



**THÉORIE DE L'ESPRIT**  
**DANS LE TROUBLE BIPOLAIRE**  
**PROJET ÉCONOMÉTRIE DES MODÈLES LINÉAIRES**

**Master TIDE 2023-2024**

**Elodie HUTIN - Hugo LEMONNIER - Camille LOEGEL-ORTS**

# Table des matières

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduction</b>                           | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Analyse exploratoire</b>                   | <b>2</b>  |
| 2.1      | Présentation de nos données . . . . .         | 2         |
| 2.2      | Analyse des Variables Catégorielles . . . . . | 3         |
| 2.3      | Analyse des Variables Numériques . . . . .    | 3         |
| <b>3</b> | <b>Choix Méthodologiques</b>                  | <b>6</b>  |
| <b>4</b> | <b>Analyse de la variance</b>                 | <b>7</b>  |
| 4.1      | Anova . . . . .                               | 8         |
| 4.2      | Anova de Welch . . . . .                      | 9         |
| 4.3      | Test de Kruskal-Wallis . . . . .              | 10        |
| <b>5</b> | <b>Analyse de covariance</b>                  | <b>10</b> |
| 5.1      | Ancova . . . . .                              | 10        |
| 5.2      | Anova à 2 facteurs . . . . .                  | 11        |
| <b>6</b> | <b>Manova</b>                                 | <b>13</b> |
| <b>7</b> | <b>Conclusion</b>                             | <b>16</b> |

# 1 Introduction

La bipolarité, une condition psychiatrique marquée par des fluctuations extrêmes d'humeur, alterne entre des phases de dépression profonde et des moments d'euphorie intense ou de manie. Malgré sa complexité, ce trouble peut être efficacement géré à travers une approche intégrée impliquant des traitements médicamenteux, des thérapies psychologiques et des ajustements dans le style de vie permettant ainsi à une personne bipolaire d'atteindre une rémission. Cette dernière se traduit par une période où les symptômes sont en grande partie absents ou contrôlés, permettant une stabilité émotionnelle temporaire. Cependant, la bipolarité est souvent un trouble chronique, nécessitant une gestion continue pour maintenir la stabilité à long terme.

Cette recherche se penche sur la précision interpersonnelle des individus souffrant de trouble bipolaire en phase de rémission, avec un intérêt particulier pour leur aptitude à interpréter correctement les signaux non verbaux d'autrui. Cet aspect, essentiel à la cognition sociale, est connu sous le nom de Théorie de l'Esprit. Il s'agit de la capacité à comprendre et à réagir aux pensées, sentiments et intentions d'autrui à travers leurs expressions faciales, gestes et intonations, éléments fondamentaux pour naviguer dans les interactions sociales.

Pour évaluer cette compétence, le test "Profile of Nonverbal Sensitivity" (PONS), ou Profil de Sensibilité Non Verbale, a été conçu. Ce test mesure la capacité à décrypter une gamme de signaux non verbaux dans divers contextes sociaux. Le PONS se compose d'une série de séquences vidéo en noir et blanc, d'une durée totale de 47 minutes, où 220 scènes distinctes sont interprétées par une actrice, chacune illustrant différents canaux de communication non verbale. Les participants doivent alors choisir l'option qui décrit le mieux chaque scène, et leur performance est évaluée en fonction du nombre de réponses correctes, fournissant un indicateur de leur sensibilité non verbale.

Afin de simplifier l'expérience et de minimiser la charge cognitive, une version réduite et multicanal du PONS, nommée MiniPONS, a été développée. Cette version abrégée conserve l'essentiel des canaux de communication du test original. Notre étude se focalise sur le MiniPONS pour analyser les données recueillies auprès de 277 participants, comprenant des individus diagnostiqués avec un trouble bipolaire de type I et II, une dépression unipolaire, ainsi qu'un groupe témoin. L'objectif est d'examiner si ces groupes diffèrent significativement dans leur capacité à reconnaître les signaux non verbaux à travers le MiniPONS, abordant ainsi la question cruciale :

*Le fait de souffrir de trouble bipolaire ou de dépression unipolaire impacte-t-il la capacité des individus à interpréter les intentions de leurs interlocuteurs ?*

## 2 Analyse exploratoire

### 2.1 Présentation de nos données

Le jeu de données issu du test MiniPONS comprend 277 observations, réparties en 12 variables, dont 2 sont catégorielles et 10 numériques. Bien que nous ayons identifié 7 observations dupliquées, aucune valeur manquante n'a été détectée. Pour faciliter la compréhension de notre jeu de données et l'interprétation des résultats, une description détaillée des variables est présentée ci-dessous :

- **Groupe** : Classifie les participants selon leur diagnostic, distinguant entre trouble bipolaire, dépression unipolaire, et groupe témoin.
- **Type** : Précise le sous-type de trouble bipolaire (I ou II), indique une dépression unipolaire ou l'appartenance au groupe témoin.
- **Âge** : L'âge des participants, offrant une perspective démographique sur l'échantillon.
- **Réponses correctes** : Le nombre de réponses correctes fournies par les participants au test MiniPONS, reflétant leur compétence globale.
- **Canaux de communication non verbale (Audio prosodie, Canal combiné, Visage vidéo, Corps vidéo)** : Les scores attribués à chaque canal évalué, mesurant la capacité à reconnaître des signaux non verbaux spécifiques.
- **Valence positive/négative** : Mesures de l'interprétation des émotions positives ou négatives par les participants.
- **Dominant/Soumis** : Évaluations de la perception de dominance ou de soumission à travers les comportements non verbaux observés.

Pour affiner notre compréhension des spécificités inhérentes à notre jeu de données, nous avons procédé à l'élaboration de statistiques descriptives pour l'ensemble de nos variables numériques. Cette démarche est essentielle pour obtenir un aperçu initial des principales caractéristiques de nos données, permettant ainsi d'appréhender avec précision la tendance centrale, la variabilité ainsi que d'autres attributs cruciaux.

|      | Age    | Right_answers | Audio_prosody | Combined_channel | Face_video |
|------|--------|---------------|---------------|------------------|------------|
| mean | 48.718 | 47.079        | 11.426        | 12.339           | 11.794     |
| std  | 12.453 | 5.232         | 2.123         | 1.932            | 1.693      |
| min  | 21.000 | 28.000        | 3.000         | 6.000            | 8.000      |
| max  | 78.000 | 58.000        | 16.000        | 16.000           | 15.000     |

