, soit l'âge séparant les 20 % des sujets les plus jeunes des 80 % les plus âgés dans chaque groupe neuropathologique (75 ans pour le groupe Alzheimer, 76 ans pour le groupe Trouble Cognitif Léger et 66 ans pour le groupe Contrôle).

De même, il est possible d'obtenir des graphiques de type Box plot (cliquez sur l'option *Plots*, puis *Boxplots* et *Use color palette* pour la coloration) (Figures 5 et 6).

T-Tests

On veut savoir si le niveau d'études varie suivant le sexe. Il s'agit donc de tester le lien entre une variable qualitative binaire (Sexe) et une variable quantitative (Niveau d'études - NSC), ce qui correspond aux T-tests pour séries indépendantes (cliquez sur *T-Tests*, puis sur *Independent Sample T-Test* dans *Classical*). Déplacez la variable NSC dans la colonne *Variables* et Sexe dans la case *Grouping Variable*. Dans l'option *Alt. Hypothesis*, conservez l'hypothèse bilatérale (Group 1 \neq Group 2, qui est pré-cochée), supposant qu'on attend la supériorité d'un groupe comme de l'autre. L'option *Descriptives* donne l'effectif, la moyenne et l'écart-type de chaque groupe. Il n'est pas nécessaire de vérifier la normalité de chaque distribution dans l'option *Assumption Checks* puisqu'elles sont ≥ 30 (approximation possible par la loi normale). En revanche vérifiez l'égalité des variances par un test de Levene qui s'avère non-significatif ($p = 0,990$, donc $> 0,05$).

Le test de Student est donc possible. Dans l'option *Tests*, cochez *Student* qui montre une valeur $t = -1,865$, non-significatif car $p = 0,065$. Il n'y a donc pas d'effet du facteur Sexe sur la variable Niveau d'études et l'on accepte alors l'hypothèse nulle au risque d'erreur de seconde espèce β . (Tableau 1 et Figure 7).

ANOVA

On souhaite maintenant savoir si le MMSE varie en fonction de la neuropathologie. Il s'agit donc de tester le lien entre une variable qualitative à trois modalités (Neuropathologie) et une variable quantitative (MMSE). Ceci requiert donc une ANOVA (sans co-variables, ni mesures répétées) (cliquez sur l'onglet *ANOVA*, puis dans *Classical*, cliquez sur *ANOVA*). Déplacez la variable Neuropathologie dans la colonne *Fixed Factors* et MMSE dans la colonne *Dependent*

Variable. Dans l'option *Assumption Checks*, il n'est pas nécessaire de vérifier la normalité des distributions garantie par un effectif ≥ 30 (voir ci-dessus). En revanche, vérifiez l'égalité des variances par un test d'homogénéité de Levene (*Homogeneity tests*) qui s'avère significatif ($F = 15,069, p < 0,001$). Les variances des trois distributions ne sont donc pas comparables au risque de 5 % d'erreur de première espèce (et même au risque de 1 %). Il faut donc utiliser un équivalent non-paramétrique, soit le test de Kruskal & Wallis. Allez dans l'option *Nonparametrics* et faites glisser la variable Neuropathologie de la case de gauche à celle de droite. Le logiciel rapporte un test de Kruskal & Wallis que l'on notera ($\chi^2 = 34,964, p < 0,001$). Il existe donc un effet de la neuropathologie sur le MMSE au risque de 5 % d'erreur de première espèce.

Pour savoir quels groupes diffèrent entre eux, allez dans l'option *Post Hoc Tests* et faites glisser la variable Neuropathologie comme précédemment. La correction de *Bonferroni* (conseillée car adaptée à toutes les situations) dans le type *Dunn* (adapté aux comparaisons non-paramétriques, alors qu'on optera pour un type *standard* dans le cas d'une comparaison paramétrique) montre que les MMSE des trois groupes diffèrent tous entre eux au risque de 5 % d'erreur de première espèce. Il existe donc un effet significatif de la neuropathologie sur le MMSE de chacun des trois groupes au risque d'erreur de première espèce de 5 % (Tableau 1 et Figure 8).

Chi-Deux (onglet « Frequencies »)

On souhaite savoir s'il y a une relation entre le Sexe et la Neuropathologie. Il s'agit donc de tester le lien entre deux variables qualitatives: Sexe (facteur binaire) et Neuropathologie (facteur à 3 modalités), qui requiert donc un χ^2 . Allez dans l'onglet *Frequencies*, puis cliquez sur *Contingency Tables* dans *Classical* et faites glisser une variable en ligne (*rows*) et l'autre en colonne (*columns*) (peu importe le sens). Avant toute chose, il convient de demander les effectifs théoriques que l'on trouvera dans l'option *Cells*, puis cliquez sur *Expected* dans

Counts. Aucun effectif théorique n'étant < 5 , il est possible de faire un χ^2 classique. Dans l'option *Statistics*, cochez alors χ^2 et on remarquera que, puisqu'il s'agit d'une relation entre un facteur à 2 modalités et un autre à 3 modalités (table 2 X 3), le χ^2 classique donne exactement le même résultat que le χ^2 avec correction de continuité. Ici: $\chi^2 = 3,179$, $p = 0,204$. Il n'y a donc pas de lien entre les deux facteurs au risque d'erreur de seconde espèce β . On peut donc accepter l'hypothèse nulle (absence de lien) entre les deux variables.

