



HAL
open science

Manuels des Analyses Psychométriques - ANOVA à mesures répétées

Fabiana Queiroga

► **To cite this version:**

Fabiana Queiroga. Manuels des Analyses Psychométriques - ANOVA à mesures répétées. LAPCOS. , 2024. hal-04643296v1

HAL Id: hal-04643296

<https://hal.science/hal-04643296v1>

Submitted on 16 Jul 2024 (v1), last revised 9 Oct 2024 (v2)

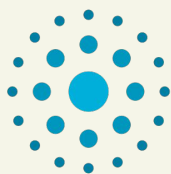
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR



Manuels des Analyses
Psychométriques





Manuels des Analyses
Psychométriques

ANOVA à mesures répétées

Une production du Laboratoire d'Anthropologie et
de Psychologie Clinique, Cognitive et Sociale

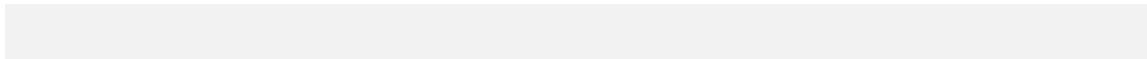
Fabiana Queiroga

Ingénieure d'études



Table des matières

1. PRINCIPAUX CONCEPTS.....	2
1.1 DE QUOI S'AGIT-IL ?.....	2
1.2 QUELLES SONT LES SUPPOSITIONS UTILISEES POUR L'ANALYSE ?	3
1.3 CAS PARTICULIER : ANOVA AVEC CONTRASTES.....	4
2. COMMENT REALISER L'ANALYSE	6
2.1 ANOVA-MR SIMPLE	6
2.2 ANOVA-MR FACTORIELLE.....	8
2.3 ANOVA-MR AVEC CONTRASTES	10
3. COMMENT INTERPRETER LES RESULTATS (OUTPUT)	10
3.1 OUTPUT D'ANOVA-MR SIMPLE	10
3.2 OUTPUT D'ANOVA-MR FACTORIELLE.....	12
3.3 OUTPUT D'ANOVA-MR AVEC CONTRASTS	13
4. COMMENT RAPPORTER LES RESULTATS.....	14
5. REFERENCES	15



1. Principaux concepts

1.1 De quoi s'agit-il ?

L'ANOVA (ANALYSIS OF VARIANCE) s'agit d'une procédure qui permet de comparer la variation des moyennes entre les groupes. Dans le cas de l'ANOVA simple à *mesures répétées* (ANOVA-MR), les groupes à comparer doivent être constitués des *mêmes individus*. Cette condition peut se présenter de deux manières :

A) Individus qui participent à des conditions différentes ;

B) Individus qui participent à la même condition à des moments différents.

A) Mêmes individus, conditions différentes

Participant	Repas français	Repas italien	Repas brésilien
1	5	4	5
2	4	3	5
3	3	3	4
4	1	2	4
5	5	1	2

B) Mêmes individus, mêmes conditions, moments différents

Participant	Repas français 1	Repas français 2	Repas français 3
1	5	4	5
2	4	3	5
3	3	3	4
4	1	2	4
5	5	1	2

Dans le cas de l'ANOVA-MR Factorielle, en plus des conditions décrites, une variable de groupe est prise en compte dans la comparaison, par exemple le sexe du participant, le type d'atelier pratiqué, etc. Il s'agit donc d'une procédure qui implique des comparaisons intra-sujets (within subjects) et inter-sujets (between subjects).

Attention ! Pour utiliser l'ANOVA-MR simple, il est important d'avoir au moins trois mesures (conditions ou moments). S'il n'y a que deux mesures, il est possible d'utiliser une procédure moins complexe qui est *le test-t pour mesures répétées*. Cependant, lorsqu'il n'y a que deux mesures, mais qu'il y a une caractéristique du groupe à ajouter à la comparaison, l'ANOVA-MR **Factorielle** est utilisée.

1.2 Quelles sont les suppositions utilisées pour l'analyse ?

Dans la recherche impliquant des individus, l'indépendance des réponses est presque impossible lorsqu'il s'agit de mesures répétées. Comme les mêmes sujets participent au fil du temps, il y a des effets de mémoire, d'apprentissage, etc. Par conséquent, dans le cas de l'ANOVA-MR, il est important de respecter les hypothèses de **sphéricité** et de **distribution normale des résidus**.