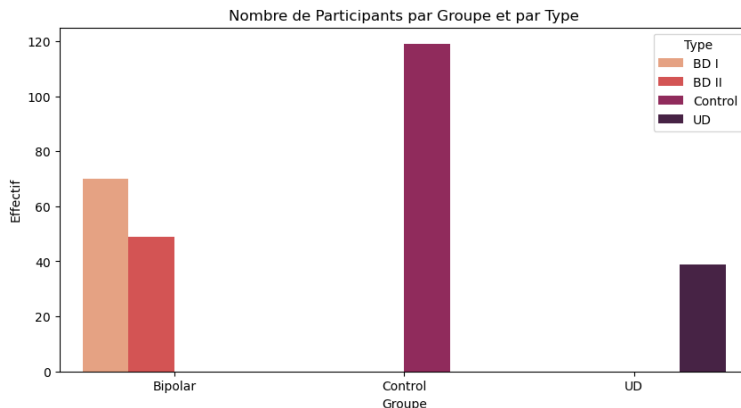
  

|      | Body_video | Positive_valence | Negative_valence | Dominant | Submissive |
|------|------------|------------------|------------------|----------|------------|
| mean | 11.520     | 23.556           | 23.523           | 23.455   | 23.625     |
| std  | 1.912      | 3.216            | 3.133            | 3.126    | 3.033      |
| min  | 5.000      | 13.000           | 10.000           | 12.000   | 13.000     |
| max  | 16.000     | 30.000           | 30.000           | 31.000   | 30.000     |

L'analyse révèle que l'âge moyen des participants se situe à 49 ans, fluctuant entre un minimum de 21 ans et un maximum de 78 ans. La moyenne des réponses correctes atteint 47, tandis que le score moyen attribué à chaque canal de communication non verbale avoisine les 12. Par ailleurs, les scores moyens relatifs à la perception des émotions, qu'elles soient positives ou négatives, ainsi qu'à l'interprétation des comportements non verbaux, s'établissent autour de 23.

## 2.2 Analyse des Variables Catégorielles

Pour analyser les variables qualitatives, nous avons recours à des représentations graphiques afin d'illustrer la distribution des participants à travers les différentes catégories des variables *Groupe* et *Type*.



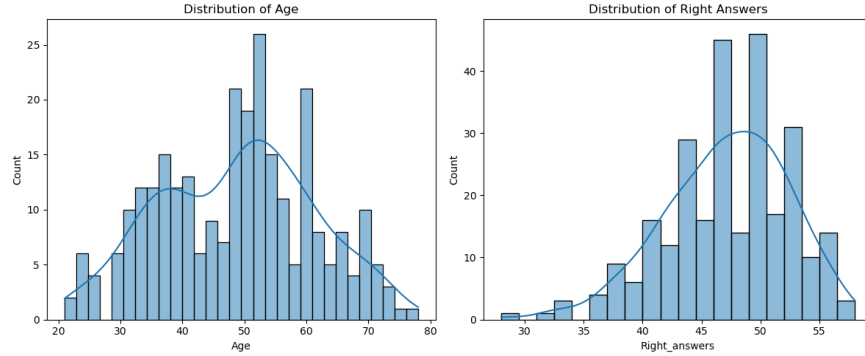
La variable *Groupe* se divise en trois catégories : *Bipolaire* pour les participants diagnostiqués avec ce trouble, *Contrôle* pour ceux appartenant au groupe témoin, servant de comparaison, et *UD* pour les cas de dépression unipolaire, caractérisée par la présence exclusive d'épisodes dépressifs, sans les épisodes maniaques observés dans la bipolarité. Quant à la variable *Type*, elle comprend quatre catégories : *Contrôle*, *UD*, *BD I* et *BD II*, distinguant ainsi les participants en fonction de leur condition spécifique. Les catégories *BD I* et *BD II* réfèrent respectivement à la bipolarité associant des épisodes maniaques marqués et souvent sévères, et celle définie par des épisodes dépressifs majeurs accompagnés d'épisodes hypomaniaques moins intenses on met respectivement donc type 1 puis type 2.

La représentation graphique illustre la distribution des participants parmi les différents groupes :

- Le groupe *Bipolaire* se distingue par son effectif supérieur, signalant ainsi que la majorité des participants à cette recherche sont des individus diagnostiqués avec un trouble bipolaire.
- Le groupe *Contrôle* est aussi significativement représenté, offrant ainsi un solide point de comparaison pour évaluer les résultats des participants bipolaires par rapport à un échantillon représentatif de la population générale.
- Le groupe *UD* étant le moins nombreux, pourrait restreindre les possibilités de comparaison directe avec les autres groupes du fait de sa taille réduite. Cette situation pourrait influencer la robustesse statistique des conclusions tirées de l'analyse.

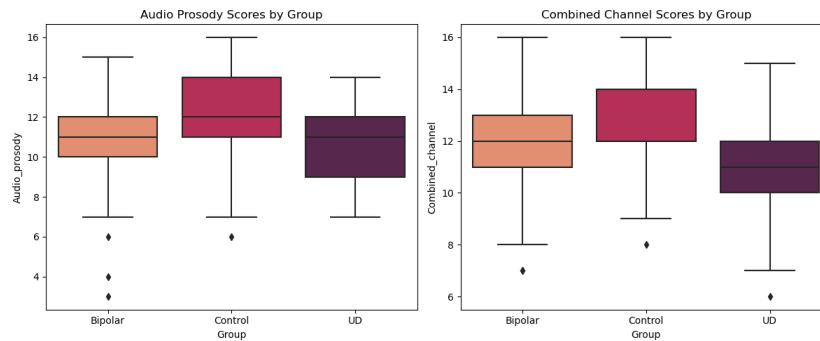
## 2.3 Analyse des Variables Numériques

Nous allons désormais explorer plusieurs représentations graphiques pour approfondir notre compréhension des variables numériques de notre jeu de données. Pour commencer, les deux graphiques ci-dessous montrent la distribution des âges et des réponses correctes parmi les participants de l'étude.



- **Distribution de l'Âge** : Le graphique de gauche montre une distribution assez équilibrée avec une légère asymétrie positive. Cela suggère que la majorité des participants se situent dans une fourchette d'âge moyenne avec quelques participants plus âgés. Il semble y avoir un pic autour de la cinquantaine.
- **Distribution des Réponses Correctes** : Le graphique de droite montre un pic marqué entre 40 et 50 réponses correctes, ce qui suggère que la majorité des participants ont obtenu des scores dans cette gamme. Cependant, la distribution semble présenter une asymétrie négative, suggérant une tendance vers un nombre élevé de réponses correctes, mais avec des scores plus bas, ce qui étire la distribution vers la gauche.

Nous approfondissons notre analyse des capacités cognitives sociales des participants en fonction de leur âge, en explorant si ce dernier influence leur aptitude à répondre correctement aux questions liées à la théorie de l'esprit.



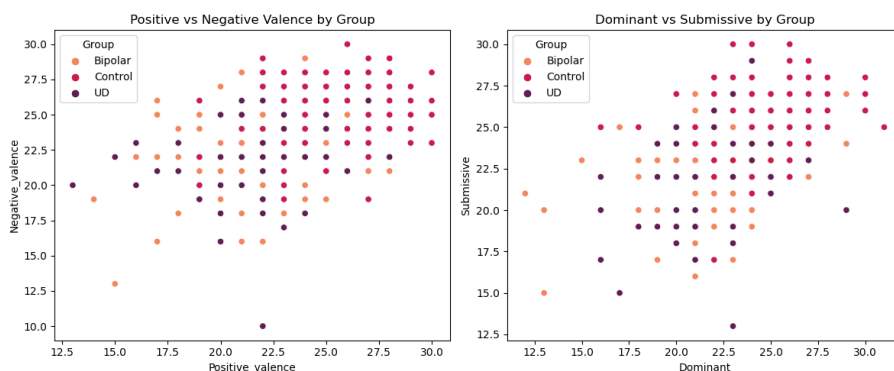
Les visualisations fournies par les boîtes à moustaches illustrent la distribution des scores d'Audio Prosodie et de Canal Combiné pour les trois groupes : Bipolaire, Contrôle, et UD. **Scores d'Audio Prosodie par Groupe :**

- Le groupe *Bipolaire* se caractérise par une médiane plus basse et des valeurs aberrantes inférieures, soulignant une variabilité marquée dans l'interprétation des prosodies audio au sein de ce groupe.
- Le groupe *Contrôle* affiche une médiane supérieure à celle du groupe bipolaire et une distribution des scores moins resserrée.
- Le groupe *UD* présente une médiane proche de celle du groupe bipolaire mais avec une gamme de scores plus large, reflétant une dispersion accrue des résultats.