NB : Le test de Fisher correspond à *Logs odds ratio* (Tableau 1 et Figure 9).



Table de F à 95%

Corrélations

Vérification de la comparabilité des variances pour une corrélation paramétrique

On souhaite savoir s'il existe un lien entre le score au MMSE et le niveau d'études des participants, soit entre deux variables quantitatives. Il s'agit donc d'une corrélation. L'onglet *Regression*, puis l'option *Correlation* dans *Classical* n'offre pas la possibilité de vérifier toutes les conditions d'une corrélation de Pearson (paramétrique), à savoir: normalité des distributions et comparabilité des variances. L'onglet *Descriptives* puis l'option *Statistics* permet d'obtenir l'écart-type de chacune des deux variables (MMSE = 2,56, NSC = 2,586). La comparaison de variances avec le test F de Snedecor⁷ consiste à poser l'écart-type le plus élevé en numérateur et celui le plus faible en dénominateur de façon à obtenir un quotient > 1 . Ici : $2,586/2,56$ montre que $F = 1,01$. On comparera donc cette valeur de F à celle lue dans une table de F à 95 % (voir ci-dessus), pour des degrés de libertés = (effectif - 1) pour chaque

⁷ Test de comparaison de variances de Fisher-Snedecor : $f = \frac{s_1^2}{s_2^2}$ (où s_1^2 correspond à la variance la plus élevée car f est toujours > 1).

distribution, soit 30 en ligne et 30 en colonne. Ici F calculé (1.01) < F lu dans la table (1.84). Les variances sont donc comparables au risque d'erreur de seconde espèce β . (Tableau 1 et Figure 10).

Vérification de la normalité des distributions pour une corrélation paramétrique

La question de la normalité de chacune des deux variables ne se pose pas car l'effectif de chacune est ≥ 30 . Sinon, retournez dans l'onglet *Regression*, puis *Correlation* dans *Classical*. L'option *Assumption checks* puis *Pairwise Normality* (cochez *Shapiro*) permet de vérifier les conditions de normalité d'une corrélation bivariée. Par ailleurs, sachez que la significativité du test de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) pour une ou plusieurs variables n'empêche pas l'approximation par la loi normale de par l'effectif ≥ 30 (Tableau 1 et Figure 11).

Corrélation paramétrique de Pearson

La normalité étant garantie par l'effectif et la comparabilité des variances ayant été validée par le test F de Snedecor, il est donc possible de réaliser une corrélation paramétrique de Pearson (r). Toujours dans l'onglet *Regression*, puis *Correlation* dans *Classical*, faites glisser les deux variables dans la colonne *Variables*, cochez la corrélation demandée dans *Sample Correlation Coefficient*, et surtout *Report significance* qui donnera la p -value ou significativité de la corrélation. Ici $r = 0,383$, $p < 0,01$, il existe donc une corrélation positive entre le score au MMSE et le niveau d'études au risque de 5 % d'erreur de première espèce, faisant en sorte que le score au MMSE augmente avec l'élévation du NSC. En cas de doute sur les conditions de validité d'une corrélation de Pearson, vous pouvez toujours demander une corrélation des rangs de Spearman. (Tableau 1 et Figure 11).

CONCLUSION

Jasp dispose d'un caractère pédagogique fourni par l'option *Assumption Checks* disponible dans chaque onglet. Il convient donc de toujours vérifier les conditions de validité des tests

paramétriques qui sont le plus souvent pré-cochés. Mais il ne s'agit là que de l'un des aspects les plus élémentaires de ce logiciel gratuit au fonctionnement intuitif. Le lecteur averti pourra constater bon nombre d'autres possibilités et notamment des modèles bayesiens qui font également l'originalité de cet outil. Citons aussi la qualité des graphiques proposés, en dépit d'une impossibilité de redimensionner les échelles des axes, ce qui peut parfois conduire à de fausses impressions au seul vu du graphique. Enfin, nous ne pouvons que mettre le lecteur en garde s'agissant de l'interprétation des résultats. Une association n'est pas une causalité et ceci concerne l'ensemble des tests statistiques. L'interprétation des résultats relève autant de l'ensemble des résultats obtenus lors de l'étude au regard des hypothèses formulées, que de résultats d'études antérieures, que... du bon sens et de la prudence.

Au final, *Jasp* est un logiciel simple et intuitif. Mais il ne dispense pas de certaines connaissances statistiques. A défaut d'avoir les connaissances requises, il est toujours possible de poser précisément ses questions sur *Le Forum de Statistiques*⁽⁵⁾ ou mieux : opter pour une formation en statistiques.

Liens d'intérêts : l'auteur déclare ne pas avoir de lien d'intérêt en rapport avec cet article.