La première hypothèse, la **sphéricité**, est requise lorsque trois situations ou plus sont comparées. Il s'agit de l'homogénéité des variances des différences entre les temps (ou entre les conditions). Dans une situation de trois mesures répétées, on s'attend à ce qu'il y ait une homogénéité des différences entre les temps ($T_2 - T_1$; $T_3 - T_2$; $T_3 - T_1$). Par conséquent, la sphéricité est une supposition de l'homogénéité longitudinale. Il s'agit d'une supposition évaluée à partir du test de Mauchly.

- $p < 0.05$: sphéricité **non supposée** ;

- $p > 0.05$: sphéricité **supposée**.

Astuce! En mesures répétées, il est très fréquent que le test de Mauchly indique une sphéricité non supposée. Dans ce cas, il est important d'appliquer des corrections qui varient en fonction de la valeur trouvée pour le test.

- Correction de Greenhouse-Geiser : sphéricité $< 0,75$;

- Correction de Huynh-Feldt : sphéricité $> 0,75$.

La deuxième hypothèse se réfère à la **normalité des résidus**, c'est-à-dire la partie qui n'a pas été expliquée par le modèle. Pour analyser la distribution des résidus, les résidus de chaque variable doivent être sauvegardés dans la base de données¹.

¹ Cette option est disponible sur SPSS dans le bouton « Save ».

Important ! L'ANOVA-MR est robuste aux violations de l'hypothèse de normalité lorsque l'hypothèse de sphéricité est respectée.

1.3 Cas particulier : ANOVA avec contrastes

L'objectif des contrastes dans l'analyse de la variance est d'effectuer des comparaisons planifiées entre différents groupes. Et pourquoi ne pas utiliser le résultat du test post hoc (qui compare toutes les paires) ? Parce que 1) parfois, toutes les comparaisons entre les groupes ne vous intéressent pas forcément ; 2) plus les comparaisons sont nombreuses, plus le contrôle d'erreur de Type 1 augmente (dans ce cas, on dira que le résultat n'est pas significatif, alors qu'il est) ; 3) parfois vous souhaitez « grouper » certains groupes, c'est-à-dire comparer un groupe par rapport *plusieurs autres* (ce que Post Hoc ne permet pas de faire).

Table 1 Types de contrastes

Type	Caractéristiques	Comparaisons
Simple	Il compare la moyenne de chaque niveau à la moyenne d'un niveau spécifié. Ce type de contraste est utile lorsqu'il existe un groupe de contrôle. Vous pouvez choisir la première ou la dernière catégorie comme référence.	1 vs 2 1 vs 3 1 vs 4
Deviation	Il compare de la moyenne de chaque niveau (sauf la catégorie de référence) avec la moyenne de tous les niveaux (grande moyenne). Les niveaux de facteurs peuvent être placés dans n'importe quel ordre.	1 vs (1, 2, 3, 4) 2 vs (1, 2, 3, 4) 3 vs (1, 2, 3, 4)
Repeated	Il compare la moyenne de chaque niveau (sauf le dernier) à la moyenne du niveau suivant.	1 vs 2 2 vs 3 1 vs 4
Helmert	Il compare la moyenne de chaque niveau de facteur (sauf le dernier) à la moyenne des niveaux suivants.	1 vs (2, 3, 4) 2 vs (3, 4) 3 vs 4
Difference	Il compare la moyenne de chaque niveau de facteur (sauf le premier) à la moyenne des niveaux précédents (Helmert inversé).	4 vs (3, 2, 1) 3 vs (2, 1) 2 vs 1
Polynomial	Il compare l'effet linéaire, l'effet quadratique, l'effet cubique, etc. Le premier degré de liberté contient l'effet linéaire dans toutes les catégories ; le deuxième degré de liberté, l'effet quadratique ; le troisième degré de liberté, l'effet cubique. Ces contrastes sont souvent utilisés pour estimer les tendances polynomiales.	-
Customized	Personnalisé en fonction des hypothèses du chercheur.	-

Dans le cas d'une analyse de contraste personnalisée (Customized), il est important de faire attention à certaines règles d'analyse.