### Scores de Canal Combiné par Groupe :

- Le groupe *Bipolaire* montre une médiane intermédiaire.
- Le groupe *Contrôle* se distingue par la médiane la plus élevée, suggérant de meilleures performances moyennes sur les tâches impliquant plusieurs canaux de communication.
- Le groupe *UD* révèle une médiane inférieure aux autres groupes.

Ces observations suggèrent que les participants du groupe Contrôle tendent à mieux performer sur les tâches liées à la théorie de l'esprit que ceux des groupes Bipolaire et UD, bien que les différences ne soient pas drastiques et qu'un chevauchement significatif entre les groupes existe. Les valeurs aberrantes observées dans le groupe Bipolaire indiquent la présence de défis particuliers pour certains individus face à ces tâches.



Les nuages de points mettent en lumière les scores de valence positive par rapport à la valence négative, ainsi que ceux de dominance par rapport à la soumission, pour chaque groupe de participants.

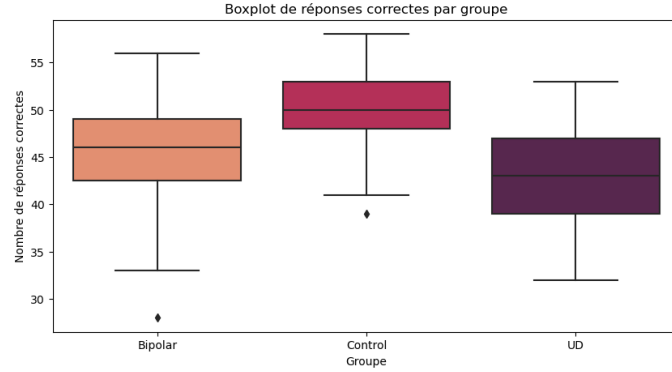
### Valence Positive vs Valence Négative par Groupe :

- Les points illustrent les scores individuels, avec une dispersion notable dans tous les groupes, ce qui démontre une diversité dans la perception des valences positives et négatives.
- Une concentration plus prononcée des points dans le groupe Contrôle dans la partie supérieure droite suggère une acuité supérieure pour ces émotions.
- Une tendance est observée où les scores de valence positive sont souvent couplés à des scores de valence négative similaires, impliquant une perception intense et cohérente des émotions.

### Dominant vs Soumis par Groupe :

- La variabilité des points indique des différences dans la perception de la dominance et de la soumission, avec une prédominance des scores élevés pour le groupe Contrôle.
- Une corrélation linéaire entre la perception de dominance et de soumission suggère une sensibilité parallèle à ces deux dimensions.

Bien qu'il n'y ait pas de distinctions nettes entre les groupes Bipolaire et UD en termes de dispersion ou de positionnement des points, une légère supériorité est notée pour le groupe Contrôle. Toutefois, sans analyses statistiques plus poussées, il est prématuré de conclure fermement sur les différences entre les groupes. Pour continuer l'analyse, concentrons nous sur notre variable clef *réponses correctes* au test MiniPONS pour analyser les différences entre les groupes.



- Le *groupe Bipolaire* affiche une large gamme de réponses correctes, soulignant des difficultés notables pour certains participants.
- Le *groupe Contrôle* montre une distribution plus concentrée et une médiane plus élevée, indiquant une performance généralement plus uniforme et supérieure.
- Le *groupe UD* présente une distribution légèrement supérieure au groupe Bipolaire mais avec une médiane inférieure, reflétant une tendance à de moindres performances.

#### Statistiques clefs de notre variable d'intérêt par groupe de participants

| Groupe    | Count | Min | Max | Moyenne (Mean) | Écart-type (Std Dev) |
|-----------|-------|-----|-----|----------------|----------------------|
| Bipolaire | 119   | 28  | 56  | 45.353         | 4.795                |
| Contrôle  | 119   | 39  | 58  | 50.235         | 3.705                |
| UD        | 39    | 32  | 53  | 42.718         | 4.973                |

En résumé, ces observations pourraient indiquer des différences dans les capacités cognitives ou de théorie de l'esprit entre les groupes, avec des implications pour le traitement et le support des individus avec des troubles bipolaires ou de dépression unipolaire.

### 3 Choix Méthodologiques

Dans le cadre de cette étude portant sur les participants présentant un trouble bipolaire, une dépression unipolaire, ainsi qu'un groupe témoin, nous cherchons à déterminer s'il existe des différences significatives entre ces groupes en ce qui concerne les résultats du test MiniPONS. Les analyses ANOVA, ANCOVA et MANOVA sont envisagées pour plusieurs raisons :

1. **Comparaison des groupes (ANOVA)** : Nous disposons de données issues de trois groupes distincts et souhaitons comparer leurs performances, telles que le nombre de réponses correctes. L'ANOVA constitue une méthode appropriée pour déterminer s'il existe des différences statistiquement significatives entre les moyennes de plus de deux groupes.
2. **Contrôle des variables confondantes (ANCOVA)** : Si nous suspectons qu'une ou plusieurs variables (telles que l'âge) pourraient influencer la variable dépendante (le nombre de réponses correctes), l'ANCOVA nous permet d'ajuster l'effet de ces covariables. Cela aidera à isoler l'effet propre de l'appartenance à un groupe sur les performances tout en contrôlant d'autres facteurs.
3. **Examen de plusieurs variables dépendantes (MANOVA)** : Dans le cas où l'étude mesure plusieurs variables quantitatives et dépendantes qui pourraient être liées (telles que



les scores de prosodie audio, les scores de canal combiné et les perceptions de valence), la MANOVA permet de les examiner toutes en même temps. Cela nous offre une vue d'ensemble de l'impact des groupes sur ces variables interdépendantes et peut accroître la puissance statistique en tenant compte des corrélations entre les variables dépendantes.

La décision d'utiliser ces tests découle de l'objectif d'obtenir une compréhension complète des données recueillies et des relations potentielles. La présence de plusieurs groupes, de variables potentiellement confondantes et de multiples mesures de résultats sont des indicateurs clés selon lesquels ces analyses pourraient être pertinentes et instructives. Cependant, comme mentionné précédemment, il est crucial de vérifier que les données satisfont aux hypothèses de ces tests avant de procéder à l'analyse.