1 REFERENCES

- [1] **Gegout-Petit A, Alioum A.** DU Méthodes Statistiques en Santé. Tests Statistiques. Bordeaux, Université de Bordeaux. ISPED ; 2016.
- [2] **Liquet B, Alioum A.** DU Méthodes statistiques en Santé. Analyse de la variance, Régression linéaire et Corrélation. Bordeaux, Université de Bordeaux. ISPED ; 2015.
- [3] **Howell D, Bestgen Y, Yzerbyt V, Rogier M.** Méthodes statistiques en sciences humaines. Louvain-La-Neuve, de Boeck Université ; 2008.
- [4] JASP. A Fresh Way to Do Statistics. <https://jasp-stats.org>
- [5] Le Forum de Statistiques. <http://statistiques.forumpro.fr/>

Tableau 1 : Tests statistiques et leurs conditions d'utilisation

Table 1 : Statistical tests and their rules of use


		Nature de la variable n°2			
		Risque $\alpha = 5\%$, soit $p < 0.05$	Qualitative à 2 modalités	Qualitative à k modalités	Quantitative
Nature de la variable n°1	Qualitative à 2 modalités	Séries indépendantes	- Tous les effectifs théoriques ≥ 5 : χ^2 - $2,5 \leq$ effectif(s) théorique(s) < 5 : χ^2 de Yates	Effectifs théoriques ≥ 5 : $\chi^2 = \chi^2$ de Yates	<ul style="list-style-type: none"> - Normalité et comparabilité des variances : t de Student - Normalité et non comparabilité des variances : test de Welch - Sinon, test NP de Mann & Whitney
			Effectif(s) théorique(s) $< 2,5$: Test exact de Fisher (pour tableau 2 à 2)	Effectifs théoriques < 5 : Test exact de Fisher (pour tableau 2X2)	
	Qualitative à k modalités	Séries indépendantes	Effectifs théoriques ≥ 5 : $\chi^2 = \chi^2$ de Yates, Effectif(s) théorique(s) < 5 : Test exact de Fisher (table 2X2)		<ul style="list-style-type: none"> - Normalité et comparabilité des variances : ANOVA ou ANCOVA (si covariables) - Sinon, test NP de Kruskal & Wallis
			Séries appariées	Test de Mc Némar	
	Quantitative	Séries indépendantes	Corrélation point bisériale :		<ul style="list-style-type: none"> - Normalité, linéarité, indépendance et comparabilité des variances : Corrélation de Pearson et régression linéaire - Sinon, rho de Spearman
			<ul style="list-style-type: none"> - La variable qualitative binaire ne doit pas être une variable quantitative dichotomisée - Pas d'outlier pour chacune des 2 distributions (faire un boxplot) - Normalité et comparabilité des variances pour chacune des 2 distributions. 		

Figure 1 : Création d'un tableau de données sur *Jasp*

Figure 1 : Perform a data frame for *Jasp*

Observations	Variable 1
Observation 1	
Observation 2	
Observation 3	

Les données doivent être reportées sur un fichier Excel comme ci-dessus

- Chaque observation (ou sujet) est portée en ligne.
- Chaque variable (quelle que soit sa nature) est portée en colonne.

L'ensemble est enregistré sous format csv dans Excel.