Règle n° 1 : Choisissez des comparaisons judicieuses. Rappelez-vous que vous ne voulez comparer que deux parties de la variation et que si un groupe est distingué dans une comparaison, il doit être exclu de tous les contrastes ultérieurs.

Règle 2 : Les groupes codés avec des poids positifs seront comparés à des groupes codés avec des poids négatifs. Il convient donc d'attribuer des poids positifs à un groupe de variations et des poids négatifs au groupe opposé.

Règle 3 : La somme des poids pour une comparaison doit être égale à zéro. Si vous additionnez les poids pour un contraste donné, le résultat doit être nul.

Règle 4 : Si un groupe n'est pas impliqué dans une comparaison, il faut automatiquement lui attribuer un poids de 0. Si nous attribuons un poids de 0 à un groupe, nous l'éliminons de tous les calculs.

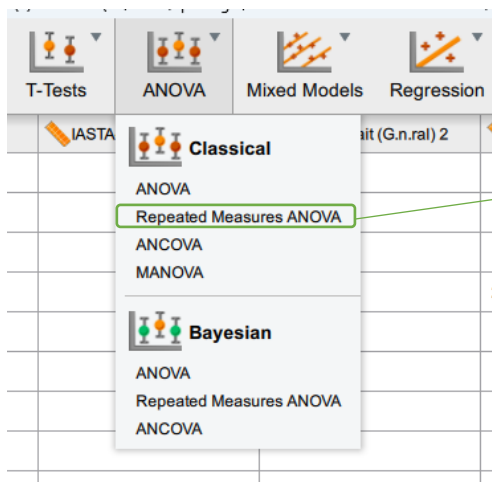
Règle 5 : Pour un contraste donné, les poids attribués au(x) groupe(s) dans un bloc de variation doivent être égaux au nombre de groupes dans le bloc de variation opposé.

2. Comment réaliser l'analyse

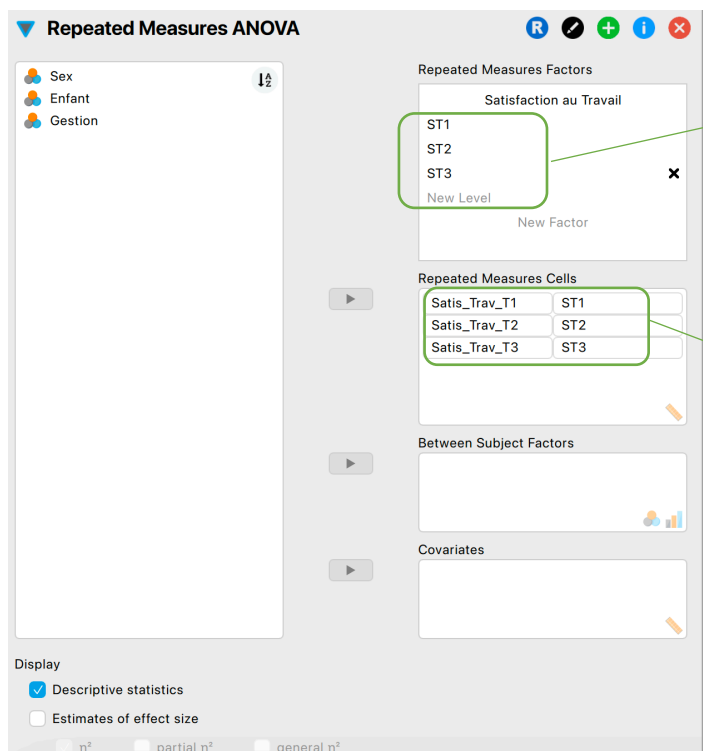
Sur le logiciel Jasp

(Installation sur : <https://jasp-stats.org/download/>)

2.1 ANOVA-MR Simple



Dans le module ANOVA/Classical/ sélectionnez « Repeated Measures ANOVA »



Quand il y a plus que deux mesures, il faut ajouter une variable sur « New Level » dans le champ « Repeated Measures Factors ».