## 4 Analyse de la variance

L'analyse de la variance (ANOVA) est soumise à des conditions spécifiques :

- **Distribution normale** : Les données de chaque groupe doivent suivre une distribution normale.
- **Homogénéité des variances** : Les variances des données dans chaque groupe doivent être égales, impliquant une dispersion similaire.
- **Échantillons aléatoires simples et indépendants** : L'ANOVA compare les moyennes de trois groupes ou plus sur une variable dépendante continue, en supposant l'indépendance des groupes.

Nos échantillons sont considérés comme indépendants, car chaque test individuel représente un résultat unique, sans influence des autres tests. Cela garantit une collecte aléatoire et indépendante, conditions nécessaires à l'ANOVA. Nous avons également identifié et supprimé les doublons dans nos données pour assurer des observations uniques dans chaque groupe.

|         | Statistic | p-value | Decision at $\alpha=0.05$ | Decision at $\alpha=0.01$ | Decision at $\alpha=0.001$ |
|---------|-----------|---------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Bipolar | 0.978     | 0.0489  | Reject H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  |
| Control | 0.981     | 0.1048  | Accept H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  |
| UD      | 0.982     | 0.7873  | Accept H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  |

Pour évaluer la normalité des distributions de données au sein de nos trois groupes distincts, nous avons employé le test de Shapiro-Wilk. Il est à noter que la p-value pour les trois groupes est supérieure à 0.01, ce qui suggère une possible distribution normale des données pour les trois groupes distincts. Toutefois, pour le groupe Bipolaire, la p-value est inférieure à 0.05. À ce seuil de significativité, l'hypothèse nulle est rejetée, laissant entendre une possible non-normalité des données pour ce groupe. Par la suite, nous examinerons si les données de chaque groupe présentent une variance équivalente à l'aide de tests tels que le test de Levene ou le test de Bartlett. Ces tests permettent d'évaluer si les variances des échantillons provenant de différents groupes sont statistiquement similaires.

|   | Test             | Statistique de test | p-value | Décision au niveau $\alpha=0.05$ | Décision au niveau $\alpha=0.01$ | Décision au niveau $\alpha=0.001$ |
|---|------------------|---------------------|---------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 0 | Test de Levene   | 4.291               | 0.015   | Rejet H0                         | Accepte H0                       | Accepte H0                        |
| 1 | Test de Bartlett | 9.021               | 0.011   | Rejet H0                         | Accepte H0                       | Accepte H0                        |

Les résultats des deux tests indiquent une non-homogénéité des variances entre les groupes au niveau de signification de 0.05. Cela pose une préoccupation pour l'utilisation d'une ANOVA classique, qui suppose l'égalité des variances entre les groupes. Cependant, le test de Levene et le test de Bartlett acceptent l'homogénéité des variances à un niveau de signification plus conservateur de 0.01. Cela suggère que l'impact de l'hétérogénéité des variances pourrait être moins significatif à ce niveau de seuil.

**Tableau récapitulatif des tests statistiques en fonction du niveau de significativité.**

| $\alpha$ Normalité/Homoscédasticité | 0.05           | 0.01           | 0.001          |
|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| 0.05                                | Kruskal-Wallis | Kruskal-Wallis | Kruskal-Wallis |
| 0.01                                | Welch ANOVA    | ANOVA          | ANOVA          |
| 0.001                               | Welch ANOVA    | ANOVA          | ANOVA          |

**Test Kruskal-Wallis** : Un test non paramétrique pour comparer trois groupes ou plus sans supposer une distribution normale des données.

**ANOVA de Welch** : Une alternative à l'ANOVA traditionnelle utilisée lorsque les variances des groupes ne sont pas égales (homoscédasticité non assumée).

**ANOVA** : Un test paramétrique pour comparer les moyennes de trois groupes ou plus, supposant une distribution normale des données et des variances égales entre les groupes.

#### 4.1 Anova

| Source de Variation | DL  | Somme des Carrés | Moy des Carrés | F-Stat | p-valeur |
|---------------------|-----|------------------|----------------|--------|----------|
| Between Groups      | 2   | 2306.21          | 1153.10        | 59.54  | < 0.001  |
| Within Groups       | 267 | 5171.06          | 19.37          | -      | -        |
| Total               | 269 | 7477.27          | -              | -      | -        |

F\_onewayResult : (statistic = 59.5387827560273, pvalue = 4.1514405711459885e-22)

La F-statistique obtenue est de 59.54 et la p-value est extrêmement faible, à  $4.15 \times 10^{-22}$ . Étant donné que la p-value est bien inférieure au seuil de 0.05, nous rejetons l'hypothèse nulle, ce qui confirme l'existence d'une différence significative.

Une fois établi par l'ANOVA que les groupes présentent des différences significatives, il reste à identifier précisément quels groupes diffèrent entre eux. C'est à ce stade que le test post-hoc de Tukey est utilisé. Ce test effectue des comparaisons entre toutes les paires possibles de moyennes de groupe pour identifier celles qui présentent des différences significatives. Le test de Tukey ajuste également la p-value pour prendre en compte les risques liés aux comparaisons multiples, ce qui aide à contrôler le taux d'erreur de Type I, c'est-à-dire le risque de rejeter à tort l'hypothèse nulle.

| Groupe 1 | Groupe 2 | Diff. Moyenne | p-ajusté | Inférieur | Supérieur | Rejet |
|----------|----------|---------------|----------|-----------|-----------|-------|
| Bipolar  | Control  | 5.0131        | <0.001   | 3.6476    | 6.3786    | Oui   |
| Bipolar  | UD       | -2.635        | 0.0038   | -4.5488   | -0.7212   | Oui   |
| Control  | UD       | -7.6481       | <0.001   | -9.5766   | -5.7196   | Oui   |

**Bipolar vs. Control** : La différence moyenne de 5.0131 et une p-value ajustée de moins de 0.001 montrent une différence significative en faveur du groupe *bipolaire*, avec un intervalle de confiance de 3.6476 à 6.3786 confirmant cette différence.

**Bipolar vs. UD :** Une différence moyenne de -2.635 et une p-value ajustée de 0.0038 signalent une différence significative, le groupe *bipolaire* ayant une moyenne inférieure, comme le confirme l'intervalle de confiance de -4.5488 à -0.7212.

**Control vs. UD :** Avec une différence moyenne de -7.6481 et une p-value ajustée de moins de 0.001, il y a une différence significative, le groupe *unipolaire* ayant une moyenne nettement inférieure, confirmée par un intervalle de confiance de -9.5766 à -5.7196.

En résumé, des différences significatives sont observées entre tous les groupes, indiquées par des p-values ajustées et des intervalles de confiance exclusifs de zéro, reflétant des effets distincts sur les groupes *bipolaires*, *unipolaires*, et *témoins*.

Pour un seuil alpha de 0.01, les conditions de normalité et d'homogénéité des variances sont remplies. Augmenter le seuil à 0.05 révèle des violations de ces conditions dans le groupe *bipolaire*, suggérant l'utilisation de méthodes alternatives pour l'analyse à un alpha de 0.05.