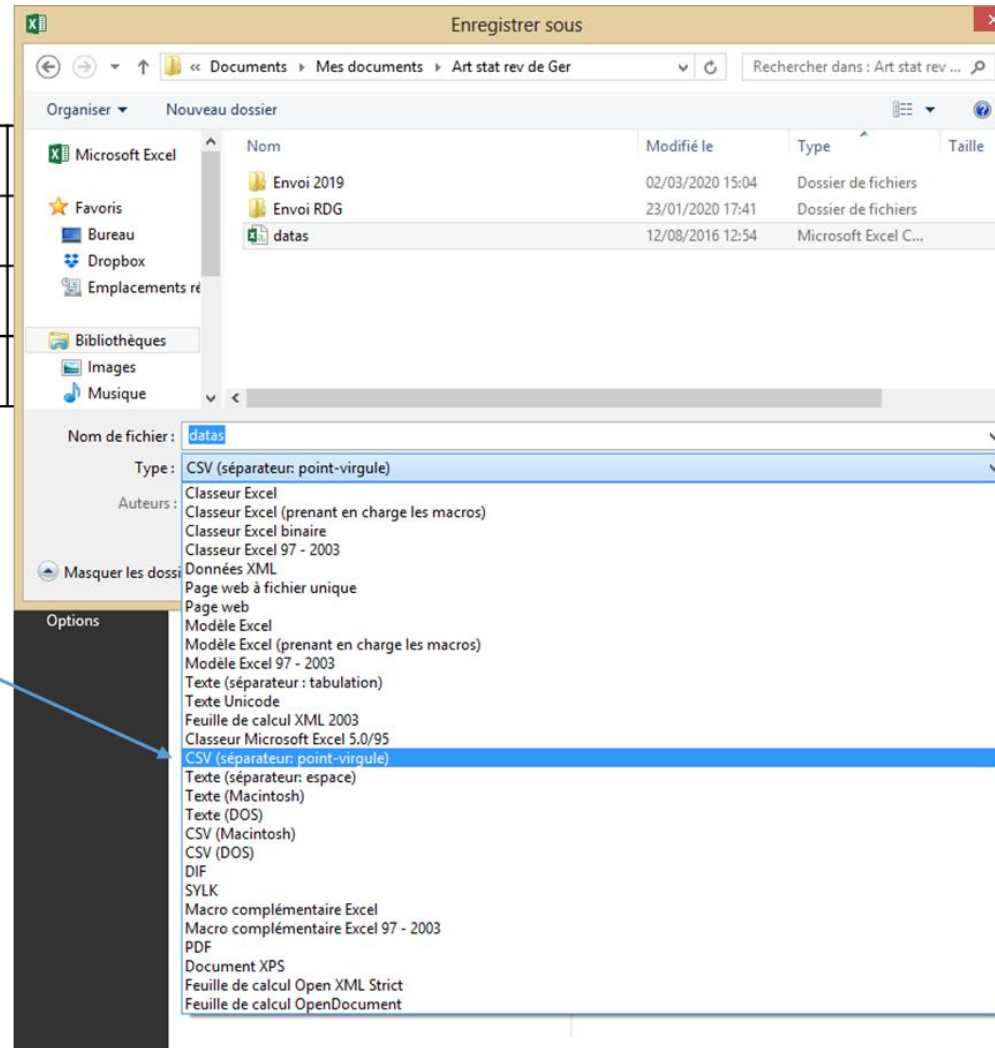


Figure 2 : Importation des données sur *Jasp 0.12.1.0*

Figure 2 : Importing datas with *Jasp 0.12.1.0* : après la page d'accueil, cliquez sur les 3 traits... et on arrive à cet écran

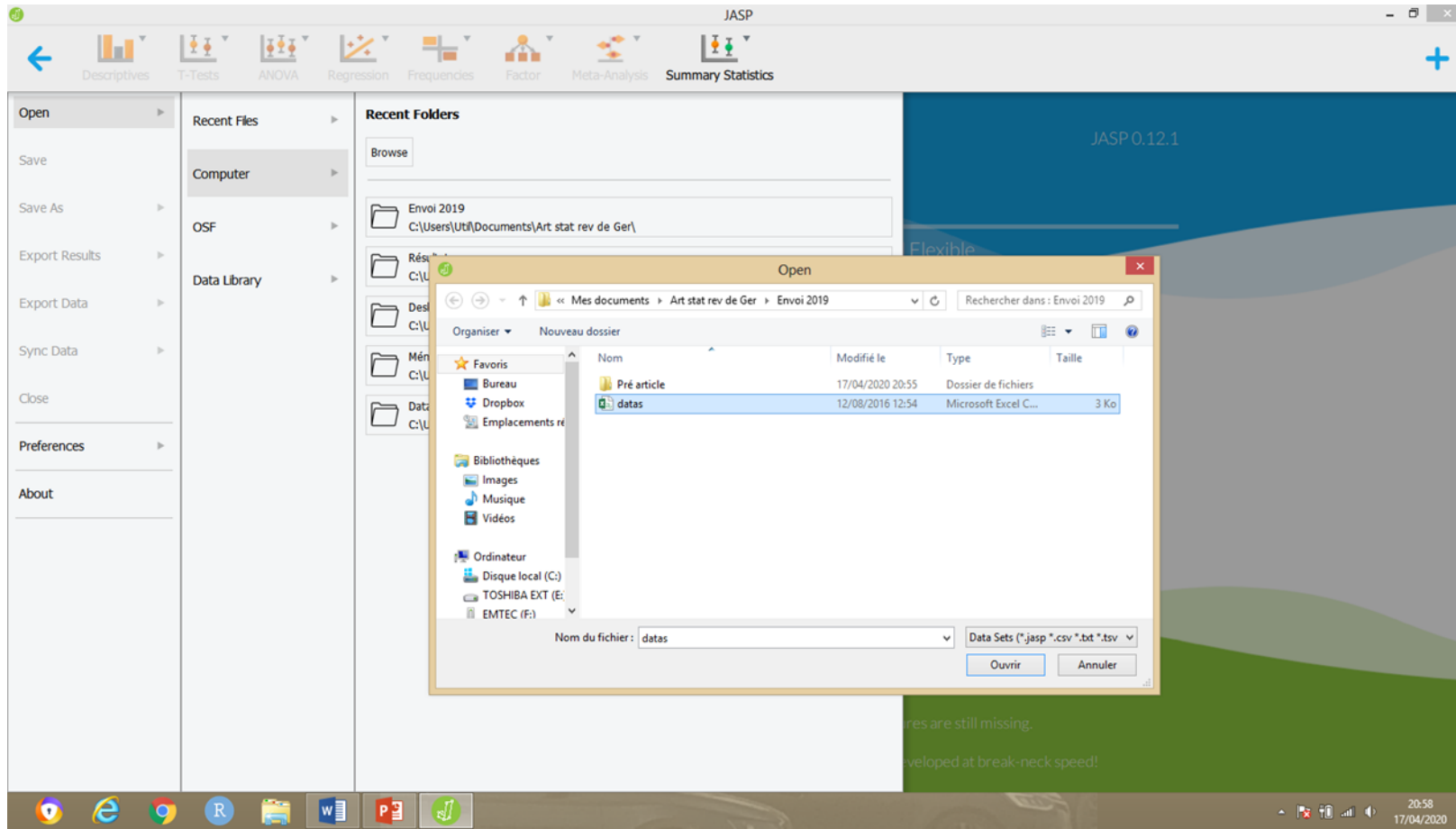
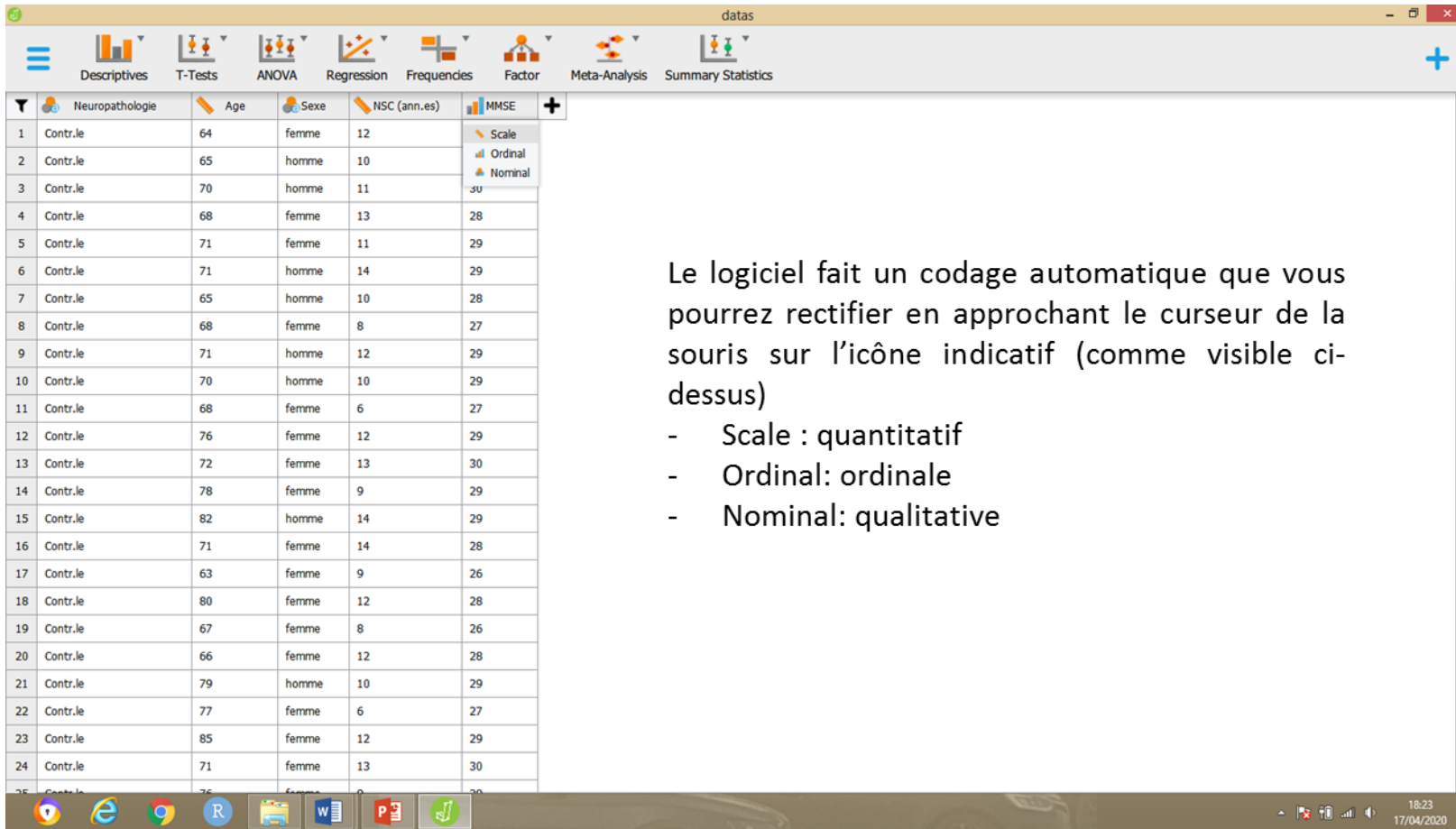