Les mesures à comparer doivent être introduites dans l'ordre respectif (Level 1 = première mesure ; Level 2 = mesure et ainsi de suite dans le champ « Repeated Measures Cells ».

Le mot « Level » peut être remplacé par le nom de la variable pour faciliter la lecture du résultat.

Display

Descriptive statistics

Estimates of effect size

η^2 partial η^2 general η^2

ω^2

Vovk-Sellke maximum p-ratio

▼ Model

Repeated Measures Components

Satisfaction au Travail

Model Terms

Satisfaction au Travail

Between Subjects Components

Model terms

Les statistiques descriptives peuvent être demandées dans les options « Display ».

Astuce : ces tests de taille d'effet ne doivent être demandés que lorsqu'il existe des groupes distincts (ils sont utiles surtout pour le MANOVA).

Pour analyser le modèle d'ANOVA, il faut placer le facteur de comparaison (nommé dans le premier champ où apparaît par défaut RM Factor 1) dans les « Model Terms ».

▼ Assumption Checks

Sphericity tests

Sphericity corrections

None Greenhouse-Geisser Huynh-Feldt

Homogeneity tests

Les tests de sphéricité (lorsqu'il y a plus de trois mesures) et les corrections correspondantes peuvent être demandés dans le champ « Assumption Checks ».

Astuce : l'homogénéité de la variance peut être demandée lorsque (et seulement !) il y des groupes à comparer (ANOVA Factorielle).

▼ Post Hoc Tests

Satisfaction au Tra

Effect size Pool error term for RM factors

Correction

Holm

Bonferroni

Tukey

Scheffé

Display

Confidence intervals 95.0 %

Flag Significant Comparisons

Dans le champ « Post Hoc Tests », le *d de Cohen* peut être demandé (effect size) et les tests de Holm, Bonferroni et Turkey pour vérifier les différences entre les groupes.

▼ Descriptives Plots

Factors

Horizontal Axis

Satisfaction au Travail

Separate Lines

Separate Plots

Display

Display error bars

Confidence interval 95.0 %

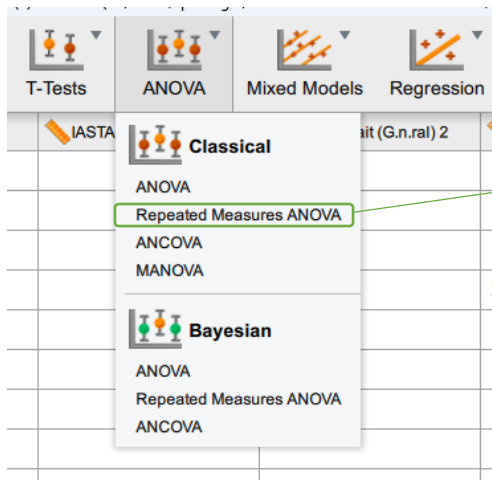
Standard error

Label y-axis

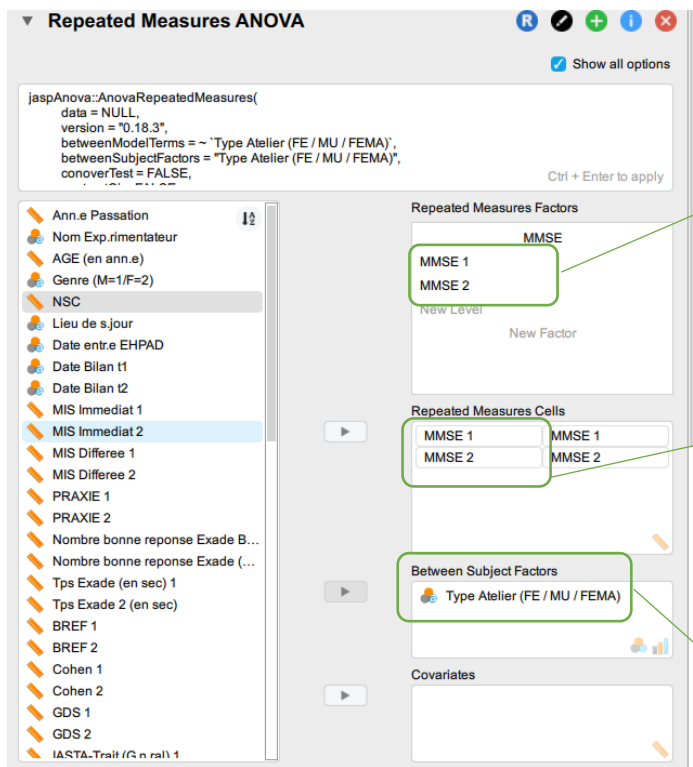
Average across unused RM factors

Dans le champ « Descriptives Plots » il est possible de demander des graphiques comparatifs entre les groupes avec différentes combinaisons.

2.2 ANOVA-MR Factorielle



Dans le module ANOVA/Classical/ sélectionnez « Repeated Measures ANOVA »

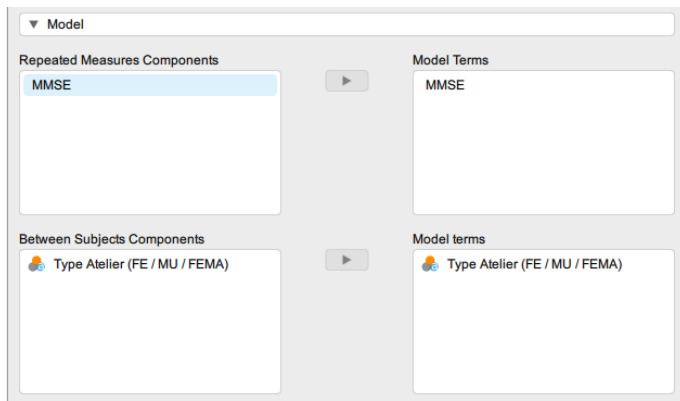


Dans le champ « Repeated Measures Factors », les niveaux 1 et 2 peuvent être remplacés par le nom de la variable dans la base de données pour faciliter la lecture du résultat.

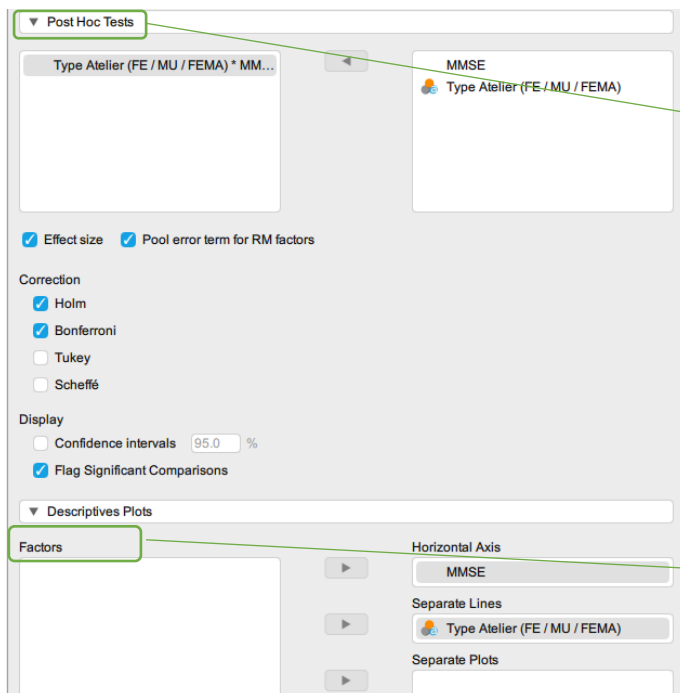
Les mesures à comparer doivent être introduites dans l'ordre respectif (Level 1 = première mesure ; (Level 2 = mesure) et ainsi de suite dans le champ « Repeated Measures Cells ».

La variable de groupe doit être indiquée dans le champ « Between Subject Factors ».

Les directives concernant la case « Display » et « Assumptions Check » sont les mêmes que pour l'ANOVA simple (voir les images à la page 6).



Pour analyser le modèle d'ANOVA, il faut placer le facteur de comparaison (nommé dans le premier champ où apparaît par défaut RM Factor 1) et les caractéristiques du groupe (Between Subjects Components) dans les « Model Terms ».