## 4.2 Anova de Welch

Le test de Welch est une adaptation du test t de Student, conçu pour être utilisé dans les analyses ANOVA lorsque les tailles d'échantillon varient entre les groupes. Ce test ajuste le calcul des degrés de liberté en fonction des variances des groupes, en accordant une importance totale à la variance la plus élevée et une importance partielle à la variance la plus basse. Cela le rend particulièrement adapté aux situations où les tailles d'échantillon ne sont pas égales. Dans notre contexte, où les tailles d'échantillon varient, l'ANOVA de Welch offre donc une approche plus précise.

| Source | ddof1 | ddof2   | F      | p-non corrigé | np2   |
|--------|-------|---------|--------|---------------|-------|
| Group  | 2     | 100.571 | 62.404 | <0.001        | 0.308 |

La p-valeur obtenue est significativement inférieure au seuil communément accepté de 0.05. Cela nous permet de rejeter l'hypothèse nulle, confirmant ainsi l'existence de différences significatives entre les moyennes des groupes analysés. Suite à la constatation de ces différences significatives via l'ANOVA de Welch, le test de Games-Howell peut être judicieusement appliqué. Ce test post hoc est recommandé lorsque l'homogénéité des variances n'est pas assurée. Le Games-Howell est préféré à d'autres tests de comparaisons multiples, tels que le test de Tukey ou le test de Bonferroni, précisément parce qu'il n'exige pas l'égalité des variances entre les groupes.

| A       | B       | Moy(A) | Moy(B) | Diff.  | SE    | T      | df      | p-val  | G Hedges |
|---------|---------|--------|--------|--------|-------|--------|---------|--------|----------|
| Bipolar | Control | 45.353 | 50.366 | -5.013 | 0.562 | -8.928 | 220.607 | <0.001 | -1.162   |
| Bipolar | UD      | 45.353 | 42.718 | 2.635  | 0.910 | 2.897  | 62.804  | 0.014  | 0.542    |
| Control | UD      | 50.366 | 42.718 | 7.648  | 0.870 | 8.794  | 53.364  | <0.001 | 1.874    |

Les résultats du test de Games-Howell révèlent les différences suivantes entre les groupes :

- Entre *Bipolar* et *Control*, il existe une différence significative ( $p < 0.001$ ), le groupe *Control* présentant une moyenne supérieure.
- Aucune différence significative n'est observée entre *Bipolar* et *UD* ( $p = 0.014$ ), cette valeur de p étant à la limite et peut être interprétée différemment selon le seuil de significativité établi.
- Une différence significative est notée entre *Control* et *UD* ( $p < 0.001$ ), avec une moyenne supérieure pour le groupe *Control*.

Quant à la taille de l'effet, elle suggère une différence de moyenne à grande entre *Bipolar* et *Control* (G de Hedges = -1.162), petite mais non significative entre *Bipolar* et *UD* (G de Hedges = 0.542), et grande entre *Control* et *UD* (G de Hedges = 1.874). Ces analyses mettent en évidence des différences significatives dans les moyennes des scores entre les groupes, avec des effets variant de petits à grands.

### 4.3 Test de Kruskal-Wallis

Le test de Kruskal-Wallis est un test statistique non paramétrique utilisé pour déterminer s'il existe des différences significatives entre les médianes de trois groupes ou plus. Il représente une alternative à l'ANOVA lorsque les données ne respectent pas les conditions d'homoscédasticité et de normalité requises par l'ANOVA. Voici les résultats de ce test sur nos données :

**Statistic** : 86.0369, représente la statistique du test de Kruskal-Wallis qui mesure les différences entre les groupes.

**p-value** : Approximativement  $2.76 \times 10^{-19}$ , une valeur extrêmement faible, suggérant qu'on peut rejeter l'hypothèse nulle. Cela indique qu'il existe des différences significatives entre les médianes des groupes.

|                  | <b>Bipolaire</b> | <b>Contrôle</b> | <b>UD</b> |
|------------------|------------------|-----------------|-----------|
| <b>Bipolaire</b> | 1.000            | 0.0             | 0.017     |
| <b>Contrôle</b>  | 0.000            | 1.0             | 0.000     |
| <b>UD</b>        | 0.017            | 0.0             | 1.000     |

Après avoir mis en évidence des différences significatives entre les médianes des groupes via le test de Kruskal-Wallis, nous avons procédé à une analyse plus détaillée pour identifier les paires de groupes entre lesquelles ces différences sont significatives. Pour ce faire, le test de Dunn a été utilisé comme méthode post-hoc. Ces résultats indiquent que les différences entre les groupes Bipolaire et Contrôle, ainsi qu'entre les groupes Contrôle et UD, sont statistiquement significatives, signalant des variations importantes dans les médianes de leurs réponses correctes ou des mesures analysées. La différence entre les groupes Bipolaire et UD est également significative, mais dans une moindre mesure.

## 5 Analyse de covariance

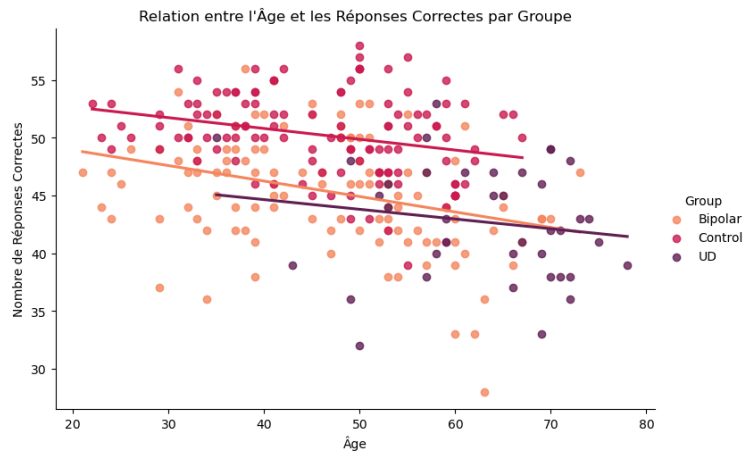
### 5.1 Ancova

L'analyse de covariance (ANCOVA) est une méthode statistique combinant les caractéristiques de l'ANOVA et de la régression linéaire. Elle est employée pour comparer les moyennes de groupes tout en ajustant statistiquement l'effet de variables continues, nommées covariables, susceptibles d'influencer la variable dépendante.

Les résultats des tests de Kruskal-Wallis et post-hoc de Dunn révèlent des différences significatives entre les groupes. Néanmoins, ces tests ne considèrent pas l'impact d'autres variables pouvant influencer les résultats, telles que l'âge, le sexe ou d'autres mesures cliniques, qui pourraient altérer les réponses correctes indépendamment des groupes (*Bipolaire*, *Contrôle*, *UD*).

L'ANCOVA permet de contrôler l'effet de ces variables supplémentaires, souvent désignées comme variables ou facteurs de confusion, en ajustant les moyennes des groupes en fonction des covariables.

Dans notre étude, l'impact de la variable *Âge* sur les différences de bonnes réponses est examiné, en plus du type de participant. Il est alors pertinent de représenter graphiquement, à travers un nuage de points, une potentielle relation entre l'âge, le groupe et le nombre de bonnes réponses. Il est crucial de noter l'importance d'une relation linéaire entre les variables indépendantes (ici, l'âge et le groupe) et la variable dépendante (le nombre de bonnes réponses).



Nous constatons une dispersion des points sur l'ensemble des tranches d'âge pour chaque groupe. Par conséquent, il est difficile d'établir une relation linéaire entre les variables indépendantes et la variable dépendante, compromettant ainsi la fiabilité et la pertinence des résultats de l'ANCOVA.

L'hétérogénéité des pentes de régression soulève un problème potentiel. L'existence de différences significatives entre les coefficients de régression des groupes suggère que l'influence de la covariable sur la variable dépendante diffère selon les groupes. Autrement dit, l'effet de l'âge sur le nombre de bonnes réponses varie d'un groupe à l'autre, rendant l'ANCOVA inappropriée dans ce contexte.

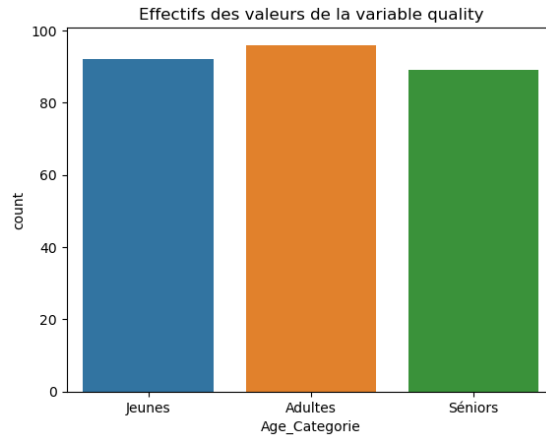
Les conditions nécessaires à l'application de l'ANCOVA n'étant pas remplies, nous ne pouvons pas procéder à son utilisation. Une ANOVA à deux facteurs pourrait constituer une alternative viable.

## 5.2 Anova à 2 facteurs

L'ANOVA à deux facteurs sert à évaluer l'impact de deux variables indépendantes, ou facteurs, sur une variable dépendante. Ces facteurs, qui peuvent être nominaux ou ordinaux, permettent d'explorer non seulement leurs effets individuels mais aussi l'interaction entre eux. Contrairement à l'ANCOVA, l'ANOVA à deux facteurs ne considère pas les covariables continues qui pourraient affecter la variable dépendante. Ainsi, il est nécessaire de catégoriser notre variable continue, l'Âge, en trois groupes distincts pour faciliter cette analyse, en les organisant du plus jeune au plus âgé.

La classification des participants en trois tranches d'âge nous aide à définir plus précisément notre échantillon :

- **Jeunes** : Cette catégorie regroupe les participants de moins de 40 ans. Cette appellation permet de distinguer ce groupe comme le plus jeune de l'étude.
- **Adultes** : Les participants âgés de 40 à 55 ans sont classés dans cette catégorie, représentant les individus en milieu de vie.
- **Séniors** : Enfin, les participants de 55 ans et plus sont considérés comme "Séniors", indiquant le groupe d'âge le plus élevé de notre analyse.



Nous observons une répartition équilibrée entre nos trois groupes d'âge, satisfaisant l'hypothèse d'équivalence des échantillons, une condition essentielle pour la validité des résultats de l'ANOVA.

L'ANOVA à deux facteurs est soumise aux mêmes hypothèses que l'ANOVA à un facteur, notamment concernant la normalité des distributions et l'homoscédasticité. Nous vérifions ces hypothèses en utilisant les tests appropriés pour l'ANOVA.

|         | Statistic | p-value | Decision at $\alpha=0.05$ | Decision at $\alpha=0.01$ | Decision at $\alpha=0.001$ |
|---------|-----------|---------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Adultes | 0.983     | 0.2973  | Accept H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  |
| Jeunes  | 0.956     | 0.0036  | Reject H0                 | Reject H0                 | Accept H0                  |
| Séniors | 0.986     | 0.5042  | Accept H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  |

L'hypothèse de normalité des distributions est confirmée pour les groupes Adultes et Séniors à un seuil alpha de 0.05, alors que pour le groupe "Jeunes", elle est validée à un seuil alpha de 0.001.

|   | Test             | Statistique de test | p-value | Décision au niveau $\alpha=0.05$ | Décision au niveau $\alpha=0.01$ | Décision au niveau $\alpha=0.001$ |
|---|------------------|---------------------|---------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 0 | Test de Levene   | 4.170               | 0.016   | Rejet H0                         | Accepte H0                       | Accepte H0                        |
| 1 | Test de Bartlett | 9.021               | 0.011   | Rejet H0                         | Accepte H0                       | Accepte H0                        |

L'homoscédasticité est attestée par le test de Levene à un seuil alpha de 0.01, ainsi que le test de Bartlett.

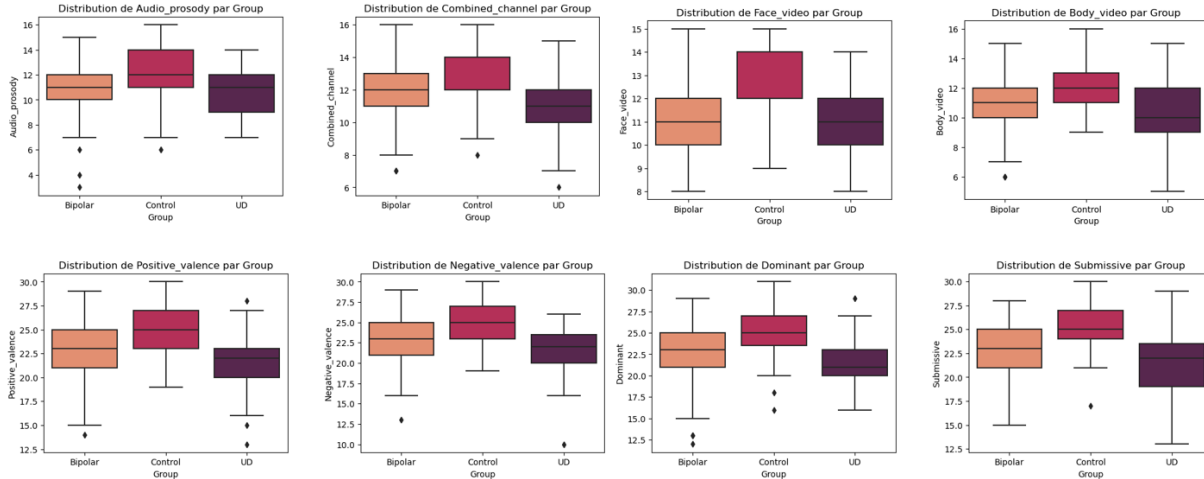
| Source               | Somme des Carrés | df  | F     | PR(>F) |
|----------------------|------------------|-----|-------|--------|
| Group                | 1723.49          | 2   | 49.28 | <0.001 |
| Age Categorie        | 389.63           | 2   | 11.14 | <0.001 |
| Group :Age Categorie | 217.99           | 4   | 3.12  | 0,015  |
| Residual             | 4563.44          | 261 | —     | —      |

L'effet du facteur *Groupe* sur le nombre de bonnes réponses est statistiquement significatif, avec une p-value inférieure à 0.05 et une valeur de F de 49.90, soulignant des différences marquées entre les moyennes des groupes de participants. De même, l'effet du facteur *Âge* est significatif ( $p < 0.05$ ) avec une valeur de F de 11.14, indiquant des différences notables entre les catégories d'âge.

L'interaction significative entre les facteurs *Groupe* et *Âge*, avec une valeur de F de 3.12, révèle que l'impact de l'un des facteurs dépend du niveau de l'autre. Cette interaction souligne la nécessité de prendre en compte ces deux variables explicatives simultanément. Néanmoins, une somme des carrés résiduels élevée indique que la variabilité importante des données n'est pas entièrement expliquée par les facteurs étudiés.

En résumé, l'ANOVA à deux facteurs révèle que tant les facteurs *Groupe* et *Âge* que leur interaction ont un effet significatif sur le nombre de réponses correctes. Cependant, malgré la contribution de l'âge à la compréhension des différences entre les groupes, l'importante variabilité non expliquée et les limitations dans le respect des hypothèses modèrent l'interprétation de ces effets.

## 6 Manova



Ces visualisations permettent d'approfondir notre compréhension de l'impact du facteur *Groupe* sur les différentes variables mesurées. La MANOVA (Analyse de Variance Multivariée) se présente comme une extension logique de l'ANOVA, adaptée à l'examen simultané de multiples variables dépendantes. Contrairement à l'ANOVA, qui se concentre sur la comparaison des moyennes d'une seule variable dépendante entre différents groupes, la MANOVA évalue les différences entre les groupes en termes de vecteurs de moyennes de plusieurs variables dépendantes. Elle enrichit l'analyse en considérant les variables dépendantes non pas isolément, mais comme une combinaison linéaire pondérée, évaluant ainsi leur variation en fonction des niveaux du ou des facteurs indépendants. La MANOVA teste spécifiquement l'hypothèse nulle stipulant l'absence de différence significative entre les moyennes des groupes pour l'ensemble des variables dépendantes considérées. Avant d'entamer l'analyse de variance multivariée (MANOVA), il est crucial de vérifier plusieurs hypothèses pour assurer la fiabilité des résultats. Une de ces hypothèses fondamentales est la normalité de la distribution pour chaque combinaison de variables dépendantes au sein de chaque groupe.

Le test de Shapiro-Wilk est couramment utilisé pour cette évaluation :

| Group   | Statistic | p-value | Variable         | Decision at $\alpha=0.05$ | Decision at $\alpha=0.01$ | Decision at $\alpha=0.001$ | Group   | Statistic | p-value | Variable         | Decision at $\alpha=0.05$ | Decision at $\alpha=0.01$ | Decision at $\alpha=0.001$ |
|---------|-----------|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------|-----------|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Bipolar | 0.938     | 0.0000  | Audio_prosody    | Reject H0                 | Reject H0                 | Reject H0                  | Bipolar | 0.980     | 0.0791  | Positive_valence | Accept H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  |
| Control | 0.961     | 0.0023  | Audio_prosody    | Reject H0                 | Reject H0                 | Accept H0                  | Control | 0.968     | 0.0085  | Positive_valence | Reject H0                 | Reject H0                 | Accept H0                  |
| UD      | 0.939     | 0.0356  | Audio_prosody    | Reject H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  | UD      | 0.979     | 0.6691  | Positive_valence | Accept H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  |
| Bipolar | 0.965     | 0.0032  | Combined_channel | Reject H0                 | Reject H0                 | Accept H0                  | Bipolar | 0.977     | 0.0378  | Negative_valence | Reject H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  |
| Control | 0.934     | 0.0000  | Combined_channel | Reject H0                 | Reject H0                 | Reject H0                  | Control | 0.970     | 0.0132  | Negative_valence | Reject H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  |
| UD      | 0.962     | 0.2135  | Combined_channel | Accept H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  | UD      | 0.918     | 0.0076  | Negative_valence | Reject H0                 | Reject H0                 | Accept H0                  |
| Bipolar | 0.959     | 0.0011  | Face_video       | Reject H0                 | Reject H0                 | Accept H0                  | Bipolar | 0.947     | 0.0001  | Dominant         | Reject H0                 | Reject H0                 | Reject H0                  |
| Control | 0.946     | 0.0002  | Face_video       | Reject H0                 | Reject H0                 | Reject H0                  | Control | 0.963     | 0.0032  | Dominant         | Reject H0                 | Reject H0                 | Accept H0                  |
| UD      | 0.944     | 0.0505  | Face_video       | Accept H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  | UD      | 0.971     | 0.4046  | Dominant         | Accept H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  |
| Bipolar | 0.951     | 0.0003  | Body_video       | Reject H0                 | Reject H0                 | Reject H0                  | Bipolar | 0.979     | 0.0574  | Submissive       | Accept H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  |
| Control | 0.960     | 0.0020  | Body_video       | Reject H0                 | Reject H0                 | Accept H0                  | Control | 0.962     | 0.0031  | Submissive       | Reject H0                 | Reject H0                 | Accept H0                  |
| UD      | 0.973     | 0.4473  | Body_video       | Accept H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  | UD      | 0.982     | 0.7820  | Submissive       | Accept H0                 | Accept H0                 | Accept H0                  |

Il apparaît que l'hypothèse de normalité pour chaque combinaison des variables indépendantes et dépendantes n'est pas systématiquement respectée. Cependant, la MANOVA présente une certaine tolérance aux déviations de la normalité multivariée, ce qui signifie que des écarts légers à modérés ne devraient pas compromettre significativement les conclusions de l'analyse.

La prochaine étape consiste à évaluer l'hypothèse d'homoscédasticité multivariée, qui postule l'égalité des matrices de covariance des variables dépendantes à travers les différents groupes. Le test de Box-M est utilisé pour cette vérification, offrant un moyen d'apprécier l'homoscédasticité au sein des données analysées.

| Test | Chi2 | df | p-valeur |
|------|------|----|----------|
| Box  | NaN  | 72 | NaN      |

Le test de Box-M semble avoir échoué en raison des valeurs "NaN" observées pour la statistique de test Chi2 et la p-value. Ce problème pourrait être dû à une matrice de variance-covariance non inversible. Étant donné que le test de Box-M vise à évaluer l'égalité des matrices de covariance entre plusieurs groupes de données, il est crucial que ces matrices soient inversibles. La non-inversibilité des matrices de covariance peut résulter de divers facteurs, tels que la multicollinéarité entre les variables. Malgré cet obstacle, nous envisagerons de mettre en place une analyse de la variance multivariée (MANOVA) afin d'évaluer l'impact de plusieurs variables dépendantes en fonction des niveaux du facteur de la variable indépendante. Dans le cas d'une MANOVA à facteur unique, plusieurs tests statistiques sont disponibles pour examiner la significativité du facteur étudié.