Figure 3 : Affichage des données sur *Jasp 0.12.1.0*

Figure 3 : Display datas with *Jasp 0.12.1.0*

	Neuropathologie	Age	Sexe	NSC (ann.es)	MMSE
1	Contr.le	64	femme	12	29
2	Contr.le	65	homme	10	28
3	Contr.le	70	homme	11	30
4	Contr.le	68	femme	13	28
5	Contr.le	71	femme	11	29
6	Contr.le	71	homme	14	29
7	Contr.le	65	homme	10	28
8	Contr.le	68	femme	8	27
9	Contr.le	71	homme	12	29
10	Contr.le	70	homme	10	29
11	Contr.le	68	femme	6	27
12	Contr.le	76	femme	12	29
13	Contr.le	72	femme	13	30
14	Contr.le	78	femme	9	29
15	Contr.le	82	homme	14	29
16	Contr.le	71	femme	14	28
17	Contr.le	63	femme	9	26
18	Contr.le	80	femme	12	28
19	Contr.le	67	femme	8	26
20	Contr.le	66	femme	12	28
21	Contr.le	79	homme	10	29
22	Contr.le	77	femme	6	27
23	Contr.le	85	femme	12	29
24	Contr.le	71	femme	13	30
25	Contr.le	76	femme	9	29

Figure 4 : Définition de la nature des variables sur *Jasp 0.12.1.0*Figure 4 : Precise nature of variables with *Jasp 0.12.1.0*


The screenshot shows the JASP software interface with a data table. The table has the following columns: Neuropathologie, Age, Sexe, NSC (ann.es), and MMSE. The MMSE column is highlighted, and a dropdown menu is open, showing the options: Scale, Ordinal, and Nominal. The data rows are numbered 1 to 25.

	Neuropathologie	Age	Sexe	NSC (ann.es)	MMSE
1	Contr.le	64	femme	12	28
2	Contr.le	65	homme	10	28
3	Contr.le	70	homme	11	29
4	Contr.le	68	femme	13	29
5	Contr.le	71	femme	11	28
6	Contr.le	71	homme	14	27
7	Contr.le	65	homme	10	29
8	Contr.le	68	femme	8	29
9	Contr.le	71	homme	12	27
10	Contr.le	70	homme	10	30
11	Contr.le	68	femme	6	29
12	Contr.le	76	femme	12	29
13	Contr.le	72	femme	13	29
14	Contr.le	78	femme	9	28
15	Contr.le	82	homme	14	26
16	Contr.le	71	femme	14	28
17	Contr.le	63	femme	9	28
18	Contr.le	80	femme	12	26
19	Contr.le	67	femme	8	28
20	Contr.le	66	femme	12	29
21	Contr.le	79	homme	10	27
22	Contr.le	77	femme	6	29
23	Contr.le	85	femme	12	30
24	Contr.le	71	femme	13	28
25	Contr.le	75	femme	10	28

Le logiciel fait un codage automatique que vous pourrez rectifier en approchant le curseur de la souris sur l'icône indicatif (comme visible ci-dessus)

- Scale : quantitatif
- Ordinal: ordinale
- Nominal: qualitative

Figure 5 : Statistiques descriptives sur *Jasp 0.12.1.0*

Figure 5 : Descriptive statistics with *Jasp 0.12.1.0*

The screenshot displays the JASP software interface for running descriptive statistics. The 'Descriptives' menu is highlighted in red. The 'Descriptive Statistics' configuration panel shows the following settings:

- Variables:** Age
- Split:** Neuropathologie
- Statistics:** Percentiles: 20 (highlighted in red)

The 'Results' panel displays the following 'Descriptive Statistics' table:

	Age		
	Alzheimer	Contr.le	Trouble cognitif léger
Valid	31	31	31
Missing	0	0	0
Mean	79.645	71.419	77.129
Std. Deviation	4.680	5.691	5.932
Minimum	71.000	63.000	61.000
Maximum	90.000	85.000	83.000
20th percentile	75.000	66.000	76.000

Figure 6 : Statistiques descriptives sur Jasp 0.12.1.0 (Box plots)

Figure 6 : Descriptive statistics with Jasp 0.12.1.0 (Box plots)

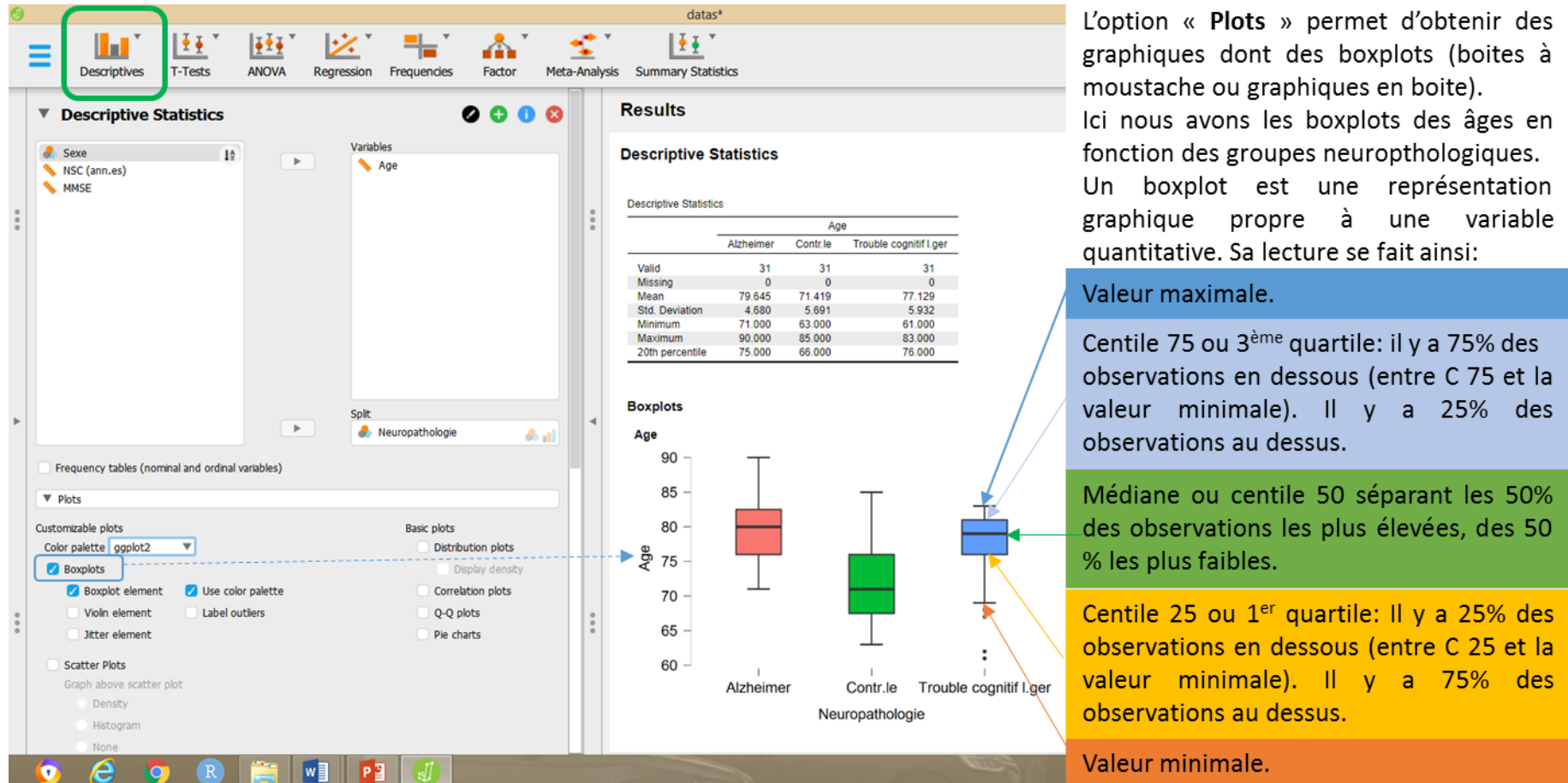


Figure 7 : T-test sur Jasp 0.12.1.0

Figure 7 : T-test with Jasp 0.12.1.0

The screenshot displays the JASP 0.12.1.0 interface for an Independent Samples T-Test. The toolbar at the top has 'T-Tests' highlighted with a red box. The configuration panel on the left shows the following settings:

- Tests:** Student, Welch, Mann-Whitney
- Alt. Hypothesis:** Group 1 ≠ Group 2, Group 1 > Group 2, Group 1 < Group 2
- Assumption Checks:** Normality, Equality of variances
- Additional Statistics:** Location parameter, Effect Size (Cohen's d, Glass' delta, Hedges' g), Descriptives, Descriptives plots, Vovk-Selke maximum p-ratio
- Missing Values:** Exclude cases per dependent variable, Exclude cases listwise

The results panel on the right shows the following data:

Independent Samples T-Test

	t	df	p
NSC (ann.es)	-1.865	91	0.065

Note: Student's t-test.

Assumption Checks

Test of Equality of Variances (Levene's)

	F	df	p
NSC (ann.es)	1.630e-4	1	0.990

Descriptives

Group Descriptives

Group	N	Mean	SD	SE
NSC (ann.es) femme	54	9.333	2.418	0.329
NSC (ann.es) homme	39	10.333	2.727	0.437

Figure 8 : ANOVA sur Jasp 0.12.1.0

Figure 8 : ANOVA with Jasp 0.12.1.0

The screenshot displays the JASP software interface for an ANOVA analysis. The 'ANOVA' menu item is highlighted with a red box. The configuration panel on the left shows 'MMSE' as the dependent variable and 'Neuropathologie' as the fixed factor. Under 'Assumption Checks', the 'Homogeneity tests' checkbox is checked and highlighted with a blue box. The main output panel on the right shows the ANOVA table, Assumption Checks table, Kruskal-Wallis Test table, and Post Hoc Tests table. The 'Dunn's Post Hoc Comparisons' table is also highlighted with a red box.

ANOVA - MMSE

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Neuropathologie	240.151	2	120.075	29.800	< .001
Residuals	362.645	90	4.029		

Note: Type III Sum of Squares

Assumption Checks

Test for Equality of Variances (Levene's)

F	df1	df2	p
15.069	2.000	90.000	< .001

Kruskal-Wallis Test

Factor	Statistic	df	p
Neuropathologie	34.964	2	< .001

Post Hoc Tests

Dunn

Dunn's Post Hoc Comparisons - Neuropathologie

Comparison	z	W _i	W _j	p	P _{conf}	P _{holm}
Alzheimer - Contr.le	-5.873	28.435	68.258	< .001	< .001	< .001
Alzheimer - Trouble cognitif I.ger	-2.341	28.435	44.306	0.010	0.029	0.010
Contr.le - Trouble cognitif I.ger	3.532	68.258	44.306	< .001	< .001	< .001

Figure 9 : Chi-Deux sur *Jasp 0.12.1.0*

Figure 9 : Chi Squared with *Jasp 0.12.1.0*

The screenshot displays the JASP 0.12.1.0 interface for a Chi-Squared test. The 'Frequencies' menu item is highlighted in red. In the 'Contingency Tables' setup pane, 'Sexe' is assigned to Rows and 'Neuropathologie' to Columns. Under 'Statistics', 'Chi-squared' and 'Chi-squared continuity correction' are checked and highlighted with a red box. A dashed red arrow points from this box to the 'Chi-Squared Tests' table in the results pane. The 'Expected' cell option is also checked in the 'Cells' section.

Contingency Tables Results:

Sexe	Neuropathologie			Total	
	Alzheimer	Contr.le	Trouble cognitif léger		
femme	Count	16.000	22.000	16.000	54.000
	Expected count	18.000	18.000	18.000	54.000
homme	Count	15.000	9.000	15.000	39.000
	Expected count	13.000	13.000	13.000	39.000
Total	Count	31.000	31.000	31.000	93.000
	Expected count	31.000	31.000	31.000	93.000

Chi-Squared Tests Results:

	Value	df	p
X ²	3.179	2	0.204
X ² continuity correction	3.179	2	0.204
N	93		

Figure 10 : Comparaison des variances en vue d'une corrélation paramétrique sur *Jasp 0.12.1.0*

Figure 10 : Comparison of variances in order to perform a parametric correlation with *Jasp 0.12.1.0*

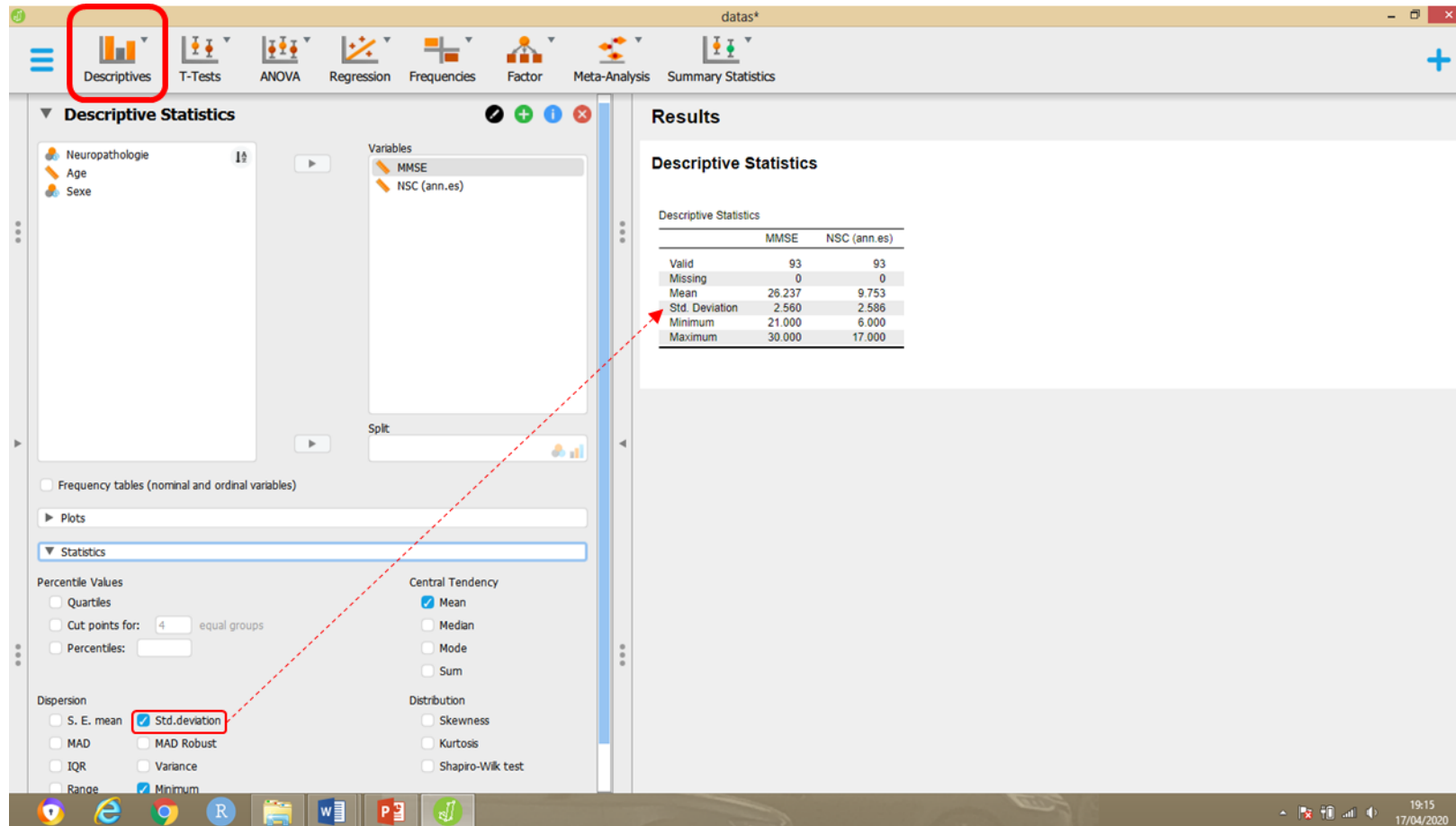


Figure 11 : Corrélation paramétrique et test de normalité de Shapiro-Wilk sur *Jasp 0.12.1.0*Figure 11 : Parametric correlation and normality test of Shapiro-Wilk with *Jasp 0.12.1.0*

The screenshot shows the JASP software interface. The 'Regression' menu is highlighted with a red box. The 'Correlation' panel on the left shows the 'Sample Correlation Coefficient' set to 'Pearson's r' and 'Report significance' checked. The 'Results' panel on the right displays the 'Correlation' results and 'Assumption checks'.

Correlation Results:

Variable	NSC (ann.es)	MMSE
1. NSC (ann.es)	Pearson's r p-value	— —
2. MMSE	Pearson's r p-value	0.383 < .001

Assumption checks:

Shapiro-Wilk Test for Bivariate Normality		Shapiro-Wilk	p
NSC (ann.es)	-	MMSE	0.935 < .001

Ici, la normalité n'est pas respectée car la p-value du test de Shapiro-Wilk est $< 0,05$, mais l'on peut s'affranchir de ce biais puisque l'approximation par la loi normale est possible de par l'effectif ≥ 30