Dans le champ « Post Hoc Tests », le *d de Cohen* peut être demandé (effect size) et les tests de Holm, Bonferroni et Turkey pour vérifier les différences parmi toutes les combinaisons de groupes (T1 et T2 ; les caractéristiques du groupe et les intersections entre les deux).

Dans le champ « Descriptives Plots » il est possible de demander des graphiques comparatifs entre les groupes avec différentes combinaisons.

2.3 ANOVA-MR avec contrastes

Factors

MMSE

Type Atelier (FE / MU / FEMA)

Type Atelier (FE / MU / FEMA) * MMSE

Custom for Type Atelier (FE / MU / FEMA) * MMSE

	Type Atelier (FE / MU / FEMA)	MMSE	Contrast 1
1	FE	MMSE 1	0
2	FEMA	MMSE 1	0
3	MU	MMSE 1	0
4	FE	MMSE 2	1
5	FEMA	MMSE 2	1
6	MU	MMSE 2	-2

Le type de contraste doit être spécifié. L'option « Custom » vous permet de personnaliser le contraste à tester en fonction de votre hypothèse.

Dans cet exemple, un seul contraste a été saisi (une seule hypothèse testée). Au temps 1 (MMSE 1), aucune différence entre les groupes n'était attendue ; il a donc été exclue du test (zéro). Au temps 2 (MMSE 2), on s'attendait à ce que les groupes FE et FEMA aient une moyenne plus élevée que MU.

3. Comment interpréter les résultats (output)

3.1 Output d'ANOVA-MR Simple

Repeated Measures ANOVA

Within Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Satisfaction au Travail	3784.612	2	1892.306	165.165	< .001
Residuals	12350.721	1078	11.457		

Note. Type III Sum of Squares

Le niveau de signification de F indique s'il existe une différence entre les mesures dans le temps (dans cet exemple, Sat1, Sat2 et Sat3).

Between Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Residuals	61547.812	539	114.189		

Note. Type III Sum of Squares

Rien à interpréter car il n'y a pas séparation par groupes (cela est le cas de la ANOVA Factorielle).

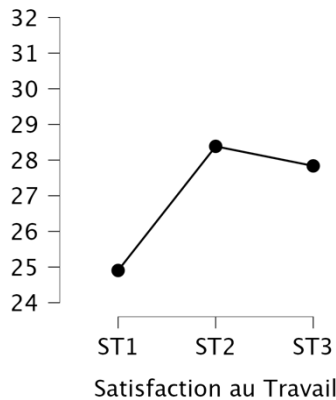
Descriptives

Satisfaction au Travail	N	Mean	SD	SE	Coefficient of variation
ST1	540	24.904	6.656	0.286	0.267
ST2	540	28.385	6.841	0.294	0.241
ST3	540	27.837	6.782	0.292	0.244

Statistiques descriptives en fonction des mesures au fil du temps.

Astuce : le coefficient de variation est une mesure du rapport entre l'écart-type et la moyenne (SD/Mean). Multiplié par 100, il indique le pourcentage de variation des réponses au sein d'un groupe. Il s'agit d'un paramètre plus intuitif pour évaluer la dispersion des réponses.

Descriptives plots



Le graphique montre l'évolution au fil du temps.

Assumption Checks

Test of Sphericity

	Mauchly's W	Approx. χ^2	df	p-value	Greenhouse-Geisser ϵ	Huynh-Feldt ϵ	Lower Bound ϵ
Satisfaction au Travail	0.997	1.571	2	0.456	0.997	1.000	0.500

Niveau de signification du test de sphéricité de Mauchly. Le test devrait être **non** significatif ($p > 0,05$).

Rappel ! Si le test de Mauchly indique une sphéricité *non supposée* (i.e. $p < 0,05$), il faut appliquer des corrections suivantes selon la valeur du test (première colonne) :

- Correction de Greenhouse-Geisser : sphéricité $< 0,75$;
- Correction de Huynh-Feldt : sphéricité $> 0,75$.

Post Hoc Tests

Post Hoc Comparisons - Satisfaction au Travail

	Mean Difference	SE	t	Cohen's d	p_{bonf}	p_{holm}
ST1 ST2	-3.481	0.206	-16.901	-0.515	< .001 ***	< .001 ***
ST1 ST3	-2.933	0.206	-14.240	-0.434	< .001 ***	< .001 ***
ST2 ST3	0.548	0.206	2.661	0.081	0.024 *	0.008 **

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Note. P-value adjusted for comparing a family of 3

Test Post-Hoc : comparaisons intra-sujets (within subjects). Indique si la différence entre les trois mesures au fils du temps (c'est-à-dire, pour les mêmes sujets) est significative.

3.2 Output d'ANOVA-MR Factorielle

Within Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
MMSE	28.686	1	28.686	9.704	0.002
MMSE * Type Atelier (FE / MU / FEMA)	1.724	2	0.862	0.292	0.748
Residuals	263.102	89	2.956		

Note. Type III Sum of Squares

Le niveau de signification de F indique s'il existe une différence entre les mesures dans le temps (dans cet exemple, MMSE1 et MMSE2).

Le niveau de signification de F indique s'il existe une différence entre les mesures dans le temps également séparées par groupe (dans cet exemple, MMSE1*FE ; MMSE2*FE ; MMSE1*MU ; MMSE2*MU ; MMSE1*FEMA ; MMSE2*FEMA).

Between Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Type Atelier (FE / MU / FEMA)	6.338	2	3.169	0.132	0.876
Residuals	2128.988	89	23.921		

Note. Type III Sum of Squares

Le niveau de signification de F indique s'il existe une différence entre les groupes (FE ; MU et FEMA).

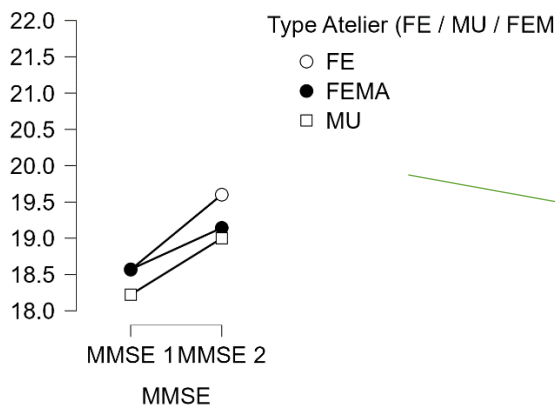
Descriptives

MMSE	Type Atelier (FE / MU / FEMA)	N	Mean	SD	SE	Coefficient of variation
MMSE 1	FE	30	18.567	2.932	0.535	0.158
	FEMA	35	18.571	4.210	0.712	0.227
	MU	27	18.222	2.736	0.527	0.150
MMSE 2	FE	30	19.600	3.125	0.571	0.159
	FEMA	35	19.143	4.679	0.791	0.244
	MU	27	19.000	3.497	0.673	0.184

Statistiques descriptives en fonction des mesures au fil du temps et entre les groupes.

Astuce : le coefficient de variation est une mesure du rapport entre l'écart-type et la moyenne (SD/Mean). Multiplié par 100, il indique le pourcentage de variation des réponses au sein d'un groupe. Il s'agit d'un paramètre plus intuitif pour évaluer la dispersion des réponses.

Descriptives plots



Le graphique montre l'évolution dans le temps selon les groupes comparés.

Assumption Checks

Test for Equality of Variances (Levene's)

	F	df1	df2	p
MMSE 1	4.029	2	89	0.021
MMSE 2	5.996	2	89	0.004

Test d'homogénéité de la variance entre les groupes (dans cet exemple, les groupes son FE, FEMA et MU) selon les temps considérés.

Le test de Levene devrait être **non** significatif ($p > 0,05$).

Post Hoc Tests

Post Hoc Comparisons - MMSE

	Mean Difference	SE	t	Cohen's d	p _{bonf}	p _{holm}
MMSE 1 MMSE 2	-0.794	0.255	-3.115	-0.217	0.002 **	0.002 **

** p < .01

Note. Results are averaged over the levels of: Type Atelier (FE / MU / FEMA)

Test Post-Hoc : comparaisons intra-sujets (within subjects). Indique si la différence entre les temps est significative.