Le test de Wilks, couramment utilisé en MANOVA, est une version adaptée du test du rapport de vraisemblance. Il évalue l'influence globale du ou des facteurs indépendants sur l'ensemble des variables dépendantes, testant l'hypothèse nulle que les groupes n'exercent aucun effet sur les variables dépendantes contre l'hypothèse alternative d'un effet significatif. Une valeur du test de Wilks proche de 1 suggère que l'hypothèse nulle est vraie. À l'inverse, une valeur proche de 0 révèle des différences significatives entre les moyennes des groupes sur au moins une des variables dépendantes.

D'autres tests comme le test de la trace de Pillai, le test de la trace de Lawley-Hotelling et le test de la plus grande racine de Roy, offrent des approches alternatives pour tester la même hypothèse nulle. Leurs statistiques sont calculées à partir, respectivement, de la somme des ratios des valeurs propres des matrices de covariance inter et intra-groupes, du rapport des déterminants de ces matrices et de la plus grande valeur propre de ce rapport.



| Test                   | Valeur | Num DF | Den DF | F Valeur | Pr > F |
|------------------------|--------|--------|--------|----------|--------|
| Wilks' lambda          | 0.670  | 12     | 524.0  | 9.663    | <0.001 |
| Pillai's trace         | 0.332  | 12     | 526.0  | 8.724    | <0.001 |
| Hotelling-Lawley trace | 0.488  | 12     | 404.48 | 10.624   | <0.001 |
| Roy's greatest root    | 0.480  | 6      | 263    | 21.057   | <0.001 |

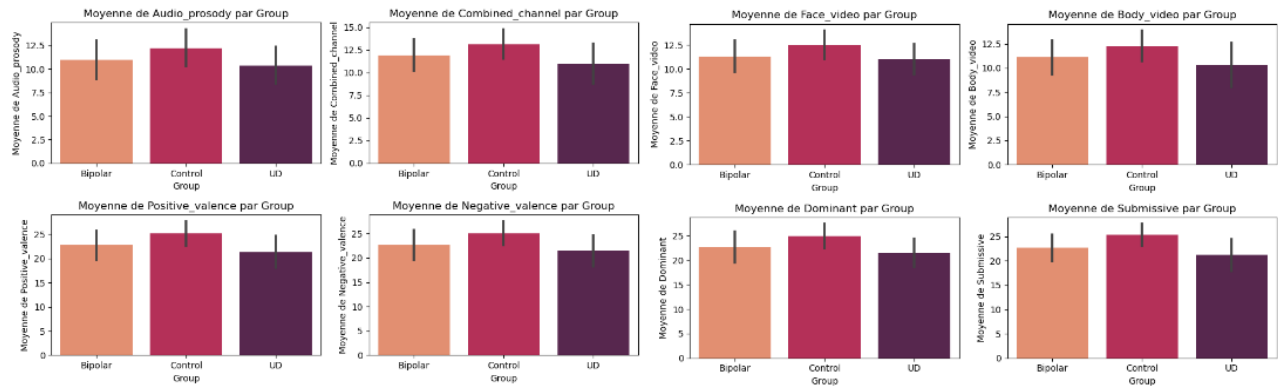
**Test de Wilks :** Une valeur de 0.670439, avec un F de 9.6631 et une p-value quasi nulle, montre que les différences entre les groupes sont statistiquement significatives pour l'ensemble des variables dépendantes.

**Test de la trace de Pillai :** Avec une valeur de 0.33199, un F de 8.7243 et une p-value quasi nulle, ce test confirme aussi des différences significatives entre les groupes.

**Test de la trace de Hotelling-Lawley :** Une valeur de 0.487935, accompagnée d'un F de 10.6244 et d'une p-value quasi nulle, signale des différences notables entre les moyennes des groupes.

**Test de la plus grande racine de Roy :** La valeur de 0.480393, avec un F de 21.057 et une p-value presque nulle, suggère l'existence d'au moins un groupe qui se distingue significativement des autres selon les variables mesurées.

Ces résultats démontrent un effet significatif de l'appartenance à un groupe sur toutes les variables dépendantes examinées. Ainsi, la variation observée dans ces données ne saurait être attribuée au hasard, révélant que les groupes présentent des profils multivariés distincts.



**Moyennes des Groupes :** L'observation de différences marquées dans ces hauteurs suggère un impact significatif du facteur *Groupe*.

**Intervalle de Confiance (IC) :** Les IC offrent un aperçu de la variabilité et de la précision des moyennes calculées.

**Variabilité et Distribution :** La variabilité des données indique une hétérogénéité potentielle au sein de chaque groupe.

En résumé, les visualisations et les résultats de la MANOVA révèlent que l'appartenance à un groupe exerce une influence notable sur toutes les variables dépendantes étudiées. Les graphiques à barres d'erreur enrichissent cette analyse en fournissant une visualisation claire de l'impact du facteur *Groupe*, soulignant l'ampleur et la direction des différences observées entre les groupes pour chaque variable.

## 7 Conclusion

La conclusion de l'analyse statistique menée dans cette recherche sur la Théorie de l'esprit dans le trouble bipolaire est structurée autour de plusieurs étapes méthodologiques clés.

L'analyse s'est concentrée sur l'utilisation de plusieurs formes d'ANOVA pour comparer les performances des différents groupes (trouble bipolaire, dépression unipolaire, groupe témoin) en fonction de leur capacité à reconnaître les signaux non verbaux. L'ANOVA classique, l'ANOVA de Welch, et le test de Kruskal-Wallis ont été appliqués pour tenir compte des variations dans la distribution des données et de l'homogénéité des variances. Ces tests ont révélé des différences significatives entre les groupes, justifiant des analyses post-hoc pour explorer ces différences en profondeur.

Face à des résultats initiaux suggérant l'influence de variables confondantes, une ANCOVA a été envisagée pour ajuster les effets de covariables potentielles telles que l'âge. Cependant, les analyses ont montré une hétérogénéité des pentes de régression, conduisant à l'exclusion de l'ANCOVA comme méthode appropriée. En réponse, une ANOVA à deux facteurs a été utilisée pour explorer l'interaction entre l'âge et l'appartenance au groupe, fournissant des insights supplémentaires sur la complexité des effets étudiés.

Pour compléter l'analyse, une MANOVA a été employée afin d'examiner l'impact simultané de plusieurs variables dépendantes. Les résultats de la MANOVA ont confirmé l'effet significatif de l'appartenance à un groupe sur les variables dépendantes, soulignant les distinctions importantes entre les performances des groupes à travers les différentes mesures.

En somme, ces résultats principaux illustrent que le trouble bipolaire et la dépression unipolaire sont associés à des déficits significatifs dans la capacité à comprendre et à réagir aux signaux non verbaux d'autrui, comparativement aux individus du groupe témoin. L'interaction entre l'âge et l'appartenance à un groupe révèle que les déficits dans la théorie de l'esprit ne sont pas uniformément répartis à travers les groupes d'âge, suggérant des implications pour le développement d'interventions thérapeutiques ciblées. Ces découvertes offrent des perspectives importantes pour la prise en charge et le soutien des individus souffrant de troubles psychiatriques, mettant en évidence la nécessité de stratégies d'intervention qui tiennent compte de la complexité des compétences sociales et de leurs interactions avec des facteurs démographiques et cliniques.