Université Cadi Ayad
École Nationale des Sciences Appliquées de Marrakech
Filière Génie Industriel et logistique

Rapport de projet

Analyse des données statistiques du service maintenance par SPSS

Réalisé par :

- BOUKRI Mohamed
- BOUHDDI Nouhaila
- ZEGROUD Yassine

Encadré par :

- Professeur Mr Irhiran El Hassan

Année Universitaire 2022-2023

Remerciments

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce rapport de projet. Leur soutien, leur expertise et leurs encouragements ont été essentiels pour mener à bien cette étude sur les défaillances et le départ des employés dans le service de maintenance.
Nous tenons tout particulièrement à remercier notre encadrant, Monsieur El Hassan Irhirane, pour sa précieuse guidance tout au long de ce projet. Ses conseils éclairés, sa disponibilité et sa patience ont grandement contribué à notre apprentissage et à la réussite de notre étude. Nous sommes reconnaissants d'avoir pu bénéficier de son expertise et de sa supervision.
Nous souhaitons également adresser nos remerciements les plus sincères au Professeur Abdellah Tajer pour sa contribution précieuse. Ses documentations et ses références ont enrichi notre recherche et nous ont permis d'approfondir notre compréhension des facteurs influents dans le domaine de la maintenance. Sa générosité intellectuelle et sa disponibilité ont été d'une grande aide pour mener à bien notre projet.
Nous tenons à exprimer notre gratitude envers l'ensemble du corps professoral de notre institution académique pour leur enseignement de qualité, qui a jeté les bases de nos connaissances et nous a préparés à mener cette étude de manière rigoureuse et efficace.
Enfin,nos remerciements s'étendent également à nos proches, nos amis et nos camarades de classe, pour leur soutien moral et leur encouragement tout au long de ce projet.

Résumé

Ce rapport est le compte rendu d'un projet de fin de semestre visant à étudier les facteurs influents dans le service de maintenance de l'entreprise Tournotech. Nous avons analysé les ressources humaines et les facteurs du procédé de tournage pour mieux comprendre la dynamique du service de maintenance et identifier des leviers d'amélioration potentiels. Le rapport présente le contexte du projet, aborde la problématique centrale, analyse les ressources humaines et les facteurs du procédé de tournage, décrit la méthodologie utilisée et conclut en résumant les principaux résultats et recommandations. Ce projet a été une opportunité précieuse pour appliquer nos connaissances théoriques et contribuer à l'optimisation de la performance du service de maintenance de Tournotech.

Abstract

This report is the summary of a semester-end project aimed at studying the influential factors in the maintenance service of Tournotech company. We analyzed human resources and the factors related to the turning process to gain a better understanding of the dynamics within the maintenance service and identify potential areas for improvement. The report provides an overview of the project's context, addresses the central issue, analyzes human resources and the turning process factors, describes the methodology employed, and concludes by summarizing the key findings and recommendations. This project provided us with a valuable opportunity to apply our theoretical knowledge and contribute to optimizing the performance of Tournotech's maintenance service.

ملخص

هذا التقرير هو ملخص لمشروع نهاية الفصل الدراسي الذي يهدف إلى دراسة العوامل المؤثرة في خدمة الصيانة في شركة تورنوتك. لقد قمنا بتحليل الموارد البشرية وعوامل عملية التشغيل لفهم أفضل لديناميكية خدمة الصيانة وتحديد وسائل التحسين المحتملة. يقدم التقرير نبذة عن سياق المشروع، ويناقش المسألة المركزية، ويحلل الموارد البشرية وعوامل عملية التشغيل، ويصف المنهجية المستخدمة، ويختتم بتلخيص النتائج الرئيسية والتوصيات. كان هذا المشروع فرصة قيمة لتطبيق معارفنا النظرية والمساهمة في تحسين أداء خدمة الصيانة في تورنوتك.

Table des matières

Résumé.....IV
Abstract.....V
Liste des figures VII
Chapitre 1 - Contexte général et problématique 1
I.1.Introduction.....1
I.2.Procédure de fabrication.....3
I.3.Caractéristiques de la procédure de fabrication.....6
I.3.1.Définition.....7
I.3.2.Objectif.....8
I.3.3.Importance.....8
I.3.4.La maintenance préventive.....9
I.3.5.La maintenance corrective.....10
I.3.6.La maintenance prédictive 11
I.3.7.La maintenance conditionnelle.....12
I.3.8.Choix du type de maintenance.....12
I.4.Les paramètres agissant sur la procésure de fabrication.....14
I.4.1.Procédé d'usinage Tournage.....14
I.4.2.Les défaillances face au procédé de tournage.....18
I.4.3.Etude des facteurs influents.....20
I.4.4.Conclusion.....26
I.5. Facteurs influents sur les ressources humaines dans le service de maintenance 27
I.6.Présentation du logiciel SPSS.....32
I.7.Conclusion.....33

Chapitre 2 - Analyse factorielle et analyse de variance.....34
II.1. Introduction.....35
II.2.Paramètres des variables 36
II.3.Gestion des variables.....39
II.3.1.Types des variables 39

Table des matières

II.3.2.Echelle Sous SPSS.....40
II.4.Description de variables.....41
II.4.1.Description d'une variable qualitative.....41
II.4.1.1.Rappel théorique.....41
II.4.1.2. Procédure SPSS.....41
II.4.1.3. Interprétation 42
II.4.2 Description d'une variable quantitative.....43
II.4.2.1. Mesure de la tendance centrale et
de dispersion.....43
II.4.3. Indicateurs de forme de distribution.....45
II.4.3.1.Rappel théorique.....45
II.4.3.2. Procédure SPSS.....46
II.4.1.3. Interprétation 48
II.4.4. Représentations graphiques 49
II.4.4.1 Le diagramme à secteurs.....49
II.4.4.1.1. Rappel théorique 49
II.4.4.1.2. Procédure SPSS.....49
II.4.4.1.1. Interprétation 51
II.4.4.2 Le diagramme à barres.....51
II.4.4.2.1. Rappel théorique 51
II.4.4.2.2. Procédure SPSS.....52
II.4.4.2.1. Interprétation.....53
II.4.4.3. L'Histogramme.....54
II.4.4.3.1. Rappel théorique 54
II.4.4.3.2. Procédure SPSS.....54
II.4.4.3.1. Interprétation.....56
II.4.4.4. Boite à moustaches.....57
II.4.4.4.1. Rappel théorique 57
II.4.4.4.2. Procédure SPSS.....57
II.4.4.4.1. Interprétation.....59

Table des matières

II.5.Analyse bivariée 59
II.5.1.Tri croisé 59
II.5.1.1.Rappel théorique.....59
II.5.1.2. Procédure SPSS.....60
II.5.1.3. Interprétation 62
II.5.2. Test de Khi-deux.....62
II.5.2.1.Rappel théorique.....62
II.5.2.2. Procédure SPSS.....63
II.5.2.3. Interprétation 65
II.6. Tests paramétriques de comparaison des moyennes.....66
II.6.1.Test t pour échantillon unique.....66
II.6.1.1. Test de normalité.....66
II.6.1.2 .Rappel théorique.....67
II.6.1.3. Procédure SPSS.....67
II.6.1.4. Interprétation 69
II.6.2.Test t pour échantillon indépendant.....70
II.6.2.1.Rappel théorique.....70
II.6.2.2. Procédure SPSS.....70
II.6.2.3. Interprétation 72
II.6.3.Test t pour échantillon lié ou apparié 73
II.6.3.1.Rappel théorique.....73
II.6.3.2. Procédure SPSS.....74
II.6.3.3. Interprétation 76
II.7. Tests non paramétriques de comparaison des moyennes.....76
II.7.1.Test pour échantillon unique: Test de Kolmogrov-Smirnov.....77
II.7.1.1.Rappel théorique.....77
II.7.1.2. Procédure SPSS.....77
II.7.1.3. Interprétation 83

Table des matières

II.7.2.Test pour échantillon indépendant
Test U de Mann-Whitney.....83
II.7.2.1.Rappel théorique.....83
II.7.2.2. Procédure SPSS.....85
II.7.2.3. Interprétation.....87
II.7.3.Test pour échantillon apparié : Test
de Wilcoxon.....87
II.7.3.1.Rappel théorique.....87
II.7.3.2. Procédure SPSS.....87
II.7.3.3. Interprétation.....90
II.8.Conclusion.....91

Chapitre 3 - Analyse factorielle et analyse de variance.....92
III.1. Introduction.....93
III.2. Analyse factorielle 94
III.2..1.Rappel théorique.....94
III.2.2. Procédure SPSS.....95
III.2.3. Interprétation.....105
III.3.Analyse de variance (ANOVA).....106
III.3.1.Rappel théorique.....106
III.3.2. Procédure SPSS.....107
III.3.3. Interprétation 111
III.4.Analyse de variance (MANOVA).....112
III.4.1.Rappel théorique.....112
III.4.2. Procédure SPSS.....113
III.4.3. Interprétation 117

Table des matières

III.5. Analyse de variane (Plan factoriel) 118
III.5.1.Rappel théorique.....118
III.5.2. Procédure SPSS.....119
III.5.3. Interprétation 125
III.6 Analyse de covariance (ANCOVA et MANCOVA).....126
III.6.1.Rappel théorique.....126
III.6.2. Procédure SPSS.....127
III.6.3. Interprétation 133
III.7. Conclusion.....134

Chapitre 4 - Régression statistique 135
IV.1. Introduction 136
IV.2. Corrélation.....136
IV.2.1.Rappel théorique.....136
IV.2.2. Procédure SPSS.....138
IV.2.3. Interprétation.....139
IV.3.Régression simple.....139
IV.3.1.Rappel théorique.....139
IV.3.2. Procédure SPSS.....140
IV.3.3. Interprétation 142
IV.4.Régression multiple.....143
III.4.1.Rappel théorique.....143
III.4.2. Procédure SPSS.....143
III.4.3. Interprétation 149
IV.5.Régression logistique.....150
III.5.1.Rappel théorique.....151
III.5.2. Procédure SPSS.....159
III.5.3. Interprétation.....162
IV.6.Conclusion

Conclusion générale XVIV

Liste des figures

Figure 1 :Tour à assistance numérique "par apprentissage" LT.....14
Figure 2: Rotation de la Tour conventionnelle 15
Figure 3: Outils de coupage 16
Figure 4: Forets et alésoirs 17
Figure 5: Outils de filetage 17
Figure 6: Outils de tronçonnage 17
Figure 7: Outil de dressage 18
Figure 8: Outils de rainurage 18
Figure 9: Illustration de mauvais alignement 19
Figure 10: Opérateur qui exécute une commande numérique 19
Figure 11: Une panne mécanique tournage 19
Figure 12: Figuration d'une usure d'outil 21
Figure 13: Des capteurs de température 21
Figure 14: Des capteurs de vibration 22
Figure 15: Système de surveillance 22
Figure 16: Instrument de mesure 23
Figure 17: Système de surveillance numérique 23
Figure 18: vue des mesures acteurs influants sur le processus.....24
Figure 19: Tableau des effets du facteur Température de l'air 24
Figure 20: Tableau des effets du facteur Température du process 24
Figure 21: Tableau des effets du facteur Force de rotation 25
Figure 22: Tableau des effets du facteur Vitesse de rotation 25
Figure 23: Ficher Excel des ressources humaines dans le service de maintenance.....28
Figure 24: logo de l'entreprise SPSS INC 32
Figure 25: logo de IBM 32
Figure 26: Boite de choix pour Fichiers 36
Figure 27: Vue de tableaux de données après importation du Fichier Excel :.....36
Figure 28: Tableau de vue de variables 38
Figure 29: Boite choix du type de variable 38
Figure 30: Boite Analyse de Fréquence.....41
Figure 31: Boites de choix dans Fréquence 41
Figure 32: Tableau de la Fréquence de qualité de produit 42
Figure 33: Représentations de distribution statistique 46
Figure 34: Menu Analyse 46
Figure 35: Menu Variables Descriptive 47
Figure 36: Menu Options Descriptive 47

Liste des figures

Figure 37: Tableau des statistique descriptives 48
Figure 38: Menu graphique 49
Figure 39: Données du graphique 50
Figure 40: Diagramme de Camembert 51
Figure 41: Menu graphiques 52
Figure 42: Options Graphiques barres 52
Figure 43: Résultat de menu graphiques à barres 53
Figure 44: Menu Analyse 54
Figure 45: Menu Fréquence 55
Figure 46: Option graphiques dans le menu fréquence 55
Figure 47: Histogramme de moment de force 56
Figure 48: Menu Graphiques 57
Figure 49: Menu boite à moustaches 58
Figure 50: Boite à moustaches du moment de la force 58
Figure 51: Boite de choix Analyse Bivariée 60
Figure 52: Boite de Tableaux croisés 60
Figure 53: Menu pour choisir les graphiques à barres en cluster 61
Figure 54: Tableau croisé 61
Figure 55: Graphique à barres 62
Figure 56: Boite de choix Analyse 63
Figure 57: Menu de choix pour l'étude Test de Khi deux 64
Figure 58: Boite de Menu Choix de l'Analyse Statistique 64
Figure 59: Tableau de Tests de Khi-carré 65
Figure 60: Tableau des mesures symétriques 65
Figure 61: Récapitulatif du test d'hypothèse de Kolmogorov Smirnov 66
Figure 62: Options du test t pour échantillon unique 67
Figure 63: Menu Analyse option Comparer les moyennes 68
Figure 64: Variables pour le Test t pour échantillon unique 68
Figure 65: Résultat du test t pour échantillon unique 69
Figure 66: Menu Analyse Comparer les moyennes 71
Figure 67: Menu Test pour échantillon unique : Options 71
Figure 68: Choix de variables 72
Figure 69: Résultat du test t pour échantillon indépendant 72
Figure 70: Vue de données sur SPSS 74
Figure 71: Choix du pourcentage de l'intervalle de confiance 74
Figure 72: Choix des variables appariées 75

Liste des figures

Figure 73: Résultat du test t pour échantillon apparié 75
Figure 74: Menu Analyse 78
Figure 75: Interface pour les tests non paramétriques 78
Figure 76: Onglet “Champs”.....79
Figure 77: Résultat du test de Kolmogorov-Smirnov 79
Figure 78: Menu Analyse 80
Figure 79 :Interface 'Explorer'.....80
Figure 80: Interface Explorer 81
Figure 81: Résultat du test 81
Figure 82: Résultat graphique Vitesse de rotation 82
Figure 83: Résultat graphique Moment de force 82
Figure 84: Interface Analyse 85
Figure 85: Interface Tests non paramétriques 85
Figure 86: Onglet “Paramètres”.....86
Figure 87: Résultat du test d'hypothèse 86
Figure 88: Interface Analyse 88
Figure 89: Interface Tests non paramétriques 88
Figure 90: Onglet “Paramètres”.....89
Figure 91: Résultat du test d'hypothèse.....89
Figure 92: Menu Analyse 96
Figure 93: Menu Variables de l’analyse factorielle 96
Figure 94: Menu Caractéristiques d’analyse factorielle 97
Figure 95: Menu extraction d’analyse factorielle 98
Figure 96: Menu scores factoriels 98
Figure 97: Menu entrée des variables 100
Figure 98: Tableau d’indice KMO 101
Figure 99: Matrice de Variance Totale expliquée 101
Figure 100: Matrice de forme 102
Figure 101: Matrice des coefficients des composantes 103
Figure 102: Matrice de corrélation des coefficients 103
Figure 103: Tracé des composantes dans l’espace après rotation 104
Figure 104: Nouvelle vu des données 104
Figure 105: Organigramme Analyse de variance selon le type de variable 106
Figure 106: Boite de menu Analyse 107
Figure 107:Tableau Test d’Homogénéité des variances 108
Figure 108: Tableau des tests de distribution normale des données 110
Figure 109 : Boite de Menu Analyse 110

Liste des figures

Figure 110: Boite de Menu de choix des variables 111
Figure 111: Table du résultat de test l'hypothèse 111
Figure 112: Choix de sélection des observations 113
Figure 113: Menu pour la sélection des conditions d'observation des variables.....113
Figure 114: Boite de Menu Analyse 113
Figure 115: Boite de Menu choix d'analyse multivariée 114
Figure 116: Menu pour choix du tracés de profil 114
Figure 117: Boite de comparaisons multiples pour les moyennes 115
Figure 118: Boite de menu pour la moyenne marginale entre facteurs 115
Figure 119:Tableau des facteurs intersujets 116
Figure 120:Tableau des comparaisons post hoc beferroni 116
Figure 121: Diagramme de distribution d'erreur 117
Figure 122: Menu Analyse 119
Figure 123: Boite de sélection des variables 119
Figure 124: La boite modèle 120
Figure 125: Boite tracés de profil 120
Figure 126: Boite de comparaisons multiples 120
Figure 127: Boite de dialogue du bouton Moyenne 121
Figure 128: Boite d'enregistrement des tableaux de prévisions et résidus 121
Figure 129: Tableau dans la fenêtre de résultats 122
Figure 130: Tableau de facteurs intersujets 122
Figure 131: Tableau des statistiques descriptives 122
Figure 132: Tableau des tests d'égalité des variances 123
Figure 133: Tableau de tests des effets intersujets 123
Figure 134: Tableaux des moyennes marginales estimées 124
Figure 135: Tableau de comparaisons multiples 124
Figure 136: Tracé des salaires mensuels 125
Figure 137: Boite de menu Analyse 127
Figure 138: Boite de choix des variables 127
Figure 139: Boite d'analyse de contrastes 128
Figure 140: La boite de modèle 128
Figure 141: Boite menu de tracés de profil 129
Figure 142: Boite de menu des Moyennes 129
Figure 143: Boite de menu Options 130
Figure 144: Boite de menu Options 130
Figure 145: Tableau des statistiques descriptives services 131

Liste des figures

Figure 146: Tableau de test d'égalité des variances 131
Figure 147: Tableau des tests des effets intersujets 131
Figure 148 : Graphique des moyennes marginales 132
Figure 149 :Tableau des tests univariés 132
Figure 150: Tableau de comparaison des salaires mensuels dans les différents ...132
Figure 151: Interface Analyse 138
Figure 152: Interface Corrélation Bivariée 138
Figure 153: Résultat du test 139
Figure 154: Interface Analyse 141
Figure 155: Interface Régression linéaire 142
Figure 156: Menu Analyse option Régression 144
Figure 157: Menu Analyse option Régression 144
Figure 158: Régression linéaire Statistiques 145
Figure 159: Régression linéaire : Tracés 146
Figure 160: Corrélation entre les variables 146
Figure 161: Récapitulatif des modèles 147
Figure 162: Tableau d'Anova 147
Figure 163: Tableau des coefficients 147
Figure 164: Histogramme de de la distribution des valeurs résiduelles 148
Figure 165: Le nuage de points des résidus en fonction des valeurs prédites 148
Figure 166: Choix de la valeur de remplacement 151
Figure 167: Choix de l'analyse sur SPSS 151
Figure 168: Boite de choix des variables 152
Figure 169: Boite de définition des variables catégorielles 152
Figure 170: Boite de types d'analyses 153
Figure 171: Autres options 153
Figure 172: Tableau des valeurs en binaire 154
Figure 173: Tableau de codage des variables 154
Figure 174: Table de classification 154
Figure 175: Table de variables de l'équation 155
Figure 176:Tableau de récapitulatif des modèles 155
Figure 177: Tableau des tests des coefficients du modèle 1 155
Figure 178: Tableau des tests des coefficients du modèle 0 157
Figure 179: Test de Homser et Lemeshow 157
Figure 180: Graphique des probabilités 158
Figure 181: Liste d'observation des valeurs résiduelles 159

Introduction générale

Le présent rapport constitue le compte rendu d'un projet de fin de semestre réalisé dans le cadre de notre cursus universitaire. Ce projet avait pour objectif d'étudier les facteurs influents dans le service de maintenance de l'entreprise Tournotech, en mettant l'accent sur deux aspects clés : les ressources humaines et les facteurs du procédé de tournage. L'analyse approfondie de ces facteurs nous a permis de mieux comprendre les dynamiques au sein du service de maintenance et d'identifier des leviers d'amélioration potentiels.

Dans ce rapport, nous présenterons tout d'abord le contexte du projet en fournissant une description détaillée de l'entreprise Tournotech et de son service de maintenance. Nous aborderons ensuite la problématique centrale de notre étude, à savoir l'identification des facteurs influents sur la performance du service de maintenance. Cette problématique nous a amenés à nous pencher sur deux aspects essentiels : les ressources humaines et les facteurs du procédé de tournage.

Nous consacrerons une section du rapport à l'analyse des ressources humaines, où nous étudierons les variables telles que la satisfaction au travail, la rémunération et les opportunités de croissance professionnelle. L'objectif de cette analyse était de comprendre les facteurs qui peuvent conduire au départ des employés du service de maintenance et d'identifier des mesures pour améliorer la rétention du personnel.

Le rapport est structuré en plusieurs chapitres. Dans le chapitre d'introduction, nous avons posé le contexte général de l'étude, en soulignant la procédure de fabrication, les caractéristiques qui y sont associées, et les paramètres qui influencent son efficacité. Nous avons également abordé la problématique spécifique liée à la maintenance et aux ressources humaines, soulignant leur importance dans le fonctionnement du service de maintenance. De plus, nous avons présenté le logiciel SPSS, qui a été utilisé pour l'analyse statistique des données collectées.

Le deuxième chapitre porte sur la gestion des variables et les statistiques descriptives. Nous y avons décrit en détail les variables utilisées dans l'étude, en expliquant comment elles ont été créées et gérées. Nous avons également présenté les différentes techniques de description des variables qualitatives et quantitatives, ainsi que les tests paramétriques et non paramétriques utilisés pour comparer les moyennes.

Introduction générale

Le troisième chapitre est consacré à l'analyse factorielle et à l'analyse de variance. Nous y avons exploré les relations entre les variables en utilisant l'analyse factorielle, ce qui nous a permis d'identifier les regroupements et les tendances dans les données. De plus, nous avons abordé l'analyse de variance pour évaluer les différences significatives entre les groupes de variables.
Le quatrième chapitre traite de la régression statistique, une technique puissante pour analyser les relations entre les variables dépendantes et indépendantes. Nous avons examiné la corrélation entre les variables, puis avons effectué des analyses de régression simple et multiple pour identifier les facteurs les plus influents sur les défaillances des équipements et les départs des employés.
En résumé, ce projet de recherche offre une analyse approfondie des facteurs influents dans le service de maintenance de l'entreprise. Les résultats obtenus à travers les différentes analyses statistiques permettent de mieux comprendre les dynamiques des défaillances des équipements et des départs des employés. Les recommandations formulées dans ce rapport visent à améliorer la performance globale du service de maintenance en optimisant la procédure de fabrication et en mettant en place des mesures de gestion des ressources humaines. Ces recommandations peuvent contribuer à réduire les défaillances des équipements, à favoriser un environnement de travail satisfaisant et à retenir les employés qualifiés.
Ce projet constitue une contribution précieuse pour l'entreprise, en fournissant des pistes d'amélioration concrètes et fondées sur des analyses statistiques rigoureuses. Il offre également une base solide pour des études futures dans le domaine de la maintenance et des ressources humaines.

Chapitre I :

Contexte général et problématique

I.1. Introduction:

L'analyse des données statistiques est aujourd'hui un outil essentiel dans de nombreux domaines, y compris celui de la maintenance des équipements industriels. Dans notre projet de fin de semestre, nous nous concentrons particulièrement sur l'analyse des données statistiques du service de maintenance au sein de notre entreprise.

Dans ce premier chapitre, nous allons établir le contexte général de notre étude et présenter la problématique que nous aborderons tout au long de ce rapport. Nous commencerons donc par vous présenter l'entreprise, puis nous donnerons une définition de la maintenance et de ses différents types. Ensuite, nous explorerons les facteurs qui influencent le processus de fabrication ainsi que les ressources humaines dans notre service de maintenance. Nous vous présenterons également le logiciel SPSS, que nous utiliserons pour effectuer une analyse approfondie des données statistiques collectées. Enfin, nous conclurons ce chapitre en soulignant l'importance de cette étude et en vous donnant un aperçu des prochains chapitres.

Ce chapitre nous permettra de comprendre le cadre de notre étude et d'identifier les principaux éléments qui seront analysés. En comprenant les facteurs qui influencent à la fois le processus de fabrication et les ressources humaines dans notre service de maintenance, nous serons en mesure d'établir des liens significatifs entre ces variables et de déterminer les meilleures pratiques pour optimiser l'efficacité du service de maintenance.

Notre objectif final est d'utiliser les données statistiques collectées pour identifier les facteurs clés qui ont un impact significatif sur la performance du service de maintenance. En comprenant ces facteurs, nous serons en mesure de formuler des recommandations spécifiques visant à améliorer l'efficacité de notre service de maintenance, à réduire les temps d'arrêt des équipements et à optimiser l'utilisation des ressources disponibles.

I.2. Présentation de l'entreprise ”Tournotech”:

Tournotech est une entreprise fictive spécialisée dans le domaine du tournage industriel. Forte de plusieurs décennies d'expérience, elle s'est positionnée comme un acteur majeur dans le secteur de la fabrication de pièces et de composants de précision.

Produits :

Tournotech se concentre sur la production de pièces tournées de haute qualité. Grâce à l'utilisation de machines de pointe et à l'expertise de son équipe, l'entreprise fabrique des composants de précision utilisés dans diverses industries telles que l'automobile, l'aérospatiale, l'électronique et bien d'autres. Les pièces produites par Tournotech sont connues pour leur fiabilité, leur précision dimensionnelle et leur durabilité, répondant ainsi aux normes et aux exigences les plus strictes du marché.

Services:

Outre la fabrication de pièces tournées, Tournotech propose une gamme complète de services pour répondre aux besoins de ses clients. Ces services comprennent :

1. **Conception et ingénierie:** L'équipe d'ingénieurs hautement qualifiés de Tournotech collabore étroitement avec les clients pour concevoir des pièces sur mesure qui répondent à leurs spécifications et exigences spécifiques. Ils utilisent des logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) pour créer des modèles 3D précis et optimiser la conception des pièces.
2. **Prototypage rapide:** Tournotech offre des services de prototypage rapide pour permettre aux clients d'évaluer rapidement leurs conceptions avant la production en série. Grâce à des techniques avancées de fabrication additive et soustractive, ils peuvent produire des prototypes fonctionnels avec une grande précision et dans des délais rapides.
3. **Fabrication en série:** Tournotech possède une capacité de production élevée pour répondre aux demandes de fabrication en série. Grâce à l'automatisation et à des procédés de production optimisés, ils garantissent une fabrication efficace et une qualité constante des pièces produites.
4. **Contrôle qualité:** Tournotech accorde une grande importance au contrôle qualité pour assurer la conformité des pièces fabriquées. Ils utilisent des équipements de mesure de pointe et des procédures de contrôle rigoureuses pour garantir la précision dimensionnelle et la conformité aux spécifications.
5. **Service après-vente:** Tournotech propose également un service après-vente réactif et attentif. Leur équipe technique est disponible pour répondre aux questions des clients, résoudre les problèmes éventuels et assurer une satisfaction totale.

Tournotech s'engage à fournir des produits de qualité supérieure, des services fiables et une expertise technique de premier ordre à ses clients. Grâce à son savoir-faire et à sa volonté constante d'innover, l'entreprise s'est forgée une solide réputation dans l'industrie du tournage.

Application de la méthode QQOQCP:

Cette partie permettra d'introduire la section dédiée à l'application de la méthode QQOQCP (Qui, Quoi, Où, Quand, Comment, Pourquoi) dans le contexte spécifique de la maintenance au sein de l'entreprise Tournotech. Il mettra en évidence l'importance de cette méthode d'analyse pour comprendre en détail les aspects clés de la maintenance, tels que les acteurs impliqués, les tâches effectuées, les lieux où se déroulent les opérations de maintenance et les calendriers.

Qui?

- Qui sont les acteurs impliqués dans le service de maintenance de l'entreprise Tournotech ?

- Quels sont leurs rôles et leurs responsabilités spécifiques au sein du service de maintenance ?

Les acteurs impliqués dans le service de maintenance de Tournotech sont les techniciens de maintenance, les ingénieurs de maintenance, les responsables de la planification des interventions et les superviseurs du service de maintenance. Ils travaillent en étroite collaboration pour assurer le bon fonctionnement des équipements et la réalisation des tâches de maintenance.

Quoi?

- Quelles sont les principales tâches et activités du service de maintenance de Tournotech ?

- Quelles sont les opérations de maintenance préventive, corrective ou prédictive effectuées sur les équipements de l'entreprise ?

Les principales tâches du service de maintenance de Tournotech comprennent la maintenance préventive, qui consiste à effectuer des inspections régulières, des nettoyages et des réglages préventifs sur les machines pour éviter les pannes.
La maintenance corrective est également effectuée en cas de panne ou de dysfonctionnement des équipements. Cela implique la réparation ou le remplacement des pièces défectueuses pour rétablir le bon fonctionnement.
Enfin, la maintenance prédictive est utilisée pour anticiper les pannes potentielles en analysant les données collectées sur les performances des machines, ce qui permet de planifier les interventions de maintenance de manière plus efficace.

Où ?

- Où se déroulent les opérations de maintenance ?

Les opérations de maintenance se déroulent principalement dans les ateliers de maintenance spécialement équipés au sein des installations de Tournotech. Ces ateliers sont équipés d'outils et d'équipements spécialisés nécessaires pour réaliser les tâches de maintenance.

Quand?

- À quelle fréquence sont planifiées les activités de maintenance ?

La maintenance préventive est planifiée régulièrement en fonction des recommandations des fabricants et des cycles de production. Des calendriers de maintenance préventive sont établis pour chaque équipement, et les techniciens de maintenance suivent ces plannings pour effectuer les inspections et les entretiens nécessaires.

La maintenance corrective est effectuée immédiatement lorsque des pannes ou des dysfonctionnements sont signalés par les opérateurs ou détectés par les systèmes de surveillance.

La maintenance prédictive est réalisée périodiquement en analysant les données de performance des machines et en planifiant les interventions en fonction des indicateurs de dégradation potentielle.

Comment ?

- Quels sont les processus et les méthodologies utilisés par le service de maintenance de Tournotech pour effectuer les différentes tâches de maintenance ?

- Quels outils, équipements ou logiciels sont utilisés pour soutenir les opérations de maintenance ?

Les techniciens de maintenance utilisent des compétences techniques spécialisées pour effectuer les différentes tâches de maintenance. Ils utilisent également des outils et des équipements tels que des instruments de mesure, des clés de serrage, des logiciels de diagnostic, etc.
Des procédures de maintenance standardisées sont suivies pour garantir la cohérence et la qualité des opérations de maintenance.

Pourquoi ?

- Quels sont les avantages et les impacts positifs attendus en termes de disponibilité des équipements, de performances de production et de satisfaction des clients ?

-Quels sont les facteurs qui influencent le taux de départ dans le service de maintenance et quels en sont les impacts sur l'efficacité et la continuité des opérations de maintenance ?

Les activités de maintenance sont essentielles pour assurer le bon fonctionnement des équipements de Tournotech, minimiser les temps d'arrêt non planifiés et maintenir la qualité des produits fabriqués.
L'objectif principal est d'optimiser la disponibilité des machines, de prévenir les pannes, d'améliorer l'efficacité de la production et de répondre aux exigences des clients en termes de délais et de qualité.

Les facteurs qui influencent le taux de départ dans le service de maintenance peuvent inclure les conditions de travail, la rémunération et les avantages, les perspectives de carrière et l'environnement de travail. Ces départs peuvent entraîner une perte de connaissances, des besoins de formation supplémentaires, des perturbations dans la planification des tâches et une diminution de l'efficacité de l'équipe de maintenance.

Les service de maintenance:

Les services de maintenance de l'entreprise Tournotech se divisent en trois secteurs clés : le service méthode, le service ordonnancement et le service technique. Chacun de ces services joue un rôle essentiel dans le maintien de la performance opérationnelle et de la fiabilité des équipements de l'entreprise. Voici une description de chaque service :

Service Méthode : Le service méthode de Tournotech est chargé de développer et d'optimiser les procédures de maintenance. Il s'agit d'une équipe d'experts qui se concentre sur la planification, la conception et l'amélioration des méthodes utilisées pour effectuer la maintenance des équipements. Ils évaluent les pratiques existantes, identifient les possibilités d'optimisation et proposent des solutions efficaces pour améliorer la productivité, réduire les temps d'arrêt et assurer une maintenance de qualité.

Le service méthode est responsable de l'élaboration de guides de maintenance détaillés, de l'identification des pièces de rechange nécessaires, de l'établissement des calendriers de maintenance préventive et de l'analyse des données historiques pour identifier les tendances et les problèmes récurrents. Ils travaillent en étroite collaboration avec le service technique pour mettre en œuvre les meilleures pratiques de maintenance et garantir des opérations fluides.

Service Ordonnancement : Le service ordonnancement est responsable de la planification et de l'organisation des activités de maintenance. Leur rôle principal est d'assurer une coordination efficace entre les différentes équipes de maintenance, les départements concernés et les fournisseurs externes, le cas échéant. Ils s'assurent que les ressources nécessaires, telles que les techniciens, les équipements et les pièces de rechange, sont disponibles aux moments appropriés.

Le service ordonnancement établit des plannings de maintenance préventive et curative, en tenant compte des priorités, des contraintes de production et des délais. Ils veillent également à ce que les interventions de maintenance soient effectuées de manière efficiente, minimisant ainsi les interruptions de production et maximisant l'utilisation des ressources disponibles.

Service Technique : Le service technique de Tournotech est composé d'une équipe qualifiée de techniciens spécialisés dans la maintenance des équipements. Ils sont responsables de l'exécution des tâches de maintenance préventive et curative, du diagnostic des pannes, de la réparation des équipements défaillants et de la réalisation des inspections régulières pour assurer le bon fonctionnement des machines.

Les techniciens du service technique utilisent leur expertise technique et leur connaissance approfondie des équipements pour résoudre les problèmes et assurer une réparation précise et rapide. Ils travaillent en étroite collaboration avec le service méthode pour suivre les procédures de maintenance établies, mettre en œuvre les améliorations recommandées et partager leurs observations pour une optimisation continue des opérations de maintenance.

I.3 Maintenance: Définition et type

I.3.1. Définition

La maintenance regroupe toutes les actions entreprises pour garantir le bon fonctionnement, la disponibilité et la fiabilité des équipements et des systèmes de production. Elle englobe différentes activités, telles que la prévention, la correction, la prédiction et les interventions conditionnelles, qui ont pour but de prévenir les pannes, de réduire les temps d'arrêt imprévus, d'optimiser les performances des équipements et de prolonger leur durée de vie. L'objectif principal de la maintenance est de maintenir la continuité des opérations, de garantir la sécurité des opérateurs et de préserver la qualité des produits finis.

I.3.2. Objectif

Les objectifs de la maintenance industrielle sont multiples et essentiels pour assurer le bon fonctionnement et la performance des équipements dans un environnement industriel. Voici quelques-uns des principaux objectifs de la maintenance :

Prévention des pannes : L'un des objectifs principaux de la maintenance est de prévenir les pannes et les défaillances des équipements. Cela est réalisé grâce à des activités de maintenance préventive qui incluent l'inspection, la lubrification, le nettoyage, le remplacement des pièces usées, etc. En anticipant les problèmes potentiels, on évite les temps d'arrêt non planifiés et les perturbations de la production.

Optimisation des performances : La maintenance vise à optimiser les performances des équipements en assurant leur bon fonctionnement et leur efficacité. Cela peut inclure des ajustements, des réglages, des calibrations et d'autres actions visant à améliorer les performances et à maximiser la productivité des équipements.

Prolongation de la durée de vie des équipements : La maintenance contribue à prolonger la durée de vie des équipements en les entretenant régulièrement et en évitant les défaillances prématurées. Cela permet de maximiser le retour sur investissement des équipements et de réduire les coûts liés à leur remplacement fréquent.

Sécurité des opérateurs : La maintenance joue un rôle crucial dans la sécurité des opérateurs. En maintenant les équipements en bon état de fonctionnement, on réduit les risques d'accidents liés à des défaillances techniques. De plus, certaines activités de maintenance, telles que l'inspection et la vérification des dispositifs de sécurité, contribuent à garantir un environnement de travail sûr pour les opérateurs.

Qualité des produits : La maintenance contribue également à préserver la qualité des produits finis. En assurant le bon fonctionnement des équipements, on évite les problèmes de qualité liés à des défaillances techniques. Cela permet de maintenir la satisfaction des clients et la réputation de l'entreprise.

I.3.3. Importance

La maintenance revêt une importance capitale dans un environnement industriel pour plusieurs raisons :

Minimisation des coûts : Une maintenance efficace permet de minimiser les coûts liés aux pannes, aux temps d'arrêt imprévus et aux réparations d'urgence. En prévenant les pannes et en effectuant des activités de maintenance régulières, on évite les pertes de production et les coûts élevés associés à la réparation d'équipements défectueux.

Amélioration de la productivité : Une maintenance adéquate permet d'améliorer la productivité globale de l'entreprise en assurant la disponibilité et la fiabilité des équipements. Des équipements bien entretenus fonctionnent de manière plus efficace, réduisant ainsi les temps d'arrêt et augmentant la capacité de production.

Sécurité des opérateurs : La maintenance contribue à assurer un environnement de travail sûr pour les opérateurs. En veillant à ce que les équipements soient en bon état de fonctionnement et en effectuant des inspections régulières, on réduit les risques d'accidents et de blessures.

Préservation de la réputation de l'entreprise : Une maintenance appropriée permet de préserver la réputation de l'entreprise en assurant la qualité des produits finis. Des équipements en bon état de fonctionnement garantissent la conformité aux normes de qualité et la satisfaction des clients.

Optimisation des ressources : En planifiant et en exécutant des activités de maintenance de manière proactive, on optimise l'utilisation des ressources disponibles. Une maintenance bien gérée permet d'identifier les besoins en pièces de rechange, en main-d'œuvre et en outils, contribuant ainsi à une utilisation plus efficace des ressources.

I.3.4. La maintenance préventive

La maintenance préventive est une approche proactive visant à prévenir les pannes et à maintenir les équipements en bon état de fonctionnement. Elle implique la planification et la réalisation régulières d'actions de maintenance, telles que l'inspection, la lubrification, le remplacement des pièces usées, le nettoyage et les réglages.

L'objectif principal de la maintenance préventive est de minimiser les risques de défaillance des équipements, ce qui permet de réduire les temps d'arrêt non planifiés et d'améliorer la disponibilité des machines. En effectuant des interventions régulières, les problèmes potentiels peuvent être détectés et corrigés avant qu'ils ne deviennent des pannes majeures, ce qui contribue à optimiser la performance et la productivité de l'entreprise.

La maintenance préventive présente plusieurs avantages. Tout d'abord, elle permet d'économiser du temps et des coûts en évitant les arrêts de production prolongés et les réparations d'urgence. De plus, elle contribue à prolonger la durée de vie des équipements en les maintenant dans un état optimal. Cela réduit les besoins de remplacement prématuré et les investissements en capital.

En termes d'impact sur l'efficacité et la continuité des opérations de maintenance, la mise en place d'un programme de maintenance préventive bien conçu permet d'améliorer la planification et la gestion des ressources. Les interventions peuvent être programmées à des moments opportuns, évitant ainsi les perturbations majeures dans la production. De plus, la maintenance préventive favorise une culture de prévention et de responsabilisation au sein de l'équipe de maintenance, ce qui contribue à une meilleure gestion des risques et à une augmentation de la confiance dans les équipements.

I.3.5. La maintenance corrective

La maintenance corrective est une forme de maintenance réactive qui se concentre sur la réparation des équipements lorsqu'ils tombent en panne ou rencontrent des dysfonctionnements. Contrairement à la maintenance préventive, qui est planifiée à l'avance, la maintenance corrective intervient après la détection d'une défaillance.

L'objectif principal de la maintenance corrective est de rétablir le fonctionnement normal des équipements le plus rapidement possible afin de minimiser les temps d'arrêt imprévus. Lorsqu'une panne se produit, l'équipe de maintenance intervient rapidement pour diagnostiquer le problème, effectuer les réparations nécessaires et remettre les équipements en service.

La maintenance corrective peut avoir des impacts sur l'efficacité et la continuité des opérations de maintenance. Lorsqu'une panne survient, cela peut entraîner une interruption de la production, des retards dans les livraisons et une baisse de la satisfaction des clients. De plus, la maintenance corrective peut entraîner des coûts plus élevés, car les réparations urgentes peuvent nécessiter l'utilisation de pièces de rechange coûteuses ou l'intervention de techniciens externes.

Il est important de ne pas considérer la maintenance corrective comme la seule approche de maintenance, car elle peut être coûteuse et perturber les opérations. Cependant, elle reste nécessaire pour faire face aux pannes imprévues et aux situations d'urgence.
.

Pour optimiser l'efficacité de la maintenance corrective, il est essentiel de mettre en place des processus de détection rapide des pannes, d'avoir des stocks adéquats de pièces de rechange et de disposer d'une équipe de maintenance réactive et compétente. De plus, il est recommandé d'analyser les pannes récurrentes afin d'identifier les causes profondes et de mettre en œuvre des actions correctives pour prévenir de futures défaillances similaires.

I.3.6. La maintenance prédictive

La maintenance prédictive est une approche proactive de la maintenance qui utilise des données et des techniques d'analyse pour anticiper les pannes et les défaillances potentielles des équipements. Contrairement à la maintenance corrective, qui intervient après une panne, la maintenance prédictive vise à prévoir les problèmes et à planifier les interventions de maintenance de manière préventive.

L'objectif principal de la maintenance prédictive est de maximiser la disponibilité des équipements en réduisant les temps d'arrêt imprévus. Elle consiste à surveiller en continu les performances et les paramètres des équipements pour détecter les signes avant-coureurs de défaillance. Grâce à l'analyse des données collectées, il devient possible de prévoir les pannes imminentes, de planifier les réparations et de remplacer les pièces défectueuses avant qu'elles ne provoquent une panne majeure.

La maintenance prédictive présente de nombreux avantages. Elle permet d'optimiser la planification des activités de maintenance, d'éviter les interruptions de production coûteuses et de prolonger la durée de vie des équipements. En détectant les défaillances à un stade précoce, elle contribue également à réduire les coûts de réparation et à minimiser les risques pour la sécurité des travailleurs.

La mise en place d'une stratégie de maintenance prédictive nécessite de collecter et d'analyser des données pertinentes sur les performances des équipements. Cela peut inclure des mesures de vibrations, de température, de pression, de courant électrique, et bien d'autres. Des techniques d'analyse avancées, telles que l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle, sont souvent utilisées pour détecter les anomalies et prédire les défaillances.

L'adoption de la maintenance prédictive requiert également une culture d'entreprise axée sur la prévention et une collaboration étroite entre les équipes de maintenance, les opérations et les services informatiques. Il est essentiel de mettre en place des systèmes de surveillance et des processus de suivi rigoureux pour garantir la fiabilité des données collectées et assurer une réponse adéquate aux alertes générées par le système de maintenance prédictive.

La maintenance préventive repose sur une approche planifiée et systématique, tandis que la maintenance prédictive est plus axée sur la surveillance continue et la détection précoce des défaillances.

I.3.7. La maintenance conditionnelle

La maintenance conditionnelle est une approche de maintenance qui se base sur l'état réel des équipements pour déterminer le moment et le type d'intervention nécessaire. Contrairement à la maintenance préventive qui se base sur des intervalles de temps prédéfinis, la maintenance conditionnelle se concentre sur les indicateurs de l'état de l'équipement tels que les vibrations, la température, la pression, etc.

L'objectif de la maintenance conditionnelle est de maximiser l'utilisation des équipements en intervenant uniquement lorsque cela est nécessaire. Plutôt que de suivre un calendrier fixe pour les activités de maintenance, on surveille les équipements en temps réel ou à intervalles réguliers et on effectue des interventions uniquement lorsque les indicateurs dépassent certains seuils prédéfinis. Cette approche permet de réduire les coûts de maintenance en évitant les interventions inutiles et en ciblant les actions sur les équipements présentant un risque élevé de défaillance.

La maintenance conditionnelle utilise des techniques de surveillance avancées telles que la surveillance des vibrations, l'analyse d'huile, la thermographie, etc. Ces techniques permettent de détecter les signes avant-coureurs de défaillance et d'anticiper les problèmes potentiels. En intervenant de manière ciblée en fonction de l'état réel des équipements, la maintenance conditionnelle contribue à réduire les temps d'arrêt imprévus, à prolonger la durée de vie des équipements et à optimiser les coûts de maintenance.

I.3.8. Choix du type de maintenance

Le choix du type de maintenance à appliquer dépend des besoins spécifiques de l'entreprise, des équipements utilisés et des objectifs visés. Chaque type de maintenance présente des avantages et des limitations, et il est important de prendre en compte plusieurs facteurs lors de la décision du type de maintenance à adopter. Voici quelques considérations importantes pour le choix du type de maintenance :

Criticité des équipements : Les équipements critiques nécessitent souvent une maintenance préventive régulière pour éviter les défaillances majeures. Dans ce cas, la maintenance préventive est généralement privilégiée pour minimiser les risques de pannes.

Historique des défaillances : Si les équipements ont un historique de défaillances fréquentes et coûteuses, la maintenance corrective peut être privilégiée pour intervenir rapidement et résoudre les problèmes spécifiques.

Capacités de surveillance et de diagnostic : Si l'entreprise dispose de systèmes de surveillance avancés et de capacités de diagnostic, la maintenance prédictive peut être mise en place pour détecter les signes avant-coureurs de défaillance et prendre des mesures préventives avant que les problèmes ne surviennent.

Disponibilité des ressources : Le choix du type de maintenance peut également dépendre des ressources disponibles, notamment en termes de main-d'œuvre qualifiée, d'outils de diagnostic et de systèmes de suivi. Certains types de maintenance peuvent nécessiter des ressources plus importantes que d'autres.

Coûts associés : Il est important de considérer les coûts associés à chaque type de maintenance, y compris les coûts de main-d'œuvre, les coûts des pièces de rechange et les coûts d'arrêt de production. Une évaluation approfondie des coûts et des avantages peut aider à déterminer le type de maintenance le plus rentable.

I.4. Facteurs influenents dans le processus de fabrication.

I.4.1. Procédé d’usinage: Tournage

Le procédé de tournage utilisé par Tournotech est un processus essentiel pour la fabrication de ses pièces de haute qualité. Il s'agit d'une technique d'usinage qui consiste à faire tourner une pièce de matériau brut sur un tour à commande numérique (CNC) ou une machine-outil spéciale. Le tourneur de Tournotech utilise des outils de coupe précis pour enlever progressivement des copeaux de matériau, donnant ainsi à la pièce la forme et les dimensions souhaitées. Ce processus permet de créer des surfaces extérieures et intérieures complexes, des filetages, des rainures et d'autres caractéristiques géométriques précises. L'utilisation de machines de pointe et de techniques avancées garantit une grande précision dimensionnelle et une excellente finition de surface pour les pièces produites par Tournotech. Les opérateurs qualifiés surveillent attentivement le processus de tournage pour assurer la conformité aux spécifications requises et garantir la qualité supérieure des pièces finales.

Figure 1:Tour à assistance numérique "par apprentissage" LT

Le procédé de tournage utilisé par Tournotech repose sur l'utilisation de machines de pointe et de techniques avancées pour produire des pièces tournées de haute qualité. Tout d'abord, le matériau brut est fixé sur le mandrin du tour à commande numérique (CNC) de manière sécurisée et stable. Le CNC permet un contrôle précis des mouvements de coupe et des paramètres de l'outil, assurant ainsi une exécution précise et reproductible du processus.
Une fois la pièce fixée, les outils de coupe appropriés sont sélectionnés en fonction des spécifications de la pièce. Ces outils peuvent inclure des porte-outils, des plaquettes de coupe, des forets et des alésoirs, entre autres. Les outils de coupe sont fixés sur la tourelle de la machine, qui peut être équipée de multiples positions d'outils pour effectuer différentes opérations sans avoir à changer d'outil.

Mode de travail :

Les tours d'usinage type LT sont des tours à banc plat, performants et simples d'emploi. Ils sont adaptés à la production de pièces unitaires et de petites séries. Idéaux pour pièce simple à complexe, grâce à la souplesse des contrôles numériques
COMMANDE NUMERIQUE SIEMENS 808 D avec Manual Machine PlusSimple d'emploi, la CN du tour d'usinage LT est également puissante, générant une vitesse de traitement des blocs de données très rapide. La vitesse de coupe constante permet de meilleurs états de surface et prolonge la durée de vie des outils. Elle permet plusieurs types de programmation, y compris par apprentissage.

Figure 2: Rotation de la Tour conventionelle

Le processus de tournage proprement dit commence alors. L'outil de coupe avance progressivement vers la pièce, en enlevant des copeaux de matériau pour façonner la surface externe ou interne de la pièce. La vitesse de rotation de la pièce et la vitesse d'avance de l'outil sont soigneusement contrôlées pour garantir une coupe efficace et précise. Les paramètres de coupe, tels que la profondeur de coupe et l'avance, peuvent être ajustés pour optimiser la productivité et la qualité.
Pendant le processus de tournage, des techniques telles que le dressage, le tronçonnage, le filetage, le perçage et le taraudage peuvent être utilisées pour créer les caractéristiques géométriques requises dans la pièce. Des systèmes de refroidissement peuvent être utilisés pour contrôler la température et éviter toute surchauffe de la pièce ou de l'outil.
Les opérateurs de Tournotech, ayant une expertise approfondie dans le domaine du tournage, surveillent attentivement le processus en utilisant des instruments de mesure précis tels que des micromètres, des comparateurs et des jauges. Ils effectuent des vérifications régulières pour s'assurer que les dimensions et les tolérances sont conformes aux spécifications requises.

Une fois le processus de tournage terminé, les pièces sont généralement soumises à des opérations supplémentaires telles que le polissage, le traitement thermique, le revêtement ou l'assemblage, en fonction des exigences du projet.
Grâce à l'utilisation de machines de pointe, à l'expertise des opérateurs et à une gestion rigoureuse de la qualité, Tournotech est en mesure de produire des pièces tournées de haute précision, répondant aux normes et aux exigences les plus strictes du marché.

Les outils de Tournage :

Dans le processus de tournage, Tournotech utilise plusieurs outils pour façonner les pièces et obtenir les formes et les dimensions souhaitées.

-> Outils de coupe à plaquettes : Ce sont des outils dotés de plaquettes amovibles en carbure ou en céramique fixées sur un porte-outil. Les plaquettes sont spécialement conçues pour des opérations de coupe spécifiques, telles que le dressage, le tronçonnage, le filetage, le perçage, etc. Les porte-outils permettent un positionnement précis de l'outil et peuvent être ajustés selon les besoins.

Figure 3: Outils de coupage

-> Forets et alésoirs : Ces outils sont utilisés pour percer des trous de différentes tailles dans les pièces. Les forets sont utilisés pour créer des trous initiaux, tandis que les alésoirs sont utilisés pour ajuster et affiner les dimensions des trous.

Figure 4: Forets et alésoirs

-> Outils de filetage : Ces outils sont utilisés pour créer des filetages internes ou externes sur les pièces. Les filets peuvent être réalisés à l'aide d'outils de filetage manuels ou de tarauds, ou par des opérations de filetage automatiques effectuées sur des tours à commande numérique (CNC).

Figure 5: Outils de filetage

-> Outils de tronçonnage :Ces outils permettent de couper les pièces en sections de la longueur souhaitée. Ils sont souvent utilisés pour séparer les pièces finies du matériau brut ou pour effectuer des coupes internes.

Figure 6: Outils de tronçonnage

-> Outils de dressage: Ces outils sont utilisés pour enlever les excès de matière et obtenir une surface plane sur la pièce. Ils peuvent être utilisés pour créer des surfaces d'appui, des épaulements et des surfaces de référence précises.

Figure 7 : Outil de dressage

-> Outils de rainurage :Ces outils permettent de créer des rainures, des gorges ou des cannelures sur les pièces. Ils sont utilisés pour ajouter des caractéristiques de forme spécifiques ou pour faciliter l'assemblage avec d'autres composants.

Figure 8 : Outils de rainurage

I.4.2. Les défaillances face au procédé de tournage:

Chez Tournotech, nous nous efforçons de fournir des produits de la plus haute qualité, mais comme dans tout processus de fabrication, il peut y avoir des défaillances techniques qui se produisent avec nos machines de tournage. Ces défaillances peuvent entraîner des problèmes de performance, des temps d'arrêt non planifiés et une diminution de la productivité. Cependant, notre équipe expérimentée et nos procédures de maintenance préventive nous permettent de minimiser ces défaillances et de réagir rapidement pour résoudre les problèmes qui surviennent. Grâce à notre engagement envers l'excellence opérationnelle et à notre approche proactive, nous travaillons constamment à améliorer nos processus et à anticiper les défaillances potentielles, afin de maintenir une production efficace et de livrer des produits de qualité supérieure à nos clients.

Problèmes d'alignement : Un mauvais alignement de la broche, du chariot, de la tourelle ou d'autres composants peut entraîner des erreurs dimensionnelles, des vibrations excessives ou des défauts de surface. Des défaillances de l'alignement peuvent survenir en raison de l'usure, des chocs ou des réglages incorrects.

Figure 9: Illustration de mauvais alignement

Défaillance des commandes numériques : Les commandes numériques qui contrôlent les mouvements de la machine peuvent rencontrer des problèmes techniques tels que des erreurs de programmation, des pannes de capteurs, des erreurs de rétroaction ou des dysfonctionnements des cartes électroniques. Ces défaillances peuvent entraîner des mouvements incorrects de l'outil de coupe ou des erreurs de positionnement.

Figure 10: Opérateur qui exécute une commande nulérique

Pannes mécaniques: Les machines de tournage comprennent de nombreux composants mécaniques tels que les roulements, les vis à billes, les pignons et les engrenages. Des défaillances mécaniques peuvent survenir en raison de l'usure, de la fatigue des matériaux, de la corrosion ou de la surcharge. Cela peut entraîner des mouvements irréguliers, des vibrations excessives ou des pannes complètes de la machine.

Figure 11 : Une panne mécanique tournage

Usure des outils de coupe : Les outils de coupe utilisés dans le tournage s'usent avec le temps et nécessitent un affûtage régulier ou un remplacement. Une usure excessive des outils de coupe peut entraîner des problèmes de qualité de coupe, des défauts de surface et des erreurs dimensionnelles.

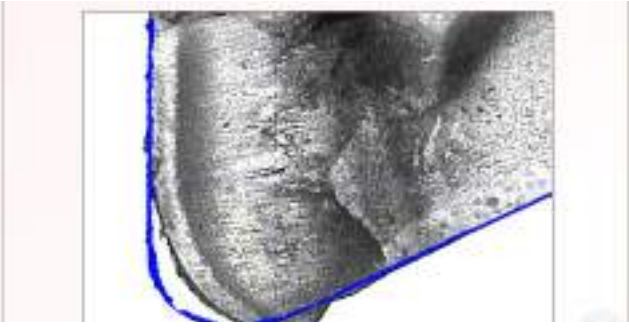


Figure 12: Figuration d'une usure d'outil

I.4.3. Etude des facteurs influants

Concernant la machine de tournage chez Tournotec, il existe plusieurs facteurs qui peuvent influencer les défaillances et la non-qualité des pièces produites. Comprendre ces facteurs est essentiel pour garantir des opérations de production fluides et maintenir la satisfaction de nos clients. Voici quelques-uns des principaux facteurs qui peuvent avoir un impact :

->Vitesse de rotation : La vitesse de rotation de la broche de la machine de tournage peut avoir un impact sur la qualité de la coupe. Une vitesse de rotation appropriée doit être sélectionnée en fonction du matériau à usiner, de la taille de l'outil de coupe et de la profondeur de coupe. Une vitesse trop élevée peut entraîner une surchauffe, une usure prématurée des outils ou une qualité de surface médiocre, tandis qu'une vitesse trop basse peut causer des vibrations excessives ou une mauvaise évacuation des copeaux.

->Force de rotation : La force de rotation, également appelée couple, désigne la puissance nécessaire pour faire tourner la broche. Une force de rotation adéquate est essentielle pour assurer une coupe efficace et stable. Un couple insuffisant peut entraîner des problèmes d'éjection des copeaux, une qualité de coupe médiocre ou des vibrations excessives. En revanche, un couple excessif peut surcharger la machine et entraîner des dommages aux composants.

->Température : Les machines de tournage génèrent de la chaleur pendant le processus d'usinage. Il est important de contrôler la température pour éviter une surchauffe qui pourrait affecter la précision des opérations de coupe, endommager les outils ou entraîner une détérioration de la qualité des pièces. Des systèmes de refroidissement efficaces, tels que les liquides de coupe, les systèmes de refroidissement par air ou par liquide, sont utilisés pour maintenir des températures optimales.

->Lubrification : La lubrification adéquate des outils de coupe et des surfaces de contact est essentielle pour réduire les frottements, prévenir l'usure prématurée des outils et améliorer la qualité de la coupe. Les lubrifiants, tels que les huiles de coupe ou les lubrifiants solides, sont utilisés pour minimiser les frictions et les échauffements.

->Contrôle de la pression d'usinage : La pression d'usinage, qui fait référence à la force appliquée pendant la coupe, doit être contrôlée pour éviter une déformation excessive du matériau, des vibrations indésirables ou une qualité de surface médiocre. Un contrôle précis de la pression d'usinage est réalisé à l'aide de systèmes de commande hydrauliques ou pneumatiques.

Les facteurs influants dans notre cas d'érude :

Après une étude réalisée pour détecter et surveiller les facteurs techniques mentionnés précédemment, divers outils et équipements sont utilisés dans l'industrie du tournage. afin de détéecter ceux qui sont les plus influents :

->Capteurs de température : Les capteurs de température sont utilisés pour mesurer la température de la machine de tournage, des outils de coupe, des pièces en cours d'usinage et d'autres composants. Ils peuvent être fixés à des emplacements stratégiques pour surveiller les variations de température et détecter les surchauffes potentielles.

Figure 13 : Des capteurs de température

->Capteurs de vibration : Les capteurs de vibration sont utilisés pour mesurer les vibrations générées par la machine de tournage. Ils permettent de détecter les niveaux de vibration anormaux, qui peuvent indiquer des problèmes tels que des déséquilibres, des défauts de montage ou des erreurs d'usinage. Ces capteurs aident à prévenir les dommages aux composants et à maintenir des opérations de coupe précises.

Figure 14 : Des capteurs de vibration

Les facteurs influants dans notre cas d'érude :

Après une étude réalisée pour détecter et surveiller les facteurs techniques mentionnés précédemment, divers outils et équipements sont utilisés dans l'industrie du tournage. afin de détéecter ceux qui sont les plus influents :

->Capteurs de température : Les capteurs de température sont utilisés pour mesurer la température de la machine de tournage, des outils de coupe, des pièces en cours d'usinage et d'autres composants. Ils peuvent être fixés à des emplacements stratégiques pour surveiller les variations de température et détecter les surchauffes potentielles.

->Capteurs de vibration : Les capteurs de vibration sont utilisés pour mesurer les vibrations générées par la machine de tournage. Ils permettent de détecter les niveaux de vibration anormaux, qui peuvent indiquer des problèmes tels que des déséquilibres, des défauts de montage ou des erreurs d'usinage. Ces capteurs aident à prévenir les dommages aux composants et à maintenir des opérations de coupe précises.

Systèmes de surveillance de l'état : Les systèmes de surveillance de l'état sont utilisés pour collecter et analyser des données sur les performances des machines de tournage. Ils peuvent surveiller des paramètres tels que la vitesse de rotation, la force de rotation, la température, la pression d'usinage et d'autres variables critiques. Ces systèmes fournissent des informations en temps réel sur l'état de la machine, permettant ainsi de détecter les anomalies et les défaillances potentielles.

Figure 15: Système de surveillance

Instruments de mesure dimensionnelle : Les instruments de mesure dimensionnelle, tels que les micromètres, les calibres, les comparateurs et les machines de mesure tridimensionnelle (CMM), sont utilisés pour vérifier les dimensions des pièces usinées. Ils permettent de mesurer avec précision les diamètres, les longueurs, les profondeurs et d'autres caractéristiques pour s'assurer de la conformité aux spécifications.

Figure 16: Instrument de mesure

Systèmes de surveillance des commandes numériques : Les machines de tournage à commande numérique sont équipées de systèmes de surveillance qui enregistrent et analysent les données de fonctionnement des commandes numériques. Ils permettent de détecter les erreurs de programmation, les variations de vitesse, les dysfonctionnements des capteurs et d'autres problèmes liés au contrôle des mouvements de l'outil de coupe.

Figure 17: Système de survaillance numérique

Conclusion :

Après l'étude faite en utilisant les outils précédents on a pu constater qu'il ya des facteurs plus efficaces pour analyser les cause des défaillances et le type de la qualité de nos produits en dépit de ces facteurs .

Après plusieurs procédures de mesurage on a pu collecter des données afin de réaliser et analyser léeffet de ces facteurs. Ces données sont collectées par le technicien de surveillance des processus et ordonnacer dans un fichier Excel approprié formant une base de 5000 échatillons.

UDI	Id du Produit	Qualité du produit	Temperature de l'air [K]	Temperature du Processe	Vitesse de rotation [rpm]	Moment de force [Nm]	Usure de l'outil [min]	Panne	Type de panne
1	M14860	M	298.1	308.6	1551	42.8	0	0	Pas de panne
2	L47181	L	298.2	308.7	1408	46.3	3	0	Pas de panne
3	L47182	L	298.1	308.5	1498	49.4	5	0	Pas de panne
4	L47183	L	298.2	308.6	1433	39.5	7	0	Pas de panne
5	L47184	L	298.2	308.7	1408	40	9	0	Pas de panne
6	M14865	M	298.1	308.6	1425	41.9	11	0	Pas de panne
7	L47186	L	298.1	308.6	1558	42.4	14	0	Pas de panne
8	L47187	L	298.1	308.6	1527	40.2	16	0	Pas de panne
9	M14868	M	298.3	308.7	1667	28.6	18	0	Pas de panne
10	M14869	M	298.5	309	1741	28	21	0	Pas de panne
11	H29424	H	298.4	308.9	1781	23.9	24	0	Pas de panne
12	H29425	H	298.6	309.1	1423	44.3	29	0	Pas de panne
13	M14871	M	298.6	309.1	1339	51.1	34	0	Pas de panne
14	M14872	M	298.6	309.2	1762	30	37	0	Pas de panne
15	L47194	L	298.6	309.2	2035	19.6	40	0	Pas de panne
16	L47195	L	298.6	309.2	1542	48.4	42	0	Pas de panne
17	M14876	M	298.6	309.2	1511	46.6	44	0	Pas de panne
18	M14877	M	298.7	309.2	1410	45.6	47	0	Pas de panne
19	H29432	H	298.8	309.2	1306	54.5	50	0	Pas de panne
20	M14879	M	298.9	309.3	1632	32.5	55	0	Pas de panne
21	H29434	H	298.9	309.5	1375	42.7	58	0	Pas de panne
22	L47201	L	298.8	309.3	1450	44.8	63	0	Pas de panne
23	M14882	M	298.9	309.3	1581	30.7	65	0	Pas de panne
24	L47203	L	299	309.4	1750	26.7	68	0	Pas de panne
25	M14884	M	299	309.4	1561	37.3	70	0	Pas de panne

Figure 18: vue des mesures acteurs influants sur le processus

->Température de l'air :

Dilatation thermique : La température de l'air ambiant peut provoquer une dilatation thermique des composants de la machine de tournage. Lorsque la température augmente, les matériaux peuvent se dilater, ce qui peut affecter les tolérances dimensionnelles et la précision des mouvements. Par conséquent, il est important de prendre en compte les variations de température lors de la programmation et de l'usinage des pièces pour compenser ces effets et maintenir la précision.	Stabilité structurelle : Les machines de tournage sont conçues avec une structure rigide pour minimiser les vibrations indésirables et assurer des opérations de coupe précises. Les variations de température peuvent affecter la stabilité structurelle de la machine. Par exemple, lorsque la température augmente, les matériaux peuvent se dilater et entraîner un léger fléchissement ou une déformation de la structure. Cela peut potentiellement causer des vibrations supplémentaires et affecter la qualité de l'usinage. Par conséquent, il est essentiel de maintenir une température ambiante stable dans l'environnement de travail pour minimiser ces effets.
Lubrification : La température de l'air ambiant peut également influencer la performance des lubrifiants utilisés dans la machine de tournage. Les lubrifiants, tels que les huiles de coupe, peuvent avoir des propriétés spécifiques de viscosité et de stabilité thermique qui peut être affectées par la température ambiante. Des températures extrêmes peuvent entraîner une dégradation prématurée des lubrifiants, réduisant ainsi leur efficacité dans la lubrification des outils de coupe et des surfaces de contact. Par conséquent, il est important de surveiller et de réguler la température de l'air ambiant pour maintenir la qualité et la performance des lubrifiants.	Refroidissement : La température de l'air ambiant peut également influencer l'efficacité des systèmes de refroidissement utilisés pour dissiper la chaleur générée pendant le processus de tournage. Si la température de l'air ambiant est élevée, cela peut compromettre la capacité des systèmes de refroidissement à maintenir des températures de fonctionnement optimales. Cela peut entraîner une augmentation de la température des outils de coupe, des pièces usinées et des composants de la machine, ce qui peut affecter la qualité de l'usinage et réduire la durée de vie des outils.

Figure 19 : Tableau des effets du facteur Température de l'air

<u>->Température de process</u>

Dilatation thermique : Pendant le processus de tournage, la chaleur est générée en raison du frottement entre l'outil de coupe et la pièce en rotation. Cette chaleur peut provoquer une dilatation thermique des composants de la machine, tels que la broche, les glissières et les structures de support. La dilatation thermique peut entraîner des changements dimensionnels des composants, ce qui peut affecter la précision et la stabilité de la machine. Par conséquent, il est important de prendre en compte la dilatation thermique lors de la conception de la machine et de s'assurer que les tolérances dimensionnelles sont correctement compensées pour maintenir la précision des opérations de tournage.	Déformation de la pièce : La température élevée du processus de tournage peut provoquer la dilatation thermique de la pièce elle-même. Cela peut entraîner des déformations indésirables, notamment des courbures ou des distorsions dimensionnelles. Ces déformations peuvent affecter la qualité des pièces usinées et entraîner des erreurs de dimensionnement ou de géométrie. Par conséquent, il est essentiel de contrôler la température pendant le processus de tournage pour minimiser les effets indésirables sur la pièce.
Durée de vie des outils de coupe : La température élevée pendant le processus de tournage peut affecter la durée de vie des outils de coupe. Une température excessive peut entraîner une usure prématurée des arêtes de coupe, une détérioration de la qualité de la surface usinée et une diminution de la durée de vie des outils. Il est donc important de surveiller la température de l'outil de coupe et de mettre en place des systèmes de refroidissement appropriés pour maintenir une température de coupe optimale et prolonger la durée de vie des outils.	Stabilité des performances : Les variations de température du processus de tournage peuvent affecter la stabilité globale des performances de la machine. Par exemple, des températures élevées peuvent provoquer des expansions thermiques imprévues, des perturbations de la lubrification, des changements de rigidité des composants, ce qui peut entraîner des vibrations indésirables, une réduction de la précision de coupe et des défauts de surface. Pour maintenir des performances stables, il est essentiel de contrôler et de réguler la température du processus de tournage.

Figure 20: Tableau des effets du facteur Température du process

->Force de rotation

Stress mécanique : Lorsque la machine de tournage est soumise à des forces de rotation élevées, cela crée des contraintes mécaniques sur ses composants, tels que la broche, les roulements et les engrenages. Des forces excessives peuvent provoquer une déformation, une flexion ou une fatigue des matériaux, ce qui peut entraîner des défaillances prématurées ou des dommages aux composants. Il est essentiel de respecter les limites de couple spécifiées par le fabricant et de surveiller les charges de rotation pour éviter de dépasser les capacités de la machine.	Vibrations : Des forces de rotation élevées peuvent également provoquer des vibrations indésirables dans la machine de tournage. Ces vibrations peuvent affecter la stabilité de l'usinage, causer des défauts de surface sur les pièces usinées, réduire la précision dimensionnelle et provoquer une usure accrue des outils de coupe. Pour minimiser les vibrations, il est important de maintenir un équilibrage adéquat des outils, de surveiller les charges de rotation et d'adopter des stratégies de coupe appropriées.
Usure des composants : Les forces de rotation élevées peuvent entraîner une usure accrue des composants de la machine, en particulier ceux qui sont en contact direct avec les forces de coupe. Par exemple, les paliers et les roulements peuvent subir une usure prématurée en raison des charges de rotation élevées. Il est donc essentiel de surveiller régulièrement l'état des composants et de les entretenir ou de les remplacer lorsque cela est nécessaire pour maintenir les performances et la durabilité de la machine.	Transfert de puissance : Le facteur de rotation de force est également lié à la puissance nécessaire pour entraîner la machine de tournage. Des forces de rotation élevées peuvent nécessiter des moteurs plus puissants et des systèmes d'entraînement plus robustes pour fournir la puissance nécessaire. Il est important de choisir les composants d'entraînement appropriés en fonction des exigences de couple spécifiques du processus de tournage.

Figure 21: Tableau des effets du facteur Force de rotation

->Vitesse de rotation

Forces centrifuges : Lorsque la vitesse de rotation augmente, les forces centrifuges générées augmentent également. Ces forces peuvent provoquer des déformations et des vibrations dans la machine, en particulier si elle n'est pas conçue pour supporter des vitesses élevées. Des déformations excessives peuvent entraîner des erreurs dimensionnelles, des problèmes d'équilibrage des outils et des vibrations indésirables qui affectent la qualité de l'usinage. Il est essentiel de respecter les limites de vitesse spécifiée par le fabricant et de s'assurer que la machine est capable de fonctionner en toute sécurité à des vitesses élevées.	Stabilité de l'usinage : La vitesse de rotation influence la stabilité de l'usinage. Une vitesse de rotation inappropriée peut entraîner des vibrations et des oscillations qui se traduisent par une mauvaise finition de surface, une perte de précision dimensionnelle et une usure prématurée des outils de coupe. Il est important de sélectionner la vitesse de rotation appropriée en fonction du matériau à usiner, de la géométrie de l'outil et des exigences de l'opération de tournage.
Évacuation des copeaux : La vitesse de rotation influence également l'évacuation des copeaux générés pendant le processus de tournage. Si la vitesse de rotation est trop faible, les copeaux peuvent s'accumuler autour de l'outil de coupe, entraînant des problèmes d'évacuation, des problèmes de refroidissement et des risques de rupture de l'outil. D'un autre côté, une vitesse de rotation excessive peut provoquer une éjection incontrôlée des copeaux, ce qui peut endommager les pièces, les outils et la machine elle-même.	Durée de vie des outils de coupe : La vitesse de rotation a un impact direct sur la durée de vie des outils de coupe. Une vitesse de rotation excessive peut entraîner une usure prématurée des arêtes de coupe, réduisant ainsi la durée de vie des outils. D'un autre côté, une vitesse de rotation trop faible peut entraîner une coupe inefficace et une augmentation de la force de coupe, ce qui peut également provoquer une usure accélérée des outils. Il est important de sélectionner la vitesse de rotation appropriée en fonction des caractéristiques des outils de coupe et des matériaux à usiner, afin de maximiser leur durée de vie.

Figure 22: Tableau des effets du facteurVitesse de rotation

I.4.4. Conclusion

En résumé, différents éléments peuvent avoir un impact sur la machine de tournage dans son fonctionnement et sa qualité. La vitesse à laquelle la machine tourne est importante, car une vitesse inadaptée peut provoquer des vibrations indésirables, affecter la stabilité de l'usinage et causer une usure excessive des outils. La force de rotation, quant à elle, peut générer des contraintes mécaniques et des vibrations, ce qui peut endommager les composants de la machine. La température pendant le processus de tournage peut également être un facteur à prendre en compte, car elle peut causer des déformations des pièces et affecter la précision des mesures. Enfin, le choix des bons outils de coupe et leur entretien régulier sont essentiels pour éviter une usure prématurée et assurer une performance optimale de la machine. Comprendre et gérer ces facteurs est crucial pour maintenir un fonctionnement efficace de la machine de tournage et garantir la production de pièces de haute qualité chez Tournotech.

Tournotech analyse les différents facteurs influençant la machine de tournage, tels que la vitesse de rotation, la force de rotation, la température et les outils de coupe. Pour mener ces analyses, l'entreprise utilise des méthodes et des outils tels que SPSS, un logiciel puissant qui permet d'explorer les relations entre ces variables.

I.5. Facteurs influants sur les ressources humaines dans le service de maintenance :

L'efficacité et la performance du service de maintenance d'une entreprise dépendent grandement de la gestion adéquate de ses ressources humaines. Dans ce domaine, il existe de nombreux facteurs qui influencent le personnel.

L'un des facteurs les plus importants est le taux de départ, également connu sous le nom de taux de rotation ou de roulement du personnel. Cet indicateur clé mesure le pourcentage d'employés qui quittent une entreprise pendant une période donnée, généralement sur une base annuelle. Le taux de départ est souvent utilisé pour évaluer la stabilité de la main-d'œuvre et l'attrition des employés.

Dans le contexte du service de maintenance d'une entreprise, le taux de départ peut avoir un impact significatif sur les opérations et les performances globales. Un taux de départ élevé peut entraîner plusieurs conséquences néfastes, notamment :

- **Perte de connaissances et d'expertise** : Lorsque des employés quittent le service de maintenance, ils emportent avec eux leurs connaissances spécifiques, leur expérience et leur expertise. Cela peut affaiblir l'équipe et rendre plus difficile la résolution efficace des problèmes et la maintenance des équipements.
- **Perturbation de la continuité** : Un taux de départ élevé peut entraîner une instabilité et une interruption des activités de maintenance. Les nouveaux employés doivent être recrutés, formés et intégrés, ce qui peut prendre du temps et ralentir les opérations.
- **Coûts de recrutement et de formation** : Le remplacement fréquent des employés peut entraîner des coûts élevés liés au recrutement, à la sélection et à la formation de nouveaux membres de l'équipe. Cela peut avoir un impact financier significatif sur le service de maintenance.
- **Détérioration de la motivation et de la productivité** : Un taux de départ élevé peut affecter négativement la motivation des employés restants, qui peuvent se sentir démotivés ou incertains quant à leur avenir au sein de l'entreprise. Cela peut entraîner une baisse de la productivité et de la qualité du travail accompli.

Il est donc essentiel de surveiller attentivement le taux de départ dans le service de maintenance. Notre mission consiste à réaliser une analyse approfondie des différents facteurs influençant les ressources humaines dans ce service, en utilisant les données fournies par le service des ressources humaines. Cela nous permettra de comprendre les causes sous-jacentes du taux de départ élevé et de proposer des mesures pour atténuer ces problèmes, favorisant ainsi la stabilité, la performance et la satisfaction des employés dans le service de maintenance.

Voici le fichier Excel fournit sur lequel on va réaliser nos analyses :

Age	Départ	BusinessTravel	DailyRate	Department	DistanceFromHome	Education	EducationField	EnvironmentSatisfaction
33	No	Travel_Frequently	1		3	4	Life Sciences	4
27	No	Travel_Rarely	5		2	1	Medical	1
32	No	Travel_Frequently	10		2	2	Life Sciences	4
59	No	Travel_Rarely	1		3	3	Medical	3
30	No	Travel_Rarely	1		24	1	Life Sciences	4
38	No	Travel_Frequently	2		23	3	Life Sciences	4
36	No	Travel_Rarely	12		27	3	Medical	3
35	No	Travel_Rarely	6		16	3	Medical	1
29	No	Travel_Rarely	1		15	2	Life Sciences	4
31	No	Travel_Rarely	6		26	1	Life Sciences	1
34	No	Travel_Rarely	1		19	2	Medical	2
28	Yes	Travel_Rarely	1		24	3	Life Sciences	3
29	No	Travel_Rarely	1		21	4	Life Sciences	2
32	No	Travel_Rarely	3		5	2	Life Sciences	1
22	No	Non-Travel	11		16	2	Medical	4
53	No	Travel_Rarely	1219	Service Technique	2	4	Life Sciences	1
38	No	Travel_Rarely	371	Service Methode	2	3	Life Sciences	4

J	K	L	M	N	O	P	Q
Gender	HourlyRate	JobInvol	JobLevel	JobSatisfaction	MaritalStatus	MonthlyIncome	MonthlyRate
Female	94	3	2	4	Single	5993	19479
Male	61	2	2	2	Married	5130	24907
Male	92	2	1	3	Single	2090	2396
Female	56	3	1	3	Married	2909	23159
Male	40	3	1	2	Married	3468	16632
Male	79	3	1	4	Single	3068	11864
Female	81	4	1	1	Married	2670	9964
Male	67	3	1	3	Divorced	2693	13335
Male	44	2	3	3	Single	9526	8787
Male	94	3	2	3	Married	5237	16577
Male	84	4	1	2	Married	2426	16479

Q	R	S	T	U	V	W
MonthlyRate	NumCompanie	Over18	OverTime	PercentSalaryHike	PerformanceRating	RelationshipSatisfac
19479	8	Y	Yes	11	3	1
24907	1	Y	No	23	4	4
2396	6	Y	Yes	15	3	2
23159	1	Y	Yes	11	3	3
16632	9	Y	No	12	3	4
11864	0	Y	No	13	3	3
9964	4	Y	Yes	20	4	1
13335	1	Y	No	22	4	2
8787	0	Y	No	21	4	2
16577	6	Y	No	13	3	2

X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
StandardHours	StockOptionLevel	TotalWorkingYears	WorkLifeBalance	YearsAtCompany	YearsInCurrentRole	YearsSinceLastPromotio
80	0	8	1	6	4	0
80	1	10	3	10	7	1
80	0	7	3	0	0	0
80	0	8	3	8	7	3
80	1	6	3	2	2	2
80	0	8	2	7	7	3
80	3	12	2	1	0	0
80	1	1	3	1	0	0
80	0	10	3	9	7	1

Figure 23: Ficher Excel des ressources humaine dans le service de maintenance

On va expliquer maintenant les différents facteurs étudiés dans notre cas :

- **Business Travel (déplacement professionnel)** : Les déplacements d'affaires dans le service de maintenance sont importants pour apporter une expertise spécialisée, assurer la flexibilité de l'équipe, favoriser la coopération et le partage des connaissances, ainsi que favoriser le développement professionnel des employés. Cependant, ces déplacements peuvent aussi présenter des défis, tels que la fatigue due aux voyages fréquents et la séparation de la famille.

- **Daily Rate (taux journalier)** : Le taux journalier est un élément clé de la gestion des ressources humaines dans le service de maintenance. Il a un impact direct sur les coûts, le budget, la productivité et la compétitivité de l'entreprise. Une gestion adéquate des taux journaliers peut permettre d'optimiser les ressources financières, de maintenir la motivation des employés et d'assurer l'efficacité des opérations de maintenance.

- **Département** : Le service de maintenance dans notre entreprise comprend trois départements : le service méthode, le service technique et le service ordonnancement. Chaque département a des responsabilités spécifiques pour assurer le bon fonctionnement des activités de maintenance.
- Distance entre le lieu de travail et le lieu de logement de l'employé : Ce facteur peut avoir un impact sur la disponibilité et la réactivité des employés en cas d'urgence ou de besoin de maintenance immédiate. Les longs trajets quotidiens entre le domicile et le lieu de travail peuvent entraîner de la fatigue et réduire le temps disponible pour les activités familiales, sociales et de loisirs, ce qui peut affecter la qualité de vie et entraîner une insatisfaction générale.

- **Satisfaction de l'environnement :** Il s'agit du degré de contentement, de confort et de bien-être que les employés ressentent vis-à-vis de leur environnement de travail. Cela peut influencer leur productivité et leur engagement. Des installations appropriées, des outils adéquats, un espace de travail ergonomique et des conditions de travail favorables peuvent contribuer à la satisfaction des employés et à leur capacité à effectuer leur travail de manière efficace et précise.

- **Implication dans le travail** : Cela fait référence au niveau d'engagement, de dévouement et d'investissement des employés dans leur travail. La mesure régulière de l'implication dans le travail permet de suivre les tendances, d'identifier les opportunités d'amélioration et de renforcer l'engagement et la motivation des employés dans le service de maintenance.

Niveau de poste : Le niveau hiérarchique ou la position occupée par un employé au sein de l'organisation est un élément important à prendre en compte dans la gestion des ressources humaines du service de maintenance. Il s'agit de garantir une répartition équilibrée des responsabilités, un développement professionnel adéquat, une rémunération compétitive et des prises de décision efficaces.

État matrimonial : L'état matrimonial fait référence au statut légal d'une personne concernant son mariage ou sa situation conjugale. Bien qu'il puisse sembler être un aspect personnel, il peut également avoir un impact sur les ressources humaines. Il peut influencer la flexibilité et la disponibilité des employés dans le service de maintenance. Les employés mariés peuvent avoir besoin de congés supplémentaires pour des occasions familiales et doivent consacrer du temps et de l'énergie à leur relation conjugale et à leur famille, ce qui peut influer sur l'équilibre entre vie professionnelle et vie personnelle. De plus, l'état matrimonial peut également avoir des implications sur les avantages sociaux offerts aux employés.

Expérience antérieure dans d'autres entreprises : Il s'agit des expériences professionnelles précédentes d'un individu dans d'autres organisations. Les employés ayant travaillé dans différentes entreprises ont souvent développé une adaptabilité et une capacité à s'ajuster à différents environnements de travail. Ils ont également construit un réseau de contacts précieux pour le partage de connaissances, les bonnes pratiques, les conseils et l'accès à des ressources externes. L'historique des entreprises peut également fournir des informations sur la stabilité et la fidélité d'un employé.

Temps supplémentaire : Il s'agit des heures de travail effectuées par les employés au-delà de leur horaire régulier. Le service de maintenance peut faire face à des situations d'urgence, telles que des pannes d'équipement critiques ou des réparations imprévues. Dans ces cas, le temps supplémentaire peut être nécessaire pour assurer une réponse rapide et efficace. De plus, le temps supplémentaire offre une flexibilité opérationnelle au service de maintenance, car les besoins de maintenance peuvent varier en fonction de la charge de travail, des cycles de production ou des exigences saisonnières. Les périodes de pointe ou les projets de maintenance complexes peuvent nécessiter un temps supplémentaire pour respecter les délais et répondre aux attentes des clients.

Augmentation du salaire en pourcentage: est un facteur très important qui a plusieurs impact sur l'amélioration de la productivité, la motivation, l'attraction des talents et l'engagement et fidélité à l'entreprise et en plus une augmentation de salaire peut être perçue comme une reconnaissance formelle des contributions et des performances des employés

Actions de l'entreprise accordés aux employés : c'est la distribution de parts ou d'actions de l'entreprise aux membres de son personnel. L'attribution d'actions de l'entreprise aux employés crée un lien direct entre leur performance et le succès de l'organisation et permet aux employés de développer un sentiment de propriété et d'appartenance à l'organisation

Equilibre vie-travail: L'équilibre vie-travail est un concept qui fait référence à la recherche d'un juste équilibre entre les obligations professionnelles et les aspects personnels de la vie d'une personne. Il s'agit de trouver un moyen de concilier les responsabilités et les exigences du travail avec les engagements familiaux, les loisirs, la santé et le bien-être. Cela implique d'accorder une attention adéquate à sa famille, à ses relations personnelles, à sa santé physique et mentale, ainsi qu'à ses intérêts et à ses loisirs.

I.6. Présentation du logiciel SPSS

SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), également connu sous le nom d'IBM SPSS Statistics, est un progiciel utilisé pour l'analyse de données statistiques.Le progiciel a été créé en 1968 par SPSS Inc. et a été acquis par IBM en 2009.

Figure 24: Logo de l'entreprise SPSS INC.

Figure 25: Logo de IBM

Bien que le nom de SPSS reflète son utilisation originale dans le domaine des sciences sociales, son utilisation s'est depuis étendue à d'autres marchés de données. SPSS est utilisé dans de nombreux domaines pour l'analyse et l'interprétation des données. Il est couramment utilisé dans les études de marché, l'évaluation des performances, la recherche en sciences sociales, la santé publique, la psychologie, l'économie, la gestion des ressources humaines, et d'autres domaines où l'analyse des données est essentielle.

Les types de données analysées à l'aide de SPSS sont très variés. Les sources courantes incluent les résultats d'enquête, les bases de données des clients de l'organisation, Google Analytics, les résultats de la recherche scientifique et les fichiers journaux du serveur. SPSS prend en charge à la fois l'analyse et la modification de nombreux types de données et de presque tous les formats de données structurées. Le logiciel prend en charge les feuilles de calcul, les fichiers en texte brut et les bases de données relationnelles telles que SQL, SATA et SAS.

SPSS fournit une analyse des données pour les statistiques descriptives et bivariées, les prédictions de résultats numériques et les prédictions pour l'identification des groupes. Le logiciel fournit également des fonctionnalités de transformation de données, de création de graphiques et de marketing direct. .

SPSS est utilisé par de nombreuses grandes entreprises et organisations dans divers secteurs. Parmi les utilisateurs notables de SPSS, on retrouve des entreprises du domaine de la finance, de la santé, du marketing, de la recherche scientifique et des services gouvernementaux. Certaines entreprises qui utilisent SPSS incluent IBM, Procter & Gamble, Pfizer, Nielsen, Nestlé, Amazon, et de nombreuses universités et instituts de recherche à travers le monde.

I.7. Conclusion:

En conclusion, ce premier chapitre nous a permis de poser les bases de notre étude sur l'analyse des données statistiques du service de maintenance dans notre entreprise. Nous avons commencé par présenter l'entreprise elle-même, puis nous avons expliqué ce qu'est la maintenance et nous avons exploré les différents facteurs qui influencent le fonctionnement de notre service de maintenance, y compris les ressources humaines et le processus de fabrication. Nous avons également mentionné l'utilisation du logiciel SPSS pour analyser les données statistiques que nous collecterons.
Ce chapitre est crucial car il nous permet de comprendre le contexte global de notre étude et de définir clairement la problématique que nous allons aborder tout au long de notre rapport. Nous cherchons à identifier les facteurs qui ont le plus d'impact sur la performance de notre service de maintenance, afin de pouvoir proposer des solutions et des recommandations pour l'améliorer.
Dans les prochains chapitres, nous allons utiliser le logiciel SPSS pour analyser les données statistiques que nous avons collectées. Nous espérons ainsi découvrir des informations précieuses sur les relations entre les différentes variables et les performances de notre service de maintenance. Cela nous permettra de formuler des recommandations spécifiques et d'adopter les meilleures pratiques pour optimiser notre efficacité et réduire les temps d'arrêt des équipements.
En somme, ce premier chapitre pose les bases de notre étude et nous permet de comprendre les enjeux de notre analyse des données statistiques du service de maintenance. Nous sommes convaincus que cette étude contribuera à améliorer la performance de notre service en fournissant des recommandations fondées sur des preuves solides et une analyse approfondie des données collectées.
.

Chapitre II:

Gestion des variables et statistiques descriptives

II.1. Introduction

Dans le deuxième chapitre de cette étude, nous explorerons un aspect fondamental de l'analyse statistique : la gestion des variables et l'utilisation des statistiques descriptives. Cette partie du travail est essentielle pour structurer et comprendre les données que nous utilisons et être en mesure de tirer des conclusions pertinentes.

Nous commencerons par créer des variables, une étape critique qui consiste à définir et à structurer les éléments clés de notre étude. Ensuite, nous passons à la gestion des variables, où nous discutons des meilleures pratiques pour manipuler et gérer les données tout au long de l'analyse.

Ensuite, nous examinerons de plus près les descriptions des variables, en nous concentrant sur deux principaux types de variables : qualitatives et quantitatives. Dans chaque cas, nous explorons des mesures appropriées de la tendance centrale, de la dispersion, des indicateurs de forme de distribution et de la représentation graphique.

Ensuite, nous discuterons de l'analyse bivariée, une étape qui nous permettra d'examiner la relation entre les variables. Nous utiliserons des outils tels que les classements croisés et les tests du chi carré pour approfondir notre compréhension de ces relations.

Ensuite, nous explorerons les tests paramétriques et non paramétriques pour comparer les moyennes. Ces tests, y compris les tests t pour différents types d'échantillons, sont de puissants outils statistiques qui nous aident à déterminer si les différences observées entre les groupes sont statistiquement significatives.

Enfin, nous résumerons les résultats de ce chapitre et réfléchirons à leur signification et à leurs implications pour l'ensemble de notre recherche.

II.2. Paramètres des variables :

Pour la saisie de données, on peut procéder par plusieurs manières:

1. Directement (de manière interactive) à l'aide de l'éditeur de données. Pour ce faire, vous devez entrer les variables dans l'onglet Vue des variables, puis remplir les colonnes en indiquant les valeurs de chaque variable pour chaque cas (exemple de fichier SAV).

2. Par importation de fichiers de données :

Figure 26: Boite de choix pour Fichiers

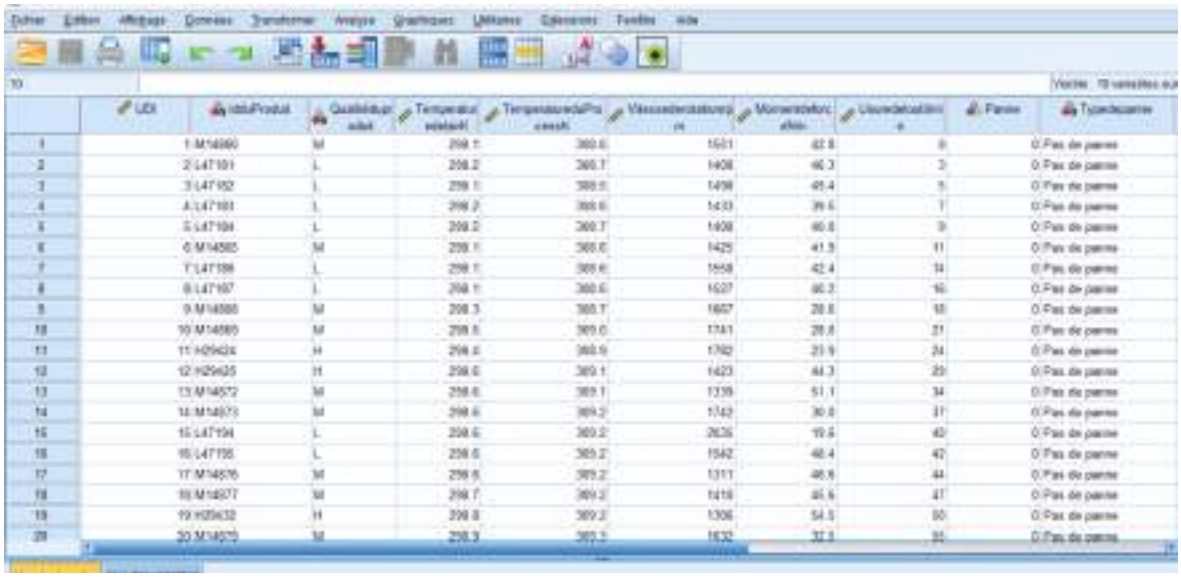


Figure 27: Vue de tableaux de données après importation du Fichier Excel

Après la saisie des données, il faut définir chaque variable de la matrice de données à l'aide de la fenêtre qui correspond à l'onglet Vue des variables de l'Éditeur de données.

Cette facette de l'Éditeur de données présente les variables horizontalement (lignes) et les colonnes correspondent aux paramètres essentiels qui définissent chaque variable de la matrice de données que nous voulons créer. La facette Vue des variables sert uniquement à la création et à la modification des variables de la matrice de données.

La création de toute variable nécessite la définition de ces paramètres essentiels :

NOM : Contient le NOM de la variable (maximum 8 caractères).
Habituellement, on tente de codifier le nom des variables pour les reconnaître facilement. Lorsqu'il y a quelques questionnaires différents, on adopte un code qui peut ressembler à ceci.

TYPE : Décrit le format de la variable (de la donnée recueillie)

- Numérique : donnée numérique, nombre (décimale)
- Date : donnée sous forme de date (plusieurs formats)
- Chaîne : donnée alpha-numérique (texte)

LARGEUR : Ce champ contient le nombre de caractères de la donnée

DÉCIMALES : Ce champ indique le nombre de décimales désirées.

LIBELLÉ : Ce champ très important est le descriptif de la variable.

VALEURS: Contient la déclaration des valeurs possibles d'une variable catégorielle

MANQUANT: Contient la déclaration des valeurs possibles des données manquantes.

COLONNES: Décrit la largeur à l'écran de la colonne (nombre de caractères)

ALIGN: Justification de la donnée dans la colonne (droite, gauche, etc.).

MESURE: Définit la nature de la variable

- Échelle : variable continue (intervalle ou de rapport) (ex :l'âge)
- Ordinale : variable catégorielle ordinale (ex : scolarité)
- Nominale : variable catégorielle nominale (ex : sexe)

RÔLE: Il est possible de préciser le rôle que la variable jouera dans les analyses (ex. : entrée = variable indépendante).

L'étiquette (libellé) permet de confirmer la variable choisie pour l'analyse et les étiquettes (libellés) des valeurs identifient clairement la catégorie qui est associée à chaque valeur présentée dans le tableau. Sans les deux types de libellés, il serait très difficile d'interpréter correctement les tableaux de la fenêtre Sortie.

	Nom	Type	Largeur	Décimales	Libellé	Valeurs	Manquant	Colonnes	Align	Mesure	Rôle
1	UDI	Numérique	4	0		Aucun	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
2	IdduProduit	Chaîne	6	0	Id du Produit	Aucun	Aucun	13	Gauche	Nominales	Entrée
3	Qualitédupr...	Chaîne	1	0	Qualité du produit	Aucun	Aucun	9	Gauche	Nominales	Entrée
4	Temperatur...	Virgule	5	1	Temperature de...	Aucun	Aucun	9	Droite	Echelle	Entrée
5	Temperatur...	Virgule	5	1	Temperature du...	Aucun	Aucun	14	Droite	Echelle	Entrée
6	Vitessedero...	Numérique	4	0	Vitesse de rota...	Aucun	Aucun	14	Droite	Echelle	Entrée
7	Momentdefo...	Virgule	4	1	Moment de forc...	Aucun	Aucun	11	Droite	Echelle	Entrée
8	Usuredelout...	Numérique	3	0	Usure de l'outil[...	Aucun	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
9	Panne	Numérique	1	0		Aucun	Aucun	10	Droite	Nominales	Entrée
10	Typedepanne	Chaîne	38	0	Type de panne	Aucun	Aucun	15	Gauche	Nominales	Entrée

Figure 28: Tableau de vue de variables

Voici les étapes à suivre pour créer la variable qualité du produit :
NOM: Inscrire dans la première cellule le nom de variable Qualitéduproduit
TYPE: Mettre Chaine
LARGEUR: 1
DÉCIMALES: Descendre à 0
LIBELLÉ: « Qualité du produit »
VALEURS: Ignorer car seulement valable pour les variables catégorielles
MANQUANT: Ignorer car aucune donnée manquante n'est prévue
COLONNES: 9
ALIGN: Rendre à gauche

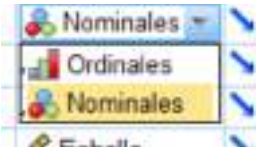


Figure 29: Boite choix du type de variable

MESURE: Nominales (ordinales car elles prend en considération trois niveaux: (High,Medium et Low).

RÔLE: Laisser à Entrée.

II.3.Gestion des variables

II.3.1.Types de variables

Les variables sont de deux types:

- **Qualitatives:** une variable qualitative est une variable qui représente une caractéristique ou une catégorie qui ne peut pas être mesurée en termes de quantité numérique. Elle permet de classer des observations en groupes distincts sur la base de leur caractéristique commune. On distingue les variables nominales qui représentent une caractéristique ou une catégorie qui ne peut pas être ordonnée ou hiérarchisée. Par exemple : le genre, la religion, la couleur des yeux. Pour les variables qualitatives ordinales ,elle ont une signification ordonnée peuvent être classées selon une échelle ou un ordre hiérarchique ,par exemple: laa taille des vêtements (petit, moyen, grand), le niveau de satisfaction (faible, moyen, élevé).

- **Quantitatives:** elle sont des variables qui peuvent être mesurées en termes de quantités numériques ou de valeurs numériques. Les variables quantitatives sont divisées en deux sous-catégories : les variables quantitatives continues qui sont mesurées à l'aide d'instruments de mesure précis et sont souvent représentées par des nombres décimaux pour et les variables quantitatives discrètes , elles ne peuvent prendre que des valeurs entières ou des nombres entiers.

II.3.2.Concept de mesure

L'acte de mesurer un phénomène est l'opération par laquelle on fait correspondre a une donnée collectée une grandeur censée représenter le phénomène. Cette opération est perturbée par des éléments qui éloignent la mesure idéale.
M (mesure obtenue) = V (vraie valeur) + Es (erreur systématique) + Ea erreur aléatoire.

✓La vraie valeur est la mesure « idéale », c'est-à-dire celle qui correspondrait parfaite ment au phénomène étudié.
✓L'erreur systématique (ou biais) provient du fait que l'instrument de mesure peut présenter un écart systématique avec le phénomène étudié.
✓L'erreur aléatoire pro vient du fait que le phénomène mesuré par l'instrument peut être affecté par des aléas.

II.3.2.Echelle Sous SPSS

On a trois types d'échelles :

- **Nominale**
- **Ordinale**
- **Métrique**

1 ère étape : Vue des variables

2 ème étape : Mesure

II.3.3. Stratégie d'analyse

L'analyse des données n'est pas une fin en soi; elle doit aider à prendre des décisions à partir d'informations disponibles, si possible fiables et valides. C'est la décision à prendre qui guide la stratégie d'analyse et la modélisation.
D'une manière générale, il est possible de représenter l'ensemble de ces techniques d'analyse en trois phases:

- L'analyse univariée consiste à examiner la distribution des modalités de réponse pour une variable.
- L'analyse bivariée consiste à étudier les relations entre deux variables
- L'analyse multivariée permet de dépasser les techniques précédentes en En traitant simultanément plus de deux variables.

II.4.Description de variables

II.4.1.Description d'une variable qualitative:

II.4.1.1.Rappel théorique:

La description d'une variable qualitative consiste à présenter les effectifs, c'est-à-dire le nombre d'échantillon pour chaque modalité de variable, et la fréquence c'est-à-dire la proportion des données associées à chaque modalité de la variable étudiée.

II.4.1.2.Procédure SPSS:

Pour étudier les variables qualitatives on choisit Fréquences dans la rubrique Analyse.

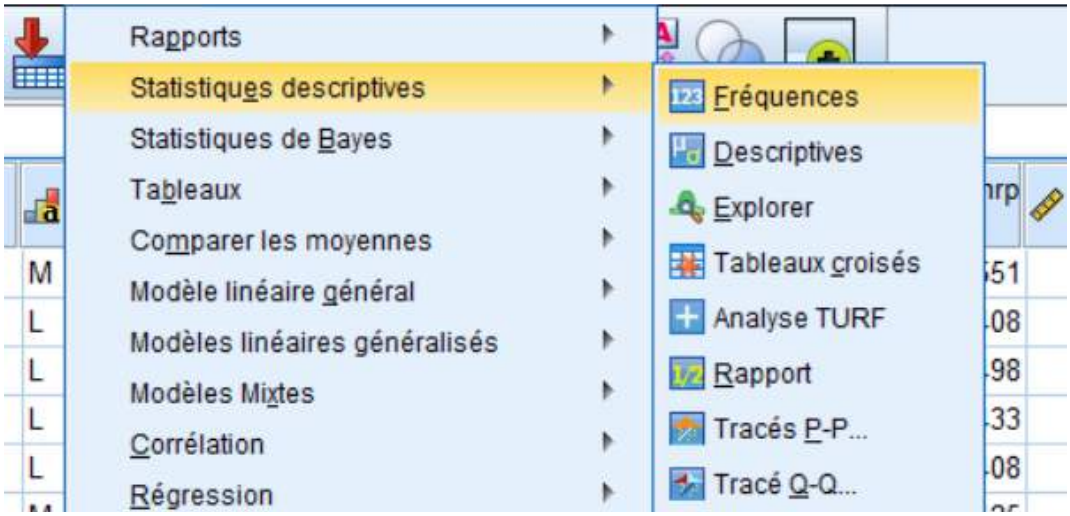


Figure 30: Boite Analyse de Fréquence

Pour réaliser un tableau d'Effectifs,on clique sur Analyse dans la barre d'outils puis on choisit Statistiques descriptives dans le menu déroulant, puis Effectifs dans le second menu déroulant.

Figure 31 :Boites de choix dans Fréquence

Dans le premier tableau on représente la fréquence des variables qualitatives valides , et la fréquence des qualités (élevée, moyenne et minimale).

Fréquences

Statistiques

Qualité du produit

N	Valide	5000
	Manquant	0

Qualité du produit

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Valide	H	505	10,1	10,1	10,1
	L	3012	60,2	60,2	70,3
	M	1483	29,7	29,7	100,0
	Total	5000	100,0	100,0	

Figure 32: Tableau de la Fréqence de qualité de produit

II.4.1.3.Interprétation

Le nombre (N) d'observations dites « valides » : une observation valide correspond à toute valeur non manquante possible pour une mesure donnée.
Le titre indique le nom de la variable examinée et son étiquette (dans la mesure où elle existe).
La première colonne décrit les valeurs valides et manquantes qui ont été assignées à cette variable. Dans le cas d'une variable catégorielle (ordinale).

La deuxième colonne indique la fréquence, l'occurrence ou encore le nombre de données associé à chaque valeur valide spécifique (et manquante) de la variable choisie.
Le pourcentage donne la proportion de données pour chaque valeur possible. Ces rapports en pourcentage facilitent l'interprétation du tableau et permettent de comparer les résultats d'une étude à l'autre plus facilement.

Le calcul du pourcentage s'effectue en divisant la fréquence d'une réponse pour une valeur spécifique par le nombre total d'observations, puis en multipliant par 100.

Les pourcentages de la colonne « Pourcentage » sont difficilement interprétables parce qu'ils considèrent à la fois les réponses valides et manquantes.
La colonne « Pourcentage valide » affiche les pourcentages relatifs uniquement pour les sujets ayant donné une réponse valide.
La dernière colonne de la table de fréquence permet de calculer le cumul des pourcentages des catégories précédentes à partir de la première.

II.4.2 Description d'une variable quantitative

La description d'une variable quantitative est une étape fondamentale en statistique permettant de comprendre et d'analyser les données numériques. Ce chapitre se concentre sur deux aspects essentiels de cette description : la mesure de la tendance centrale et la mesure de la dispersion.

II.4.2.1. Mesure de la tendance centrale et de dispersion

La mesure de la tendance centrale vise à identifier la valeur représentative d'un ensemble de données. Elle permet de trouver le point central autour duquel les observations tendent à se regrouper. Les mesures de tendance centrale les plus couramment utilisées sont la moyenne, la médiane et le mode.

La moyenne:

La moyenne d'un ensemble de données est calculée en faisant la somme de toutes les observations et en les divisant par le nombre total d'observations. Mathématiquement, si nous avons une variable quantitative avec n observations, notées x_1, x_2, ..., xn, alors la moyenne (μ) est donnée par :
$\mu = (x_1 + x_2 + ... + xn) / n$

La moyenne est souvent utilisée lorsque les données sont relativement symétriques et ne sont pas influencées de manière significative par les valeurs aberrantes. Elle permet d'obtenir une mesure de centralité globale.

La médiane :

La médiane est la valeur qui divise l'ensemble des données en deux parties égales. Cela signifie que 50 % des observations sont inférieures à la médiane, et les 50 % restantes sont supérieures à celle-ci. Pour trouver la médiane, les données doivent être triées par ordre croissant. Si n est impair, la médiane est la valeur centrale. Si n est pair, la médiane est calculée en prenant la moyenne des deux valeurs centrales.
La médiane est souvent utilisée lorsque les données sont asymétriques ou qu'il y a des valeurs aberrantes extrêmes qui pourraient fausser la moyenne. Elle fournit une mesure de tendance centrale plus robuste.

Le mode:

Le mode est la valeur qui apparaît le plus fréquemment dans l'ensemble des données. Il peut y avoir un mode unique (distribution unimodale) ou plusieurs modes (distribution multimodale). Dans certains cas, il peut ne pas y avoir de mode du tout (distribution amodale).

Le mode est utilisé lorsque nous voulons identifier les valeurs les plus fréquentes ou les plus représentatives de l'ensemble des données. Cependant, il ne donne pas nécessairement une mesure de centralité unique.

La mesure de la dispersion quantifie la variabilité ou la dispersion des données autour de la mesure de tendance centrale. Elle fournit des informations sur l'écart ou la répartition des observations. Les mesures de dispersion couramment utilisées sont l'écart-type, la variance et l'étendue.

L'écart-type et variance :

L'écart-type est une mesure de dispersion qui indique à quel point les observations se dispersent autour de la moyenne. Il est calculé en prenant la racine carrée de la variance. La variance mesure la moyenne des carrés des écarts entre chaque observation et la moyenne.
Mathématiquement, si nous avons une variable quantitative avec n observations, notées x_1, x_2, ..., xn, et une moyenne μ, alors la variance (σ^2) est donnée par :
$\sigma^2 = [(x_1 - \mu)^2 + (x_2 - \mu)^2 + ... + (xn - \mu)^2] / n$
Et l'écart-type (σ) est simplement la racine carrée de la variance.
Ces mesures de dispersion permettent d'évaluer la dispersion moyenne des données par rapport à la moyenne. Plus l'écart-type ou la variance est élevé, plus les données sont dispersées.

L'étendue :

L'étendue est la différence entre la plus grande et la plus petite observation dans l'ensemble des données. C'est une mesure simple de la dispersion, mais elle est sensible aux valeurs aberrantes.

L'étendue donne une idée de la portée globale des observations, mais ne tient pas compte de la répartition des valeurs entre ces limites.

II.4.3. Indicateurs de forme de distribution

Les indicateurs de forme de distribution sont des mesures statistiques qui permettent de caractériser la forme d'une distribution de données. Ils fournissent des informations sur la symétrie, l'aplatissement et d'autres propriétés de la distribution. Voici quelques indicateurs de forme couramment utilisés : Skewness (asymétrie) et Kurtosis (aplatissement).
Ces indicateurs de forme de distribution permettent de mieux comprendre les caractéristiques des données. Ils sont largement utilisés en statistique descriptive et dans l'analyse exploratoire des données

II.4.3.1.Rappel Théorique

1. Coefficient d'asymétrie Skewness

C'est une mesure statistique utilisée pour évaluer le degré d'asymétrie d'une distribution de données.
L'asymétrie d'une distribution fait référence à la manière dont les valeurs sont réparties par rapport à la moyenne. Une distribution symétrique présente une répartition équilibrée autour de la moyenne, tandis qu'une distribution asymétrique présente une tendance vers un côté ou l'autre.
Le coefficient d'asymétrie est calculé en utilisant la formule suivante :
Skewness = (3 * (moyenne - médiane)) / écart type
Le coefficient d'asymétrie peut prendre différentes valeurs :

- Une valeur de skewness égale à zéro indique une distribution parfaitement symétrique, où les valeurs sont équitablement réparties autour de la moyenne.
- Une valeur positive de skewness indique une asymétrie positive, ce qui signifie que la queue de droite de la distribution est plus longue, et que la distribution est étirée vers la droite.
- Une valeur négative de skewness indique une asymétrie négative, ce qui signifie que la queue de gauche de la distribution est plus longue, et que la distribution est étirée vers la gauche.

2. Coefficient d'aplatissement Kurtosis

Le coefficient d'aplatissement est une mesure statistique utilisée pour évaluer l'aplatissement ou la concentration des valeurs d'une distribution par rapport à une distribution normale. La kurtosis mesure la queue de la distribution, c'est-à-dire la probabilité d'observations extrêmes. Une distribution leptokurtique a une kurtosis élevée, ce qui signifie qu'elle a des queues plus épaisses et des valeurs extrêmes plus fréquentes. En revanche, une distribution platykurtique a une kurtosis faible, ce qui signifie qu'elle a des queues plus minces et des valeurs extrêmes moins fréquentes.

Le coefficient de kurtosis est calculé en utilisant la formule suivante :
Kurtosis = (Somme des valeurs au carré - n * (moyenne^2)) / (n * écart-type^4)
Voici une figure qui représente l'aplatissement et l'asymétrie

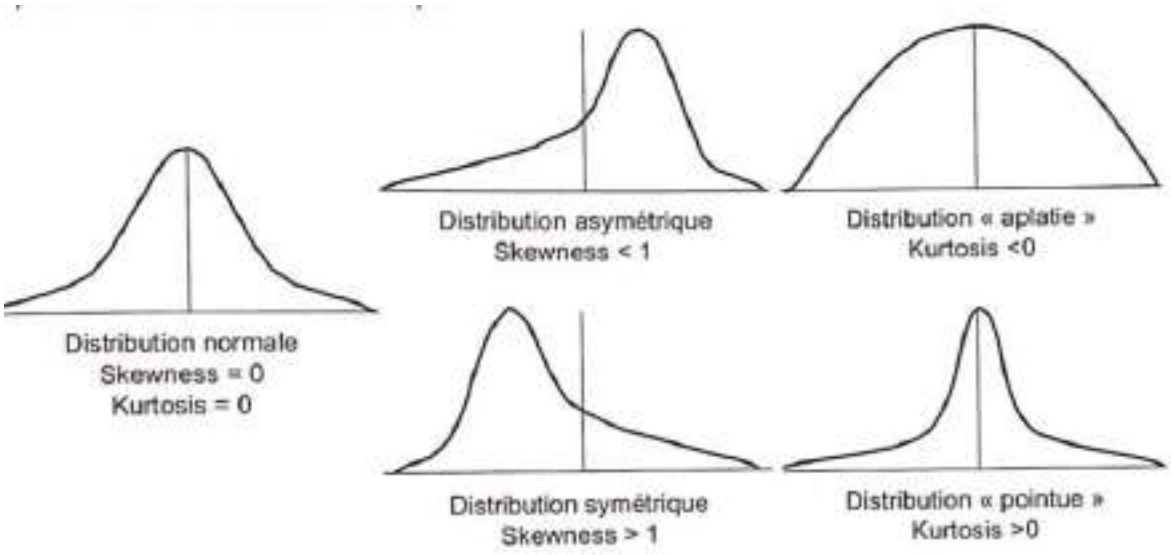


Figure 33 :Représentations de distribution statistique

On peut utiliser Skewness et Kurtosis pour s'assurer que les variables suivent la loi normale. On estime que Skewness doit être inférieur a 1 et Kurtosis inférieur a 1,5 pour considérer que la variable suit la loi normale.

II.4.3.2. Procédure SPSS

On clique sur le Menu Analyse puis Statistiques descriptives et puis Descriptives

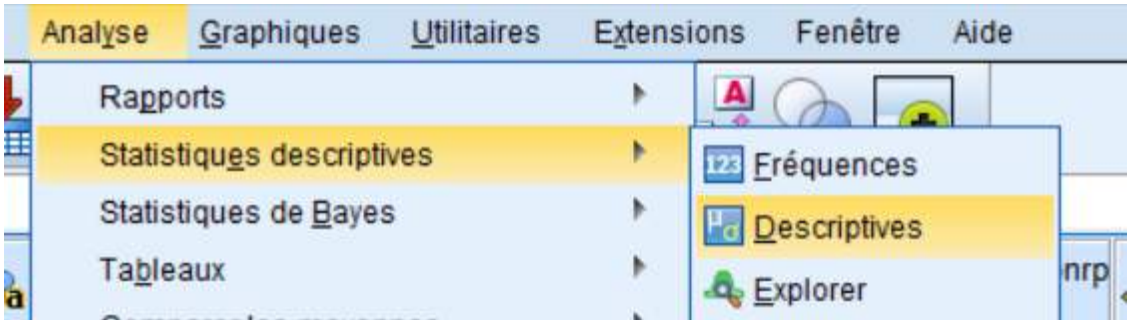


Figure34 : Menu Analyse

On va ajouter le paire de variables de l'analyse dans le champ approprié

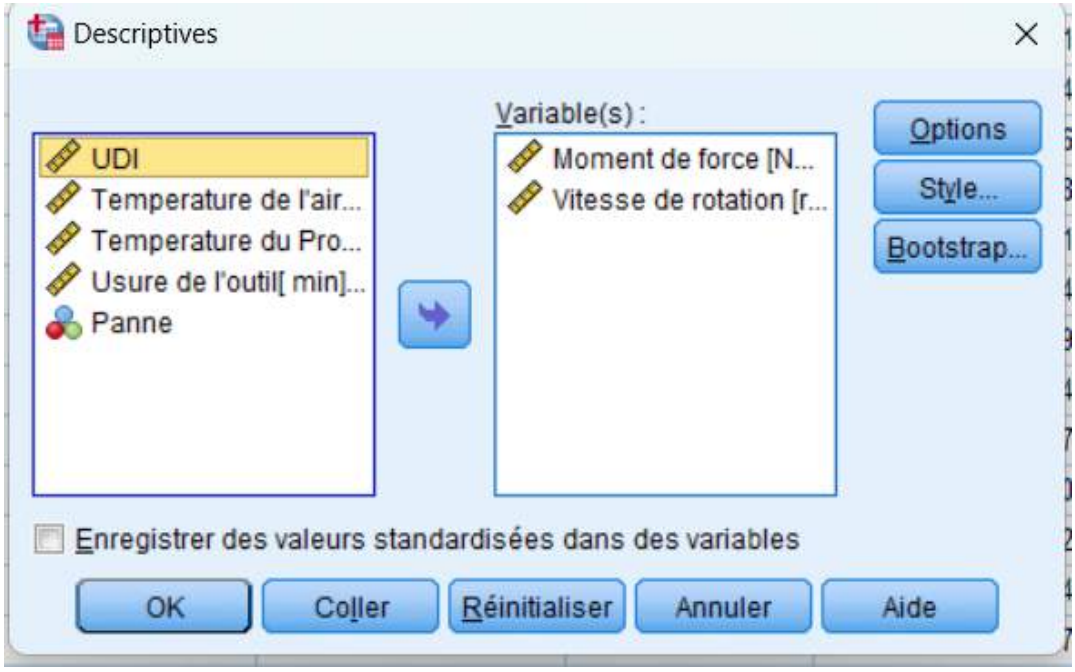


Figure 35: Menu Variables Descriptive

On va cocher après les cas Kurtosis et Asymétrie

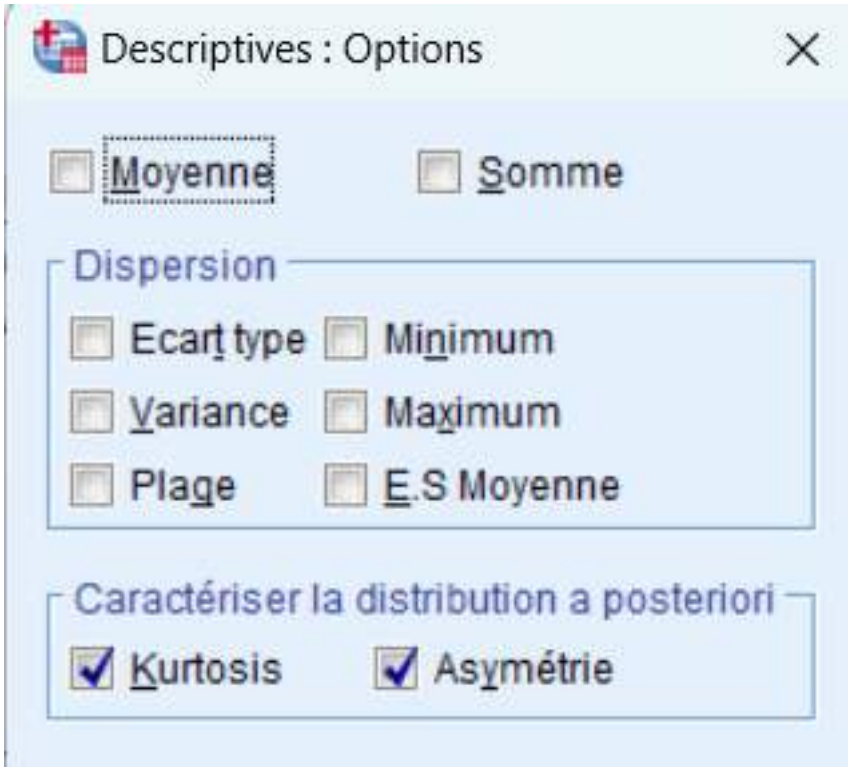


Figure 36: Menu Options Descriptive

Résultat:

Statistiques descriptives

	N	Skewness		Kurtosis	
	Statistiques	Statistiques	Erreur standard	Statistiques	Erreur standard
Moment de force [Nm]	5000	-,028	,035	,050	,069
Vitesse de rotation [rpm]	5000	2,145	,035	8,501	,069
N valide (liste)	5000				

Figure 37 : Tabelau des statistique descriptives

II.4.3.3. Interprétation

Selon le tableau ci-dessus, On remarque que pour le moment de la force on a Skewness=-0,028 et Kurtosis=0,069 et alors Skewness<1 et Kurtosis<1,5
alors on peut dire que le moment de la force suit la loi normale.
Pour la vitesse de rotation Skewness=2,145>1 et Kurtosis=8,5>1,5 donc on peut dire la vitesse de rotation suit pas la loi normale.
Cependant ,il est nécessaire de noter qu'il faut réaliser des tests supplémentaires qu'on va les voir dans les chapitres suivants pour Conclure définitivement la normalité des variables.

II.4.4. Représentations graphiques

Dans l'analyse des données, les représentations graphiques jouent un rôle essentiel pour visualiser et interpréter les relations et les tendances.
On va traiter quelques graphiques les plus utilisés : le diagramme à secteurs, le diagramme a barre, l'histogramme , la boite a moustache et le graphique nuage de points.

II.4.4.1 Le diagramme à secteurs

II.4.4.1.1. Rappel théorique

Le diagramme a secteurs permet de représenter graphiquement les proportions occupées par chacune des valeurs d'une variable catégorielle. Il permet de visualiser exactement la même information que celle offerte par la table de fréquences.

II.4.4.1.2. Procédure SPSS

On commence par cliquer sur Graphiques dans la barre d'outils, puis sur Boites de dialogue ancienne version dans le premier menu déroulant. Ensuite, on sélectionne Circulaire.

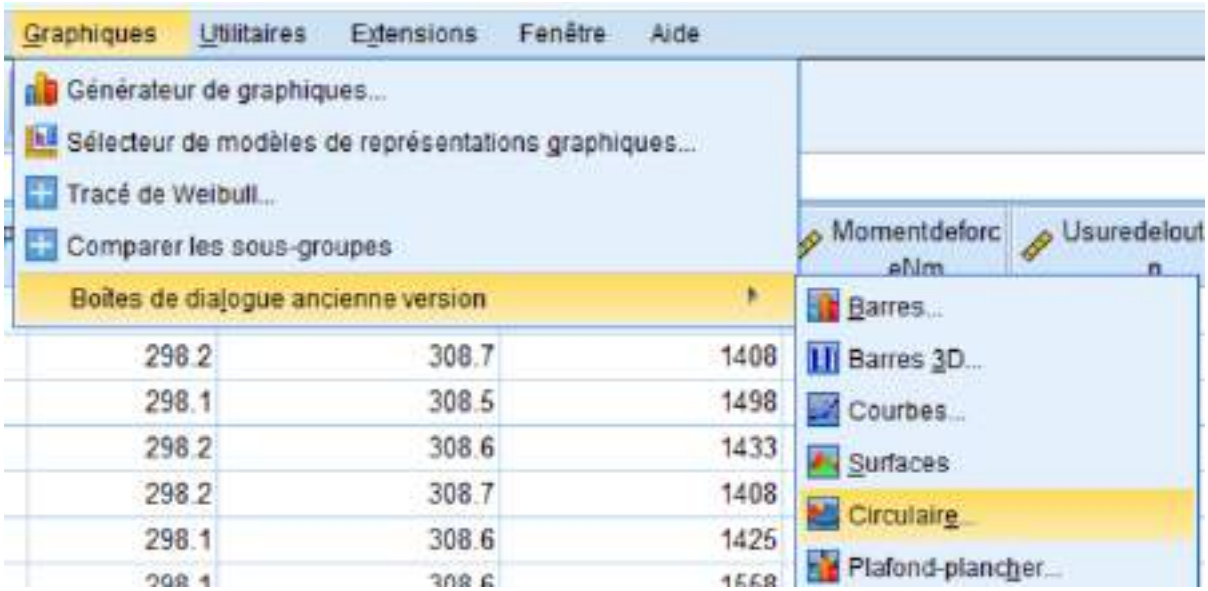


Figure 38 : Menu graphique.

Ensuite on choisit l'option Récapitulatifs pour groupes d'observations, pour visualiser le nombre d'occurrences en proportion pour chaque valeur de la variable catégorielle

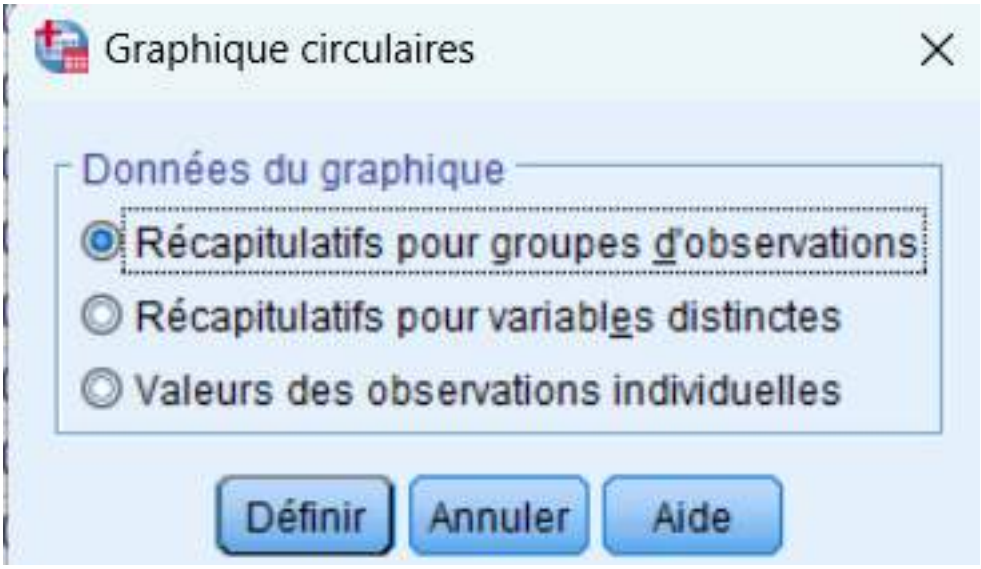
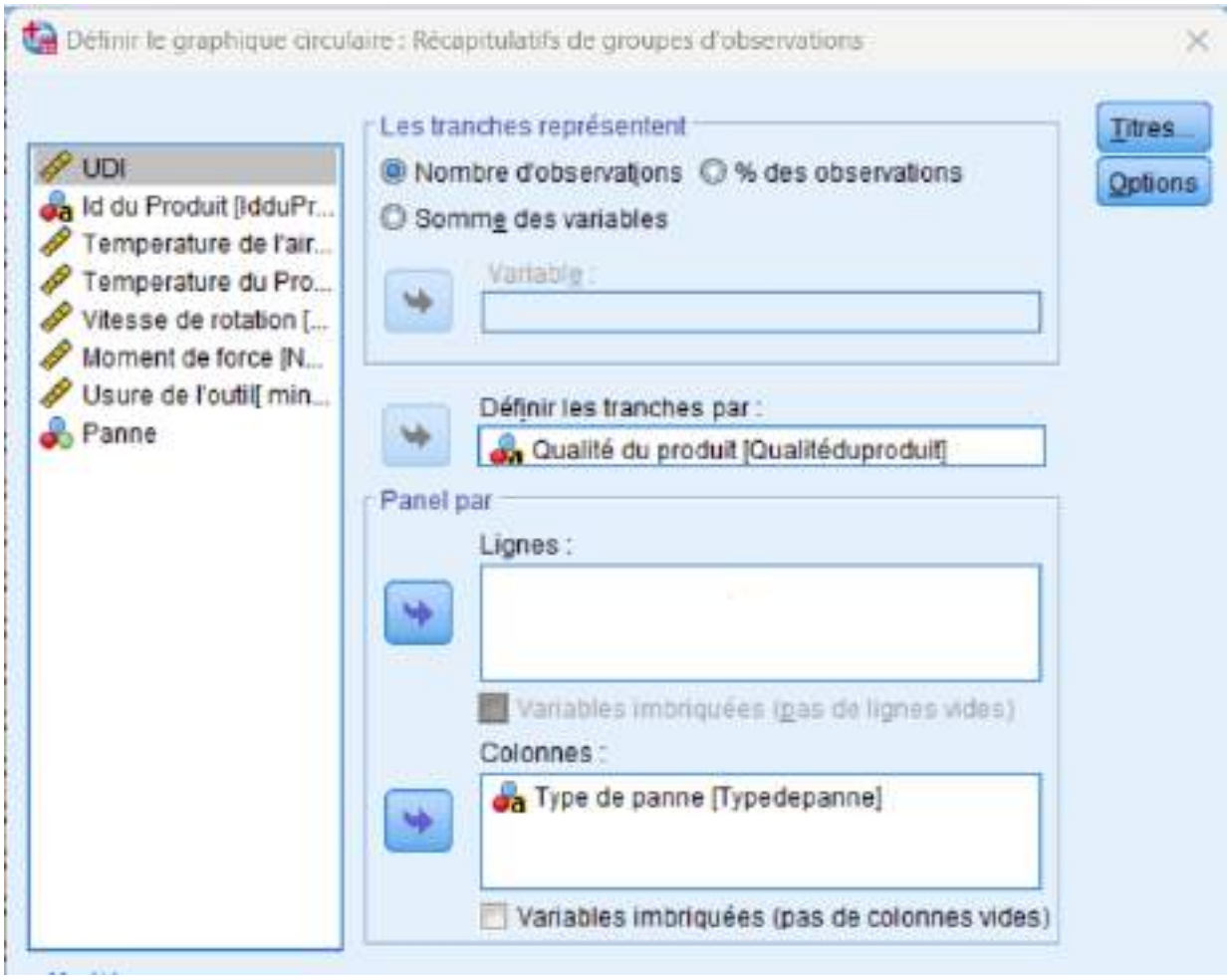


Figure 39 :Données du graphique.

Après on entre la variable qui va définir les tranches et puis les variables qui vont constituer ces tranches



Le résultat :

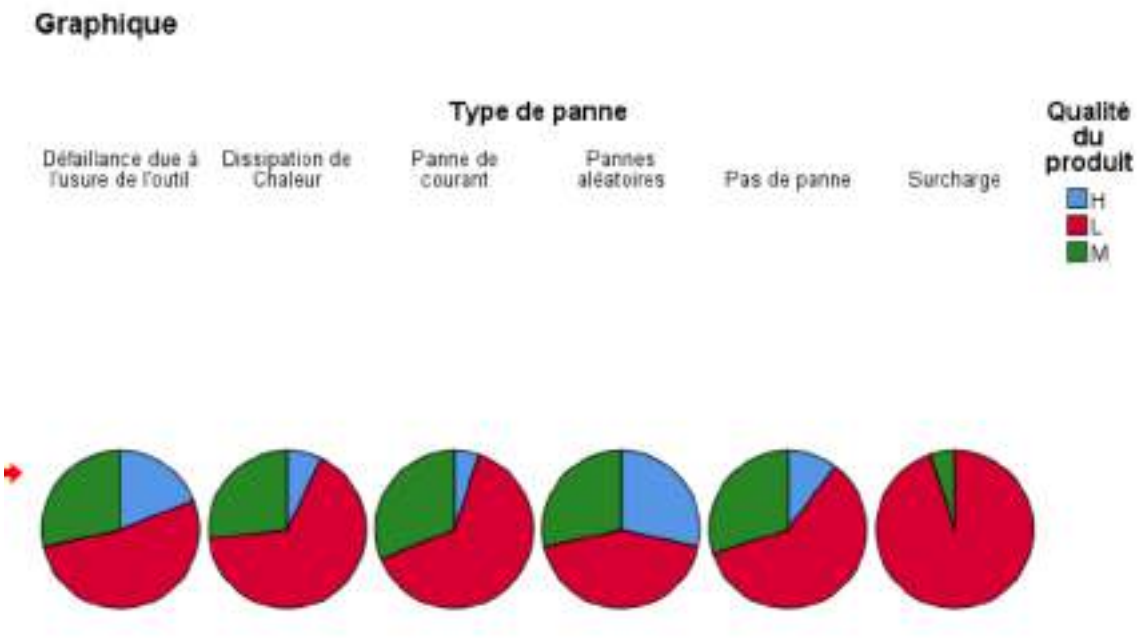


Figure 40 :Diagramme de Camembert

II.4.4.1.3 .Interprétation

On peut remarquer que la qualité du produit L c'est à dire faible est la plus dominante dans tout les types de pannes et donc on peut conclure que les pannes peuvent produire des produits de qualité faible mais il faut réaliser plus d'analyses pour conclure définitivement ce résultat.

II.4.4.2 Le diagramme à barres

II.4.4.2.1. Rappel théorique

Un diagramme à barres avec des clusters, également appelé diagramme à barres groupées, est un type de représentation graphique utilisé pour comparer des catégories différentes au sein de groupes. Il permet de visualiser les différences entre les valeurs de chaque catégorie et de les comparer entre les groupes.
La hauteur d'une barre représente la moyenne obtenue par un sous-groupe. L'échelle verticale permet d'estimer la moyenne de chacun des sous-groupes.

II.4.4.2.2. Procédure SPSS

On commence par cliquer sur Graphiques dans la barre d'outils, puis sur Boites de dialogue ancienne version dans le premier menu déroulant. Ensuite, on sélectionne Barre.

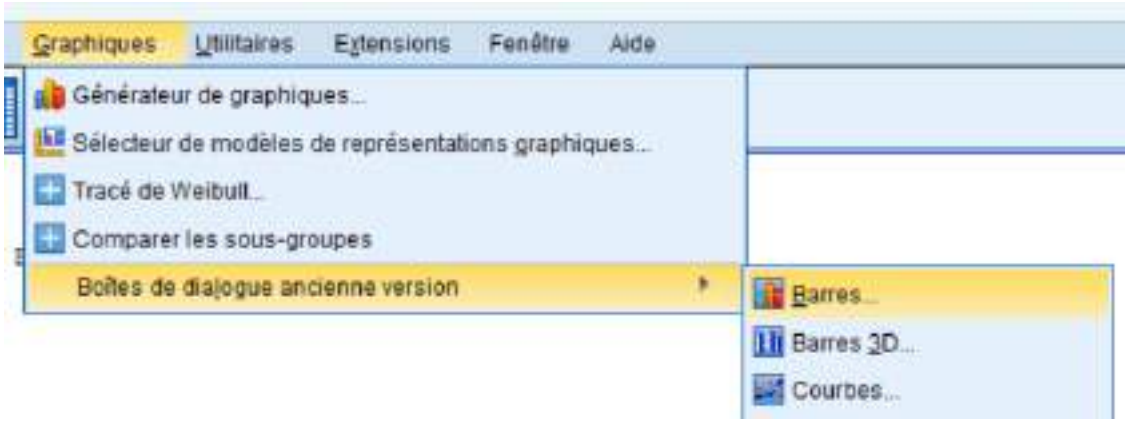


Figure 41: Menu graphiques.

On choisit l'option en cluster

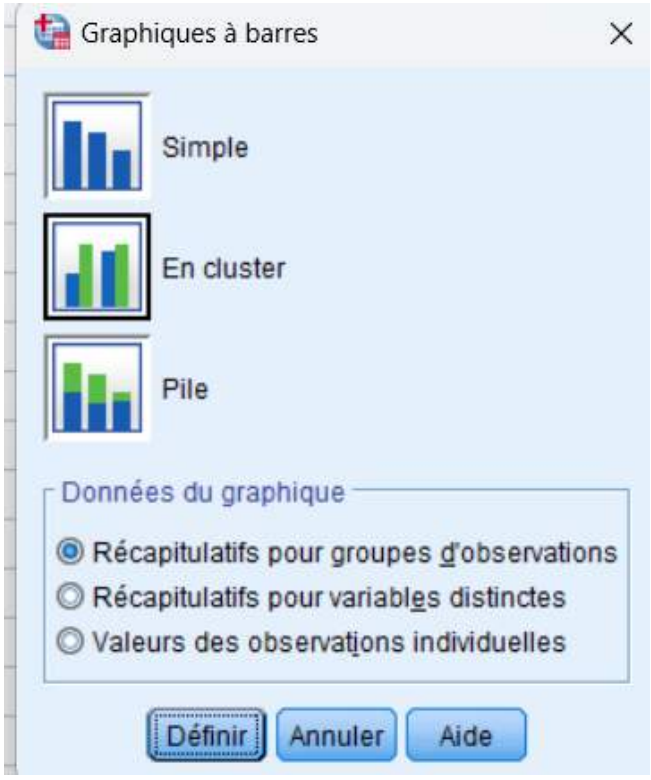


Figure 42: Options Graphiques à barres

Le résultat:

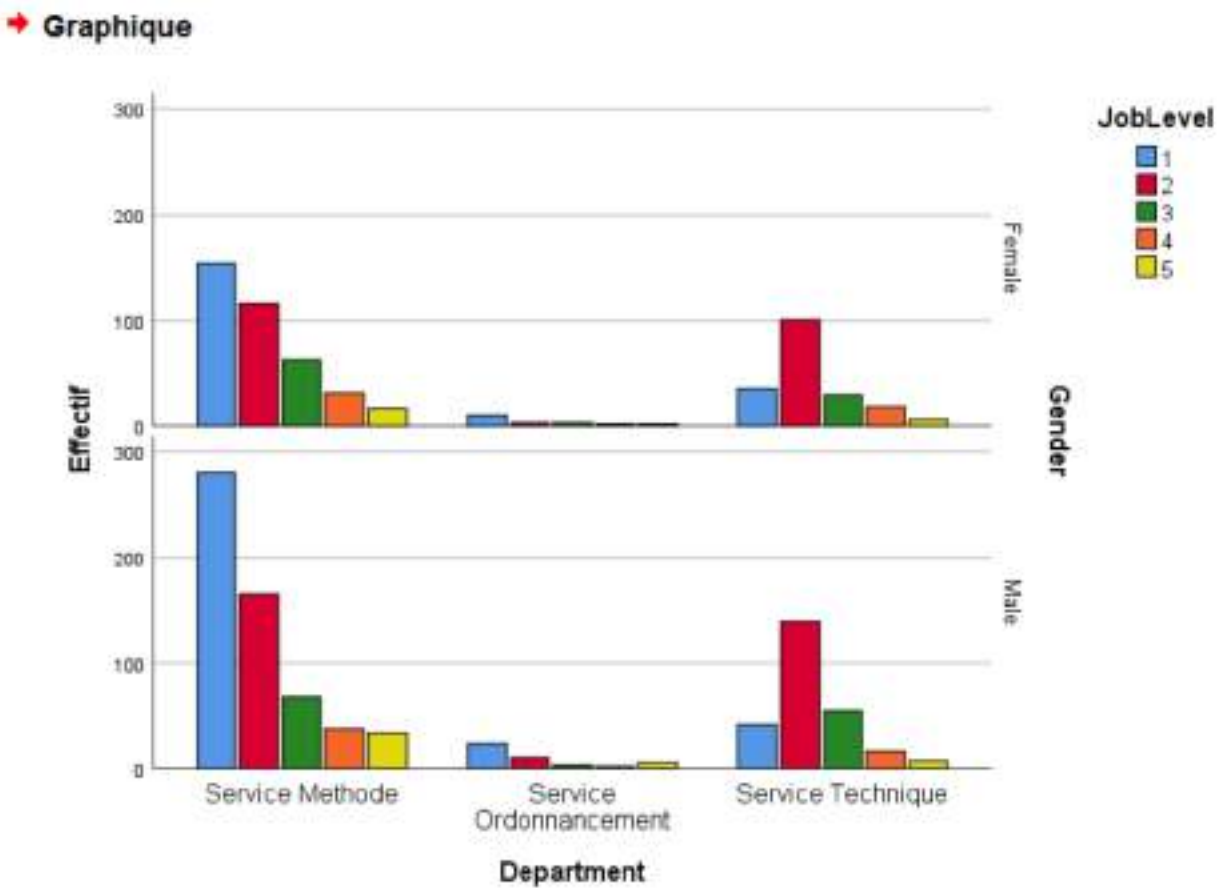


Figure 43: Résultat de menu graphiques à barres.

II.4.4.2.3. Interprétation

On a utilisé le graphique à barres pour les données de ressources humaines dans l'atelier de maintenance. On a choisit de visualiser la proportion du Job level par service et par sexe. On a trois services :service méthode ,service ordonnancement et service technique. Pour le Job level , on a cinq niveaux.
On peut constater que les personnes avec un niveau 1 sont les plus dominant dans le service méthode et le service ordonnancement peu n'importe leur sexe.
Pour le service technique c'est le niveau 2 qui domine.

II.4.4.3. L'Histogramme

II.4.4.3.1. Rappel théorique

Un histogramme est un type de graphique utilisé pour représenter la répartition des données numériques en différentes plages ou classes. Il est particulièrement utile pour visualiser la distribution de fréquences ou de densités dans un ensemble de données.
Parmi les étapes primordiales pour tracer un histogramme :

- Choisir le nombre de classes (colonnes) qui est la racine carrée du nombre d'échantillons

- Choisir l'intervalle I = étendue / nombre de colonnes (étendue = Max - min)

II.4.4.3.2. Procédure SPSS

On commence par choisir le menu analyse et puis on clique sur analyse descriptive et puis on choisit Fréquence

Figure 44: Menu Analyse

Après on choisit la variable dont on veut faire l'histogramme, dans notre étude on choisit de visualiser la variable moment de force

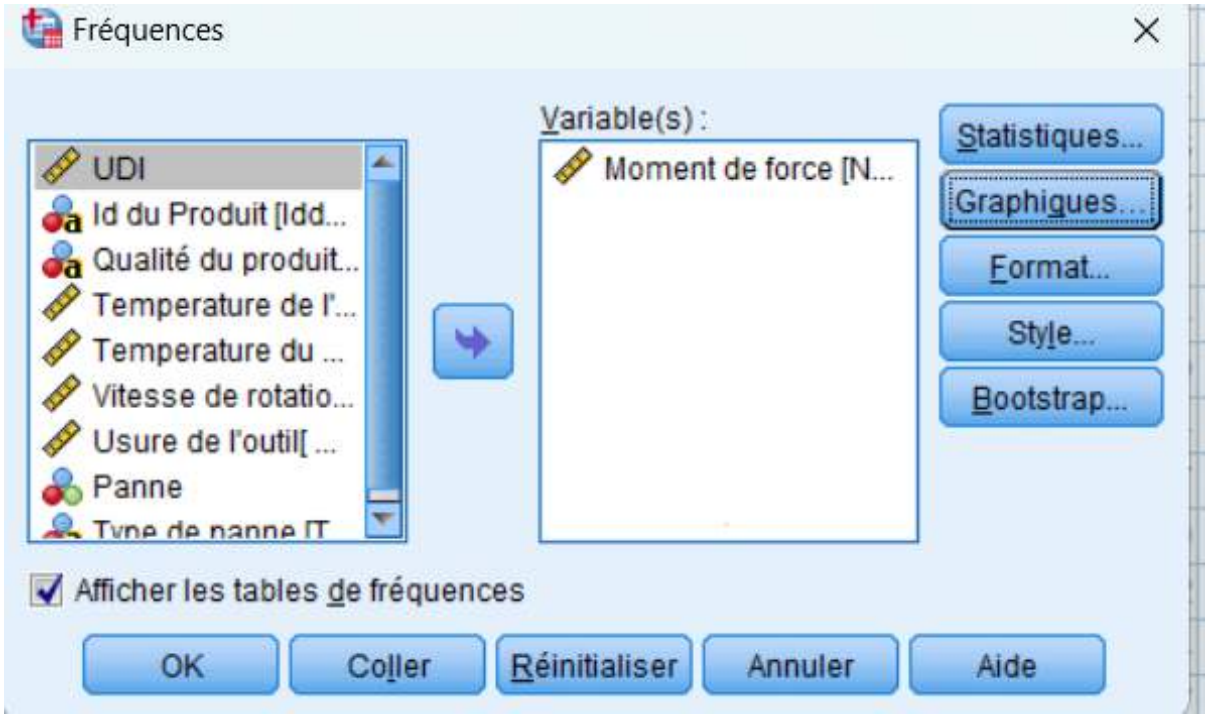


Figure 45 : Menu Frequence

L'option graphique va nous permettre de créer notre histogramme avec sa courbe gaussienne.

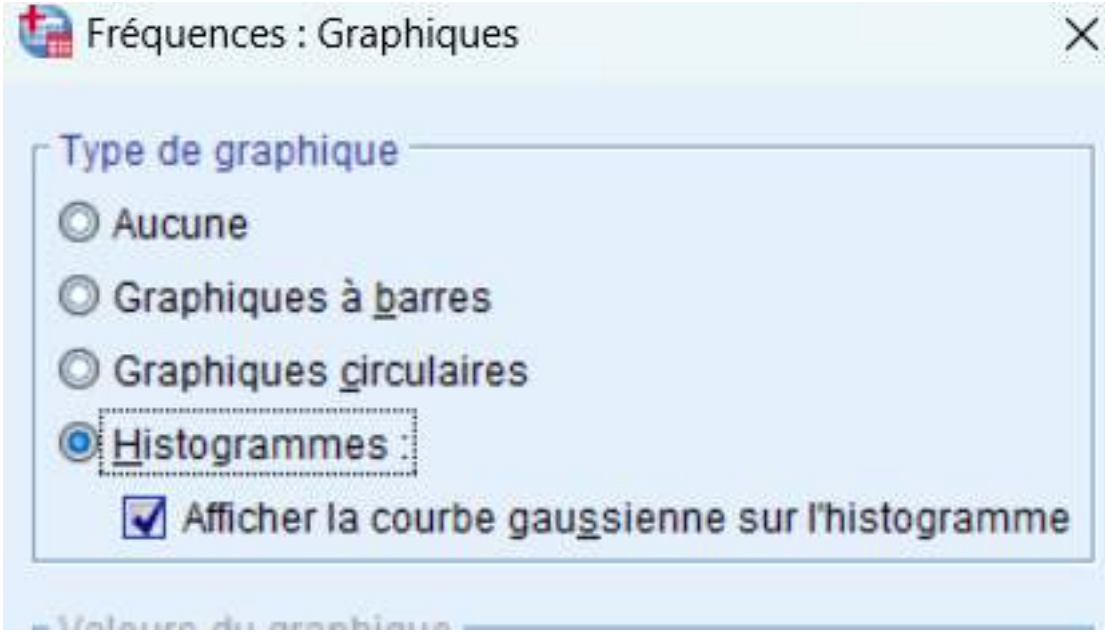


Figure 46: Option graphiques dans le menu fréquence

Résultat :

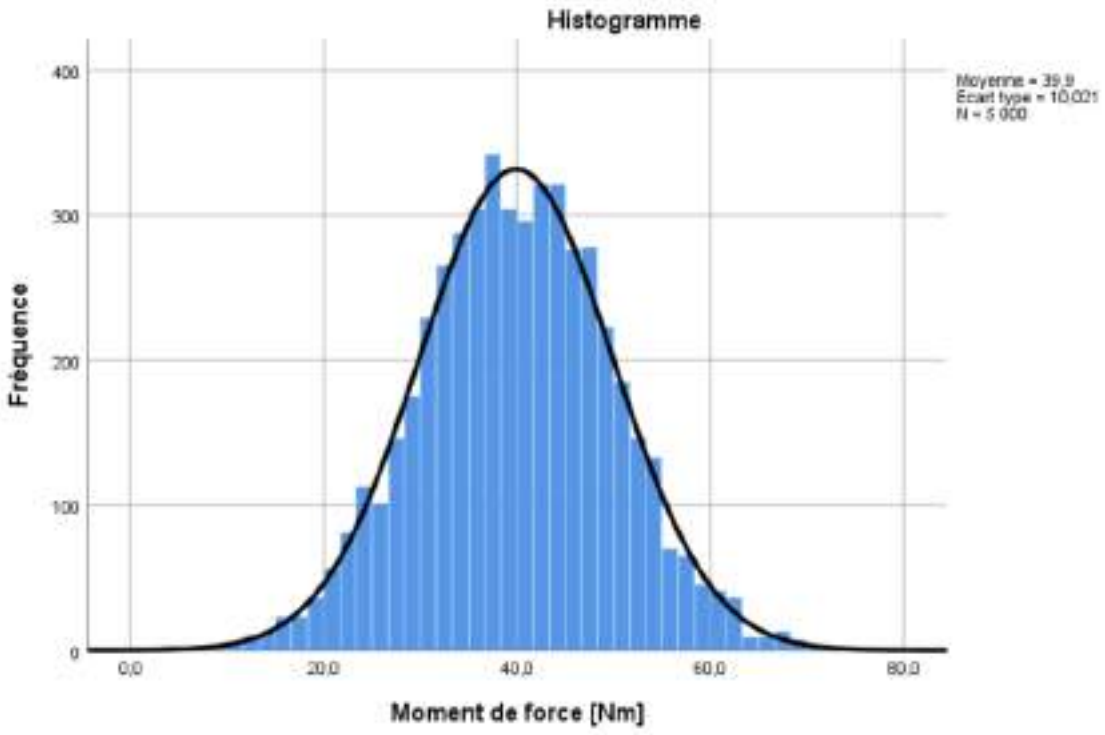


Figure 47: Histogramme de moment de force

II.4.4.3.3. Interprétation

Selon l'histogramme du moment de force on peut conclure que notre variable suit la loi normale mais on va réaliser d'autre tests dans le deuxième chapitre qui vont nous permettre de vérifier ceci.

II.4.4.4. Boite à moustaches

II.4.4.4.1. Rappel théorique

Les boites à moustaches permettent de visualiser plusieurs paramètres de distribution d'une variable : la médiane, l'intervalle interquartile et la valeur maximale et minimale de la distribution.
Elle permet de comparer rapidement les distributions de différentes variables ou groupes de données, d'identifier les valeurs extrêmes et de détecter d'éventuelles asymétries dans la distribution.
La boîte représente la plage interquartile, c'est-à-dire la distance entre le premier quartile (Q1) et le troisième quartile (Q3). Elle contient donc 50% des observations.
La longueur verticale de la boite représente l'intervalle interquartile .
La ligne médiane à l'intérieur de la boîte représente la médiane des données, qui divise l'ensemble des observations en deux parties égales.

II.4.4.4.2. Procédure SPSS

On sélectionne le menu graphiques et puis Boites de dialogue ancienne version, puis Boite à moustaches.

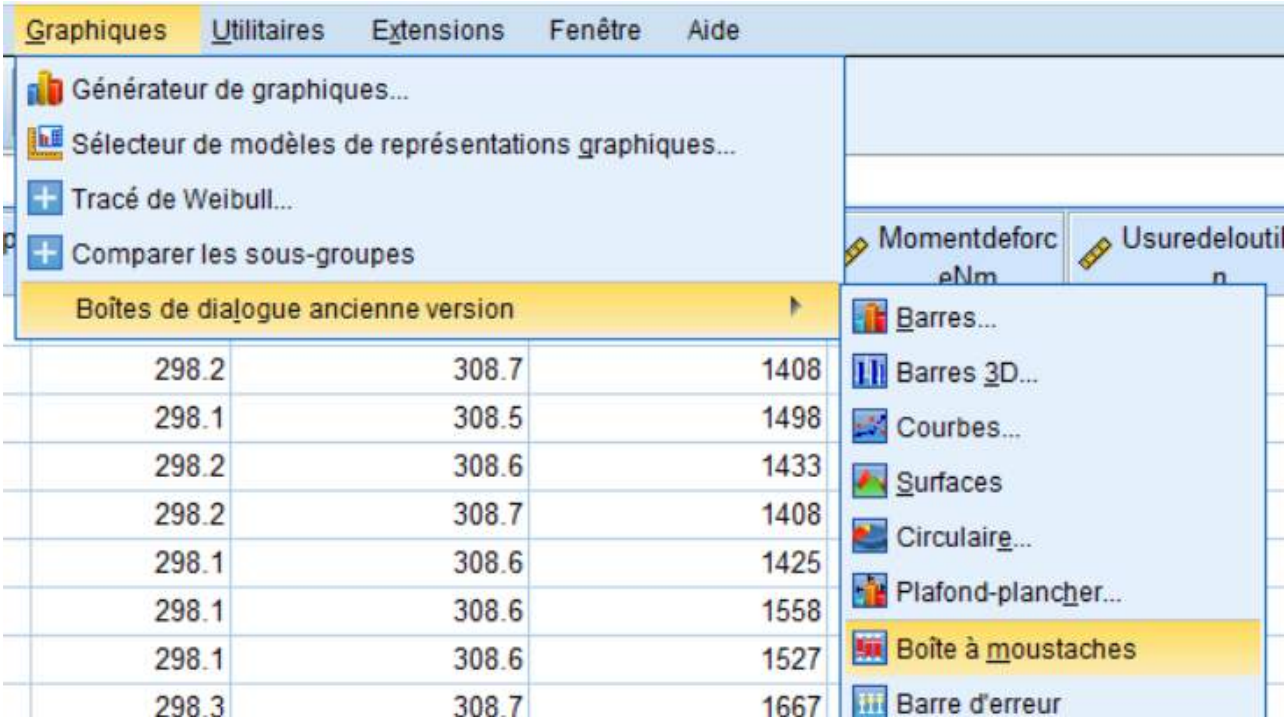


Figure 48 : Menu Graphiques

Après on choisit notre variable qui est le moment de la force et après on choisit l'axe des catégories qui est la qualité du produit

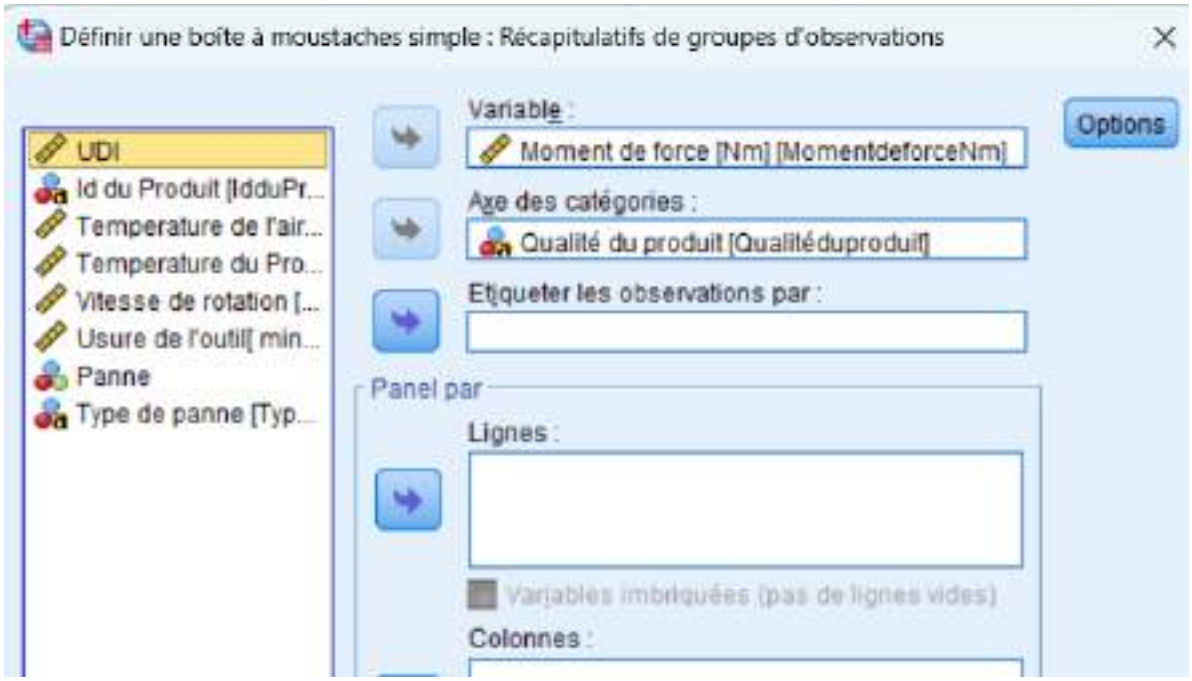


Figure 49 : Menu boite à moustaches

Résultat :

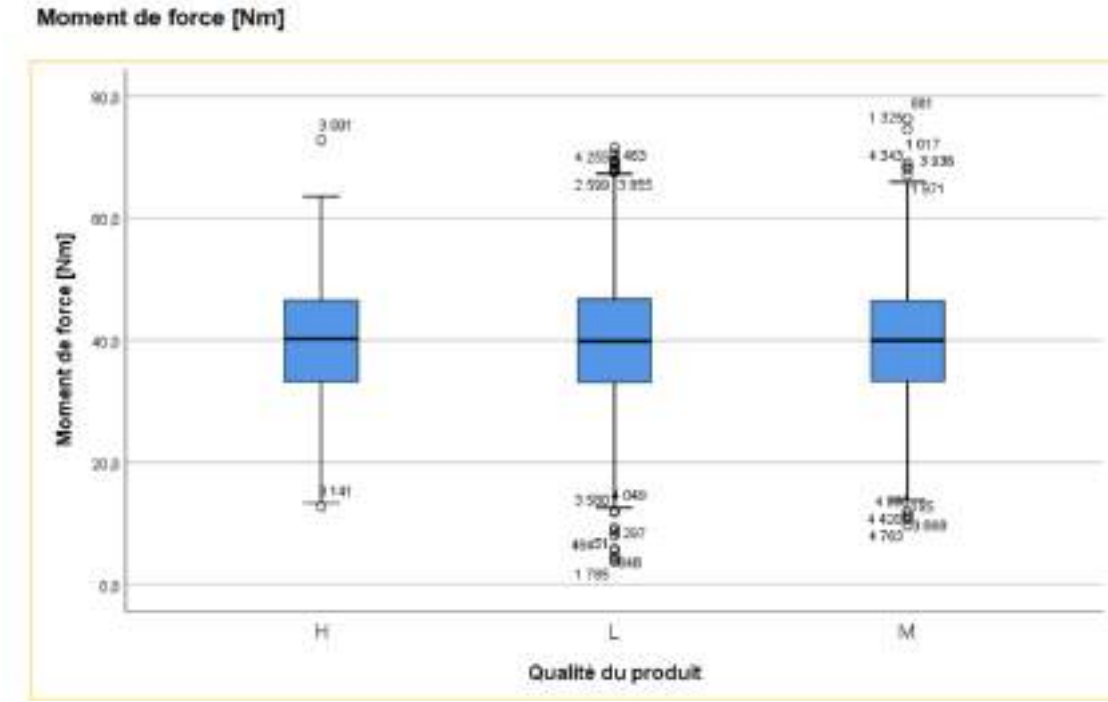


Figure 50 : Boite à moustaches du moment de la force

II.4.4.4.3. Interprétation

Selon la boite à moustache , on remarque qu'on a pas beaucoup de variabilité du moment de la force entre la qualité du produit et en plus on remarque que la médiane reste la même qui est 40 dans toute les qualités du produit.
On peut même conclure qu'on a pas d'asymétrie car la médiane est dans le milieu de la boite.

II.5.Analyse bivariée

L'examen de variables uniques est une première lecture nécessaire des résultats mais elle ne présente pas de véritable intérêt en termes d'analyse. Les descriptions faites sur les variables soulèvent toute une série de questions sur leurs relations, qui devront être mises en lumière en les rapprochant deux à deux dans des analyses bivariées. Les tris croisés, par exemple, permettent d'examiner les relations entre deux ou plusieurs variables. Ces relations peuvent être symétriques -l'analyse cherche à mesurer la liaison entre les deux variables et à en tester la signification -, ou dissymétriques - l'analyse cherche à expliquer les variations d'une variable dépendante par les variations d'une variable indépendante

II.5.1.Tri croisé

II.5.1.1.Rappel théorique:

Les tableaux croisés à deux ou plusieurs modalités sont en général complétés par des mesures d'association qui permettent de démontrer la signification statistique d'une association observée entre les variables. Ces tests seront développés dans la section suivante. Les tris croisés ont pour objet de rassembler dans un tableau unique les distributions de fréquences ou d'effectifs de deux ou plusieurs variables. Ce premier outil d'analyse des relations entre deux variables, ou relations bi variées, permet de répondre à des questions reliées au variables qui se posent dès l'origine de l'étude ou

de mettre en lumière des relations dont on soupçonne l'existence à l'issue des traitements réalisés variable par variable. Le principe du tableau croisé est de proposer une ventilation des fréquences de réponse par variable et par modalité.

II.5.1.2.Procédure SPSS :

La procédure tableau croisé est disponible sous Analyse dans la barre d'outils. Dans le menu Statistiques descriptives, puis on sélectionne Tableaux croisés.

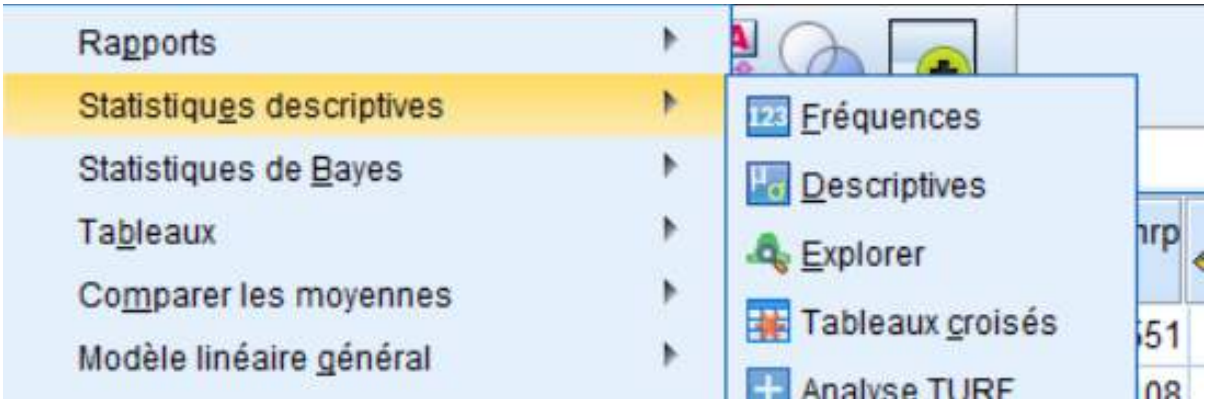


Figure 51: Boite de choix Analyse Bivariée

On choisit les variables à étudier dans les tableaux.

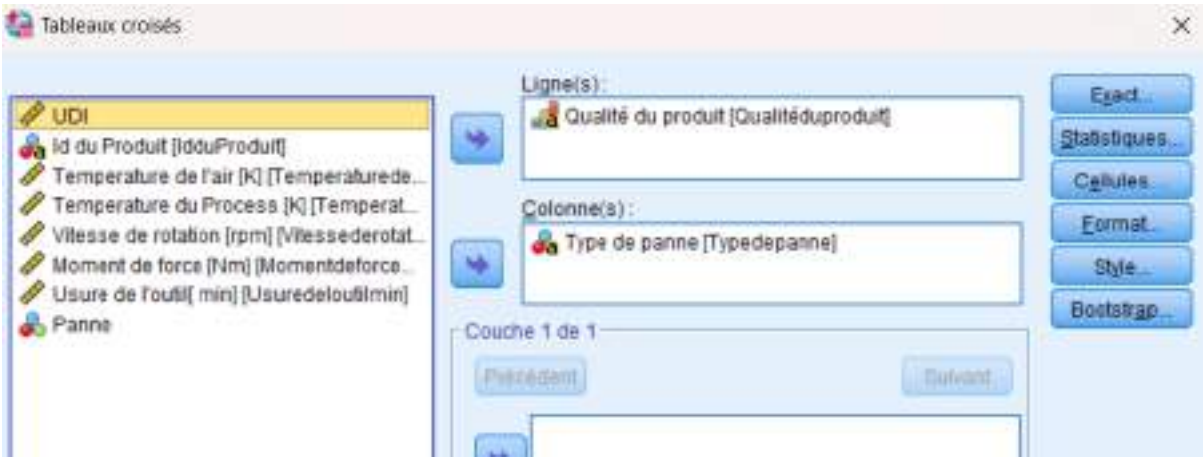


Figure 52: Boite de Tableaux croisés

On indique si on désire afficher les graphiques à barres en cluster

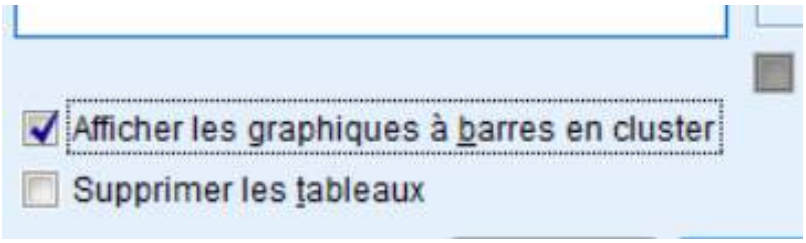


Figure 53: Menu pour choisir les graphiques à barres en cluster

Résultat :

Le premier tableau le nombre de type de panne qui ont fait partie de l'analyse effectuée, et le deuxième tableau représente le tableau croisé.

Tableaux croisés

Récapitulatif de traitement des observations

	Observations					
	Valide		Manquant		Total	
	N	Pourcentage	N	Pourcentage	N	Pourcentage
Qualité du produit * Type de panne	5000	100,0%	0	0,0%	5000	100,0%

Tableau croisé Qualité du produit * Type de panne

Effectif

		Type de panne						
		Défaillance due à l'usure de l'outil	Dissipation de Chaleur	Panne de courant	Pannes aléatoires	Pas de panne	Surcharge	Total
Qualité du produit	H	4	8	3	2	488	0	505
	L	11	74	37	3	2849	38	3012
	M	6	30	18	2	1425	2	1483
Total		21	112	58	7	4762	40	5000

Figure 54: Tableau croisé

Diagramme de type de panne en effectif en fonction de la qualité du produit .

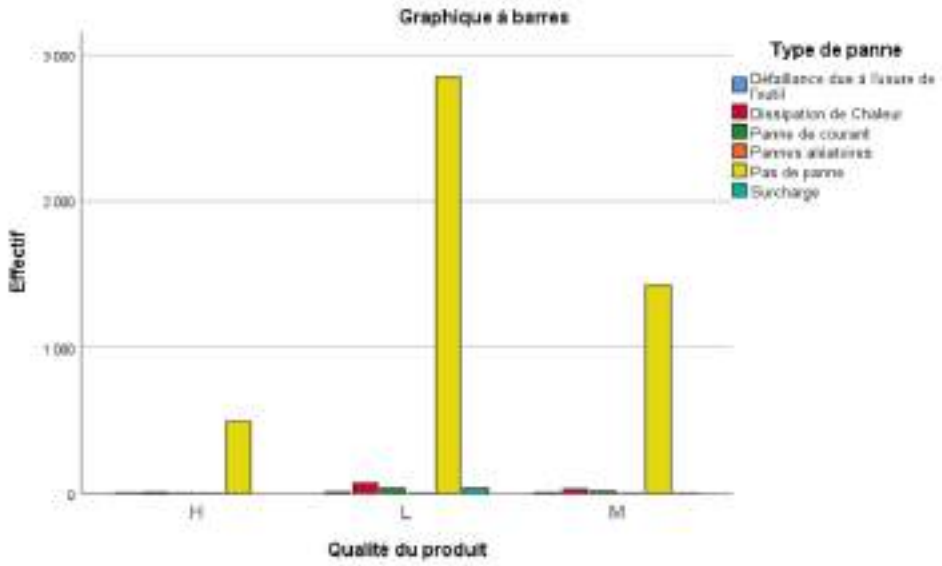


Figure 55: Graphique à barres

II.5.1.3.Interprétation :

On a une description des types de qualité du produit en fonction de type de la panne. On remarque que ces deux paramètres sont critiques.La panne est plus élevé à la qualité Minimale puis la qualité Moyenne.

II.5.2. Test de Khi-deux

II.5.2.1.Rappel théorique:

Les tris croisés ne permettent pas de démontrer l'existence d'une association de deux variables du point de vue statistique. Pour mesurer véritablement la relation entre les variables, il est nécessaire de mettre en place des tests de signification statistique. Le test du khi-deux pour vérifie l'association de deux variables qualitatives (nominales ou ordinales).

On cherche à vérifier si l'association des deux variables est suffisamment forte pour que l'hypothèse de leur indépendance puisse être rejetée.

L'hypothèse nulle H0:l'absence de relation, Nous pouvons aussi dire que les deux variables sont indépendantes. L'indépendance signifie que la valeur d'une des deux variables ne nous donne aucune information sur la valeur possible de l'autre variable.
L'hypothèse alternative H1: Il existe une relation entre les variables ou que les deux variables sont dépendantes.

La loi du khi-deux suit une distribution asymétrique dont la forme dépend du nombre de degrés de liberté n. Le nombre de degrés de liberté varie en fonction du nombre de modalités des variables et se calcule de la manière suivante; (1-1) x (c-1). On rejettera l'hypothèse nulle d'indépendance entre les variables si le X calculé est supérieur à la valeur de référence du X se trouvant dans la table de khi-deux pour n degrés de liberté (en lignes dans la table) et pour un a (niveau de risque de se tromper en rejetant l'hypothèse nulle donné en colonnes, Ainsi, si elle est inférieure à 5 %, on rejette l'hypothèse d'indépendance entre les deux variables, qui sont alors significativement associées.

Il est possible d'apprécier la force de l'association entre les variables en utilisant des mesures qui sont basées sur la statistique Chi-deux. Le résultat de ces tests se situe entre 0 et 1.
Les plus fréquemment utilisés sont le Phi et le V de Cramér.
Coefficient Phi : cette mesure d'association est pertinente pour les tableaux 2×2 seulement. La valeur s'interprète directement selon les balises de taille d'effet de la corrélation de Pearson
V de Cramér : cette mesure d'association est valable pour tous les tableaux plus grands que 2×2. Il est basé sur le coefficient de contingence, qui est une mesure de la différence entre les fréquences observées et les fréquences attendues dans chaque cellule du tableau de contingence
Plus la valeur de V de Cramer et de Phi est proche de 1, plus la relation entre les variables est forte.

II.5.2.2.Procédure SPSS :

Dans Analyse dans la barre d'outils on choisit dans le menu Statistiques descriptives puis Tableaux croisés.

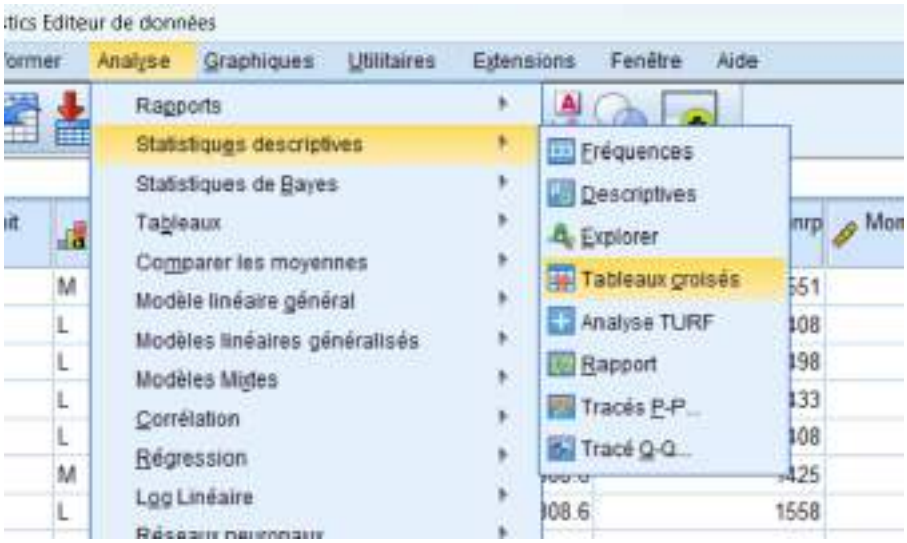


Figure 56: Boite de choix Analyse

Dans cette boite de Menu on choisit la variable en Ligne et la variable en Colonne

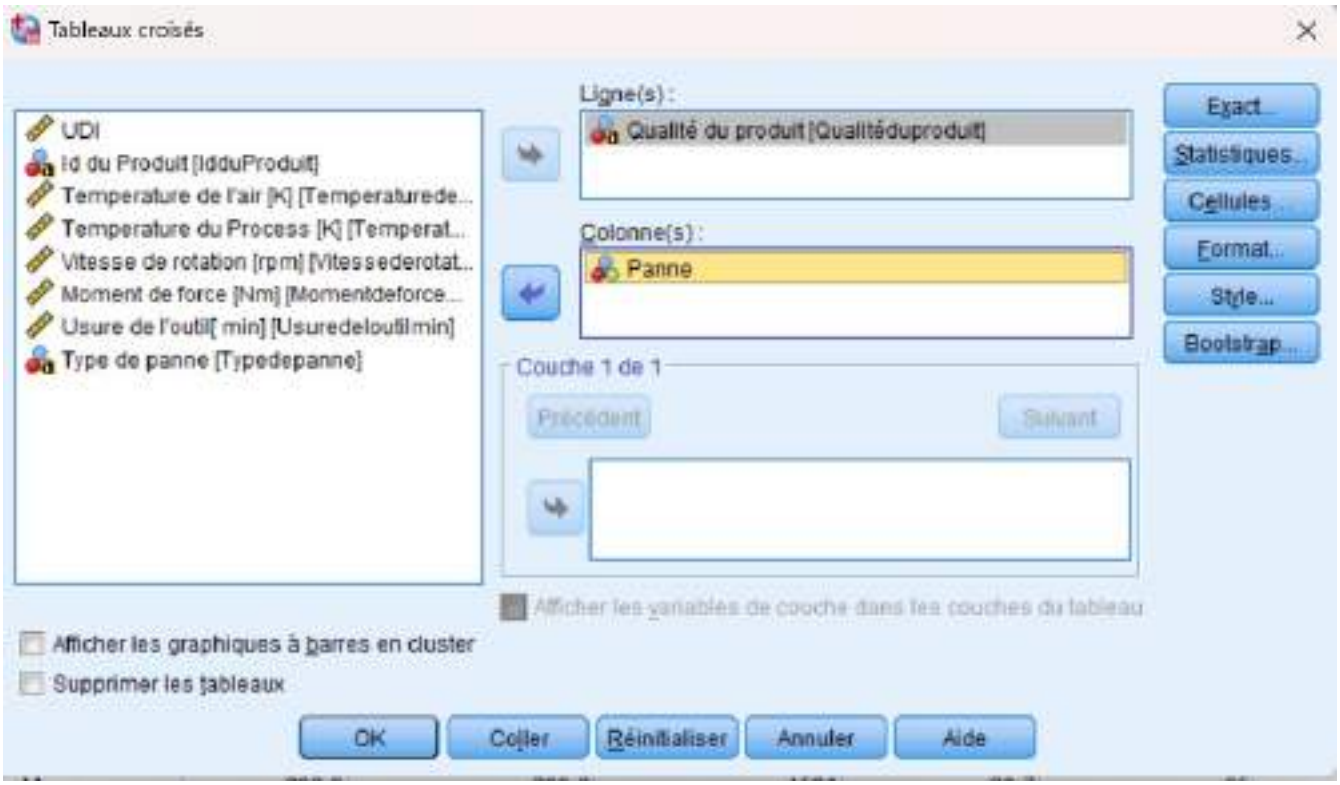


Figure 57: Menu de choix pour l'étude Test de Khi deux

En cliquant sur le bouton Statistiques on peut choisir le type de test pour évaluer s'il y a une association significative entre les variables. Dans notre cas, on va choisir le test de Khi-carré. Puis on sélectionné Phi et V de Cramer pour voir les mesures symétrique.

Figure 58: Boite de Menu Choix de l'Analyse Statistique

Résultat:

On a en sortie Le tableau croisé et le test de Khi-deux qu'on compare ses résultat avec la valeur 0,05.

Tableau croisé Qualité du produit * Panne

Effectif

		Panne 0	Panne 1	Total
Qualité du produit	H	489	16	505
	L	2862	150	3012
	M	1424	59	1483
Total		4765	235	5000

Tests du khi-carré

	Valeur	ddl	Signification asymptotique (bilatérale)
Khi-carré de Pearson	6,888[a]	2	,032
Rapport de vraisemblance	7,211	2	,027
N d'observations valides	5000		

a. 0 cellules (0,0%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de 23,74.

Figure 59: Tableau de Tests de Khi-carré

Le Tableau de Phi et V de Cramer qui ne sont pas significatifs dans notre étude car n'a pas une matrice carré

Mesures symétriques

		Valeur	Signification approximative
Nominal par Nominal	Phi	,037	,032
	V de Cramer	,037	,032
N d'observations valides		5000	

Figure 60: Tableau des mesures symétriques

II.5.2.3.Interprétation :

Cela consiste a voir la valeur significative (Sig.(bilatéral) dans le tableau fournit par SPSS et comparer cette valeur avec le seuil alpha 0,05. Si cette valeur est supérieur a 0,05 on accepte l'hypothèse nulle H0 sinon on accepte l'hypothèse alternative H.
Dans notre cas ,selon le tableau fournit par SPSS, la valeur significative est égale a 0.032<0.005 , donc on rejette l'hypothèse nulle et alors il y'a pas une différence significative entre la moyenne de l'échantillon et la moyenne de la population et on accepte l'hypothèse alternative H1 qui dit qu'on a une relation entre la qualité du produit et la présence de panne.

Pour Phi et V de Cramer, dans notre cas on a un tableau 3×2, donc on ne peut pas utiliser ces deux paramètres.

II.6. Tests paramétriques de comparaison des moyennes

Les tests paramétriques de comparaison des moyennes sont des tests statistiques utilisés pour comparer les moyennes de deux groupes ou plus de données continues. Ils sont appelés tests paramétriques car ils sont basés sur des hypothèses sur la distribution des données, en particulier l'hypothèse de normalité.
Le test t de Student est l'un des tests paramétriques les plus couramment utilisés pour comparer les moyennes de deux groupes. Il est utilisé lorsque les données suivent une distribution normale et que les variances des deux groupes sont égales ou peuvent être considérées comme égales

II.6.1.Test t pour échantillon unique

Un **échantillon unique** est un groupe de participants ou d'observations qui ont été recueillis à partir d'une seule population

II.6.1.1. Test de normalité

On va utiliser Le test de Kolmogorov-Smirnov qu'on va plus détailler dans les chapitres suivants pour vérifier la normalité de nos variables, pour choisir les variables sur lesquelles on va appliquer le test T

Récapitulatif du test d'hypothèse

	Hypothèse nulle	Test	Sig.	Décision
1	Les catégories de Id du Produit surviennent avec des probabilités égales.	Test du khi-carré d'un seul échantillon	1,000	Retenir l' hypothèse nulle.
2	Les catégories de Qualité du produit surviennent avec des probabilités égales.	Test du khi-carré d'un seul échantillon	,000	Rejeter l' hypothèse nulle.
3	Les catégories définies par Panne = 0 et 1 surviennent avec les probabilités 0,5 et 0,5.	Test binomial d'un seul échantillon	,000	Rejeter l' hypothèse nulle.
4	Les catégories de Type de panne surviennent avec des probabilités égales.	Test du khi-carré d'un seul échantillon	,000	Rejeter l' hypothèse nulle.
5	La distribution de UDI est normale avec une moyenne de 2 500 et un écart type de 1 443,520.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
6	La distribution de Temperature de l'air [K] est normale avec une moyenne de 299,8 et un écart type de 2,160.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
7	La distribution de Temperature du Process [K] est normale avec une moyenne de 309,5 et un écart type de 1,408.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
8	La distribution de Moment de force [Nm] est normale avec une moyenne de 39,9 et un écart type de 10,021.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,108[1]	Retenir l' hypothèse nulle.
9	La distribution de Usure de l'outil[min] est normale avec une moyenne de 109 et un écart type de 64,054.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
10	La distribution de Vitesse de rotation [rpm] est normale avec une moyenne de 1 541 et un écart type	Test Kolmogorov-Smirnov d'un	,000[1]	Rejeter l' hypothèse

*Figure 61: Récapitulatif du test d'*hypothèse *de* Kolmogorov Smirnov

On peut remarquer que seulement le Moment de la force suit la loi normale (Retenir l'hypothèse nulle) , et donc c'est la variable sur laquelle on va appliquer le test t.

II.6.1.2. Rappel Théorique

Le test directement lié à la statistique t de Student, qui suit une loi de Student à n-1 degrés de liberté, n étant la taille de l'échantillon. Normalement, ce test suppose que la variable est normalement distribuée. On cherche à tester si la moyenne dans la population, notée m, est égale à ou différente d'une moyenne de référence qu'on la note μ.
L'hypothèse nulle qui est testée dans cette situation d'analyse est la suivante :

$$H_0 \ m = \mu$$

Dans le cas du rejet de H0, l'hypothèse alternative (hypothèse de recherche) est la suivante :

$$H_1 \ m \neq \mu$$

Pour le calcul du score t:

$$\text{Score t} = \frac{X - \mu}{E\text{-}T} = \frac{\text{Moyenne observée} - \text{Moyenne population}}{\text{Erreur-type}}$$

$$\text{Erreur-type de la moyenne} = \frac{\text{Écart-type de l'échantillon}}{\sqrt{n}}$$

Avec n est la taille de l'échantillon

II.6.1.3. Procédure SPSS

On commence d'abord par le Choix du Pourcentage de l'intervalle de confiance

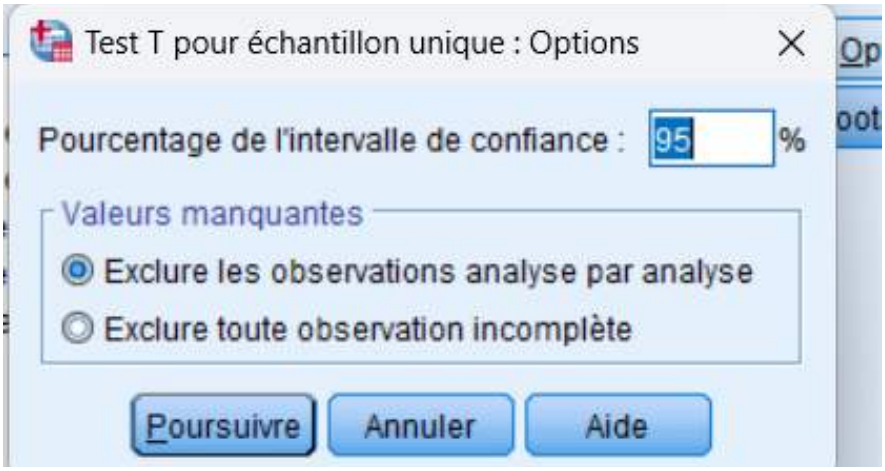


Figure 62: Options du test t pour échantillon unique

On clique sur le Menu Analyse puis Comparer les moyennes et puis on sélectionne le test t pour échantillon unique

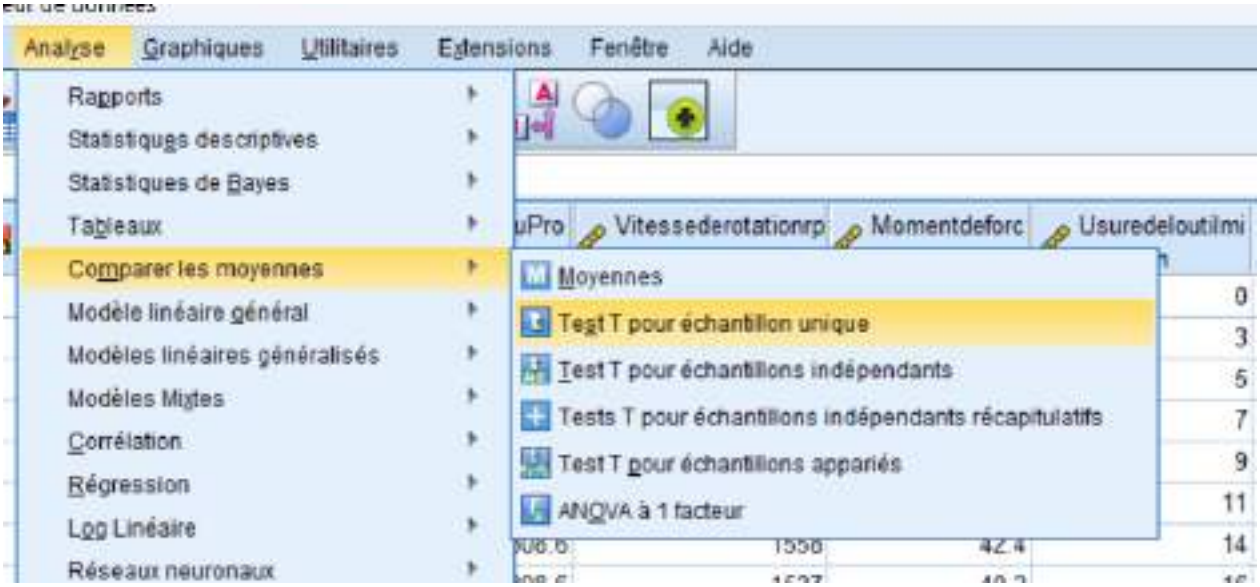


Figure 63 : Menu Analyse option Comparer les moyennes

Selon le test de normalité seul le Moment de la force suit la loi normale (Retenir l'hypothèse nulle) , et donc c'est la variable sur laquelle on va appliquer le test t.

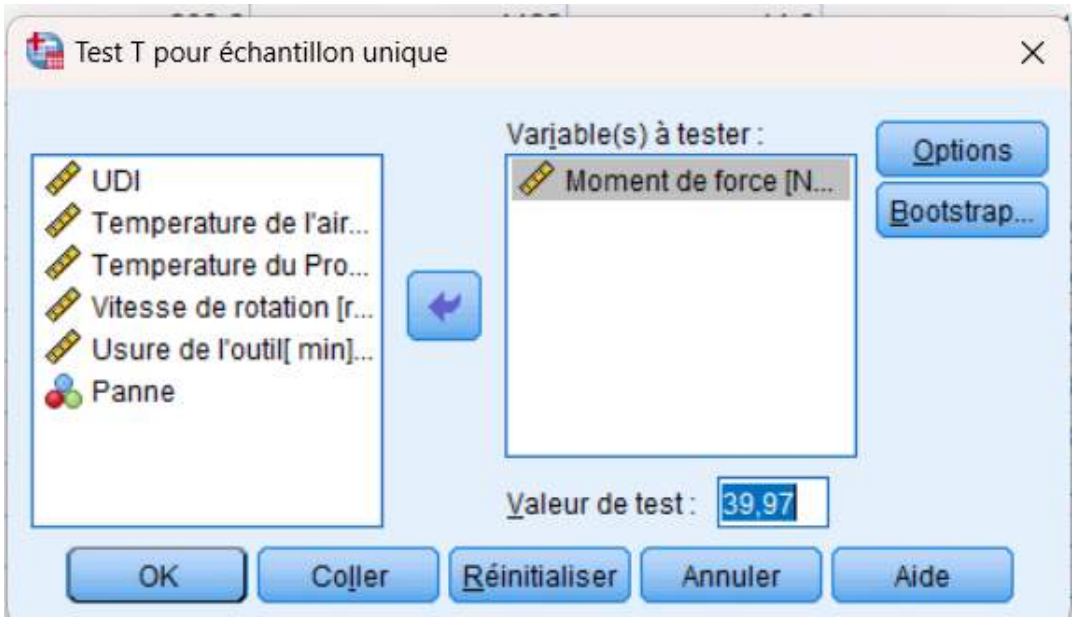


Figure 64:Variables pour le Test t pour échantillon unique

Résultat:

Test T

[Jeu_de_donnéeal] C:\Users\Yassine Zegroud\OneDrive\Bureau\AppSpssPfs.sav

Statistiques sur échantillon uniques

	N	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
Moment de force [Nm]	5000	39.897	10.0206	.1417

Test sur échantillon unique

	Valeur de test = 39.97					
					Intervalle de confiance de la différence à 95 %	
	t	ddl	Sig. (bilatéral)	Différence moyenne	Inférieur	Supérieur
Moment de force [Nm]	-.514	4999	.607	-.0729	-.351	.205

Figure 65 :Résultat du test t pour échantillon unique

II.6.1.4. Interprétation

On peut utiliser deux méthodes pour interpréter nos résultats:

La première méthode consiste a utiliser le tableau de distribution t pour trouver le seuil critique , en utilisant la degré de liberté (ddl) qui est dans notre cas n-1=5000-1=4999 et donc pour un intervalle de confiance de 95%, la valeur t critique correspondante serait d'environ 1,96. Cela signifie que si la valeur t observée est supérieure à 1,96 ou inférieure à -1,96, vous pouvez rejeter l'hypothèse nulle. On a t=-0,514 et donc on retient l'hypothèse nulle et alors il y'a pas un différence significative entre la moyenne de l'échantillon et la moyenne de la population.

La deuxième méthode consiste a voir la valeur significative (Sig.(bilatéral) dans le tableau fournit par SPSS :Elle indique la probabilité que l'effet observé soit dû au hasard et comparer cette valeur avec le seuil alpha 0,05. Si cette valeur est supérieur a 0,05 on accepte l'hypothèse nulle H0 sinon on accepte l'hypothèse alternative H.
Dans notre cas ,selon le tableau fournit par SPSS, la valeur significative est égale a 0,607>0.005 , donc retient l'hypothèse nulle et alors il y'a pas un différence significative entre la moyenne de l'échantillon et la moyenne de la population.

II.6.2.Test t pour échantillon indépendant: .

Un **échantillon indépendant** est un groupe de sujets ou d'observations qui ne sont pas liés ou dépendants les uns des autres. Dans notre cas ,on va prendre des mesures de deux échantillons indépendants dans deux jours consécutifs ou les conditions sont quasiment identiques.

II.6.2.1. Rappel Théorique

Les test t pour échantillon indépendant tester l'hypothèse nulle à partir de deux moyennes provenant de deux échantillons (ou sous-groupes) indépendants.
L'hypothèse nulle qui est testée est :Il n'y a pas de différence entre les moyennes des deux groupes dans la population

$$H_0 : \overline{X}_1 = \overline{X}_2 \quad \text{ou} \quad \overline{X}_1 - \overline{X}_2 = 0$$

L'hypothèse alternative est : il y a une différence entre les deux moyennes.

$$H_1 : \overline{X}_1 \neq \overline{X}_2$$

Calcul de la valeur t :

$$t = \frac{(X_1 - X_2) - 0}{S_{X1-X2}}$$

X1: La moyenne du 1er groupe
X2: La moyenne du 2ème groupe
$S_{X_1-X_2}$ L'erreur type de la différence de moyennes

$$S^2_{X1-X2} = \frac{(n_1 - 1)\,S^2 + (n_2 - 1)\,S^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}$$

S : La variance

n_1 Le nombre d'individus dans le premier groupe

n_2 Le nombre d'individus dans le deuxième groupe

II.6.2.2. Procédure SPSS

On clique sur le Menu Analyse puis Comparer les moyennes et puis on sélectionne le test t pour échantillons indépendants