Post Hoc Comparisons - Type Atelier (FE / MU / FEMA)

	Mean Difference	SE	t	Cohen's d	p _{bonf}	p _{holm}
FE FEMA	0.226	0.860	0.263	0.062	1.000	1.000
MU	0.472	0.917	0.515	0.129	1.000	1.000
FEMA MU	0.246	0.886	0.278	0.067	1.000	1.000

Note. P-value adjusted for comparing a family of 3

Note. Results are averaged over the levels of: MMSE

Test Post-Hoc : comparaisons inter-sujets (between subjects). Indique si la différence entre les groupes est significative.

Le **d de Cohen** permet de caractériser la magnitude d'un effet associé dans une population donnée par rapport à une hypothèse nulle. Traditionnellement, un d autour de 0.2 est décrit comme un effet « faible », 0.5 « moyen » et 0.8 comme « fort ».

3.3 Output d'ANOVA-MR avec Contrasts

Contrast Tables ▼

Custom Contrast - Type Atelier (FE / MU / FEMA) ※ MMSE ▼

Comparison	Estimate	SE	df	t	p
1	0.743	1.680	110.667	0.442	0.659

Custom Contrast Coefficients - Type Atelier (FE / MU / FEMA) ※ MMSE

Type Atelier (FE / MU / FEMA)	MMSE	Comparison 1
FE	MMSE 1	0
FEMA		0
MU		0
FE	MMSE 2	1
FEMA		1
MU		-2

Le niveau de signification du test t indique si l'hypothèse testée a été acceptée.

Dans cet exemple, comme la valeur p est supérieure à 0,05, notre hypothèse a été rejetée, c'est-à-dire que la moyenne des groupes FE et FEMA n'est pas plus élevée que MU au post-test (MMSE 2).

4. Comment rapporter les résultats

Une analyse de variance des mesures répétées (ANOVA-MR) a été réalisée pour évaluer les scores de satisfaction professionnelle avant l'intervention (pré-test), après l'intervention (post-test) et six mois après l'intervention (*follow-up*). Le test de sphéricité de Mauchly a confirmé l'hypothèse de sphéricité (W de Mauchly = 0,997 ; $\chi^2(2) = 1,571$, $p = 0,456$). Le résultat global de l'ANOVA-MR a montré qu'il existait des différences statistiquement significatives dans les scores de satisfaction professionnelle au fil du temps ($F(2, 1078) = 165,165$, $p < 0,001$; $\text{partial-}\eta^2 = 0,235$).

Les analyses a posteriori (Bonferroni post-hoc) ont montré une augmentation significative des niveaux de satisfaction professionnelle dans le post-test ($M = 28,38$; $ET = 6,84$) par rapport au pré-test ($M = 24,90$; $ET = 6,66$; $p < 0,001$; $\text{Cohen's } d = 0,71$). En outre, les résultats ont montré que les scores du *follow-up* ($M = 27,84$; $SD = 6,78$) étaient plus élevés que les résultats du pré-test ($p < 0,001$; d de Cohen = 0,62). Une réduction statistiquement significative des scores de suivi a été observée par rapport aux scores

du post-test ($p < 0,05$; d de Cohen = 0,11), ce qui indique une tendance possible à la perte de l'effet au fil du temps. La Figure 1 présente les résultats mentionnés.

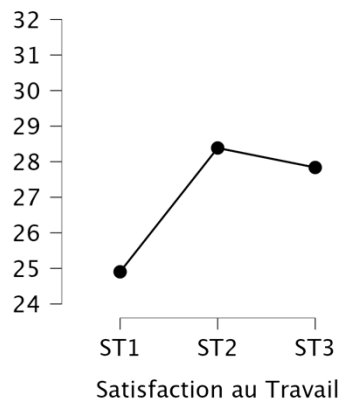


Figure 1

Évolution des scores de satisfaction professionnelle au cours du pré-test, du post-test et du post-test (*follow-up*)

5. Références

Blanca, M. J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R., & Bendayan, R. (2017). Non-normal data:

Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*, 29(4), 552–557.

<https://doi.org/10.7334/psicothema2016.383>

Plateforme de Formation en Psychométrie – Psicometria Online Academy -

<https://psicometriaonline.com.br/>

Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. sage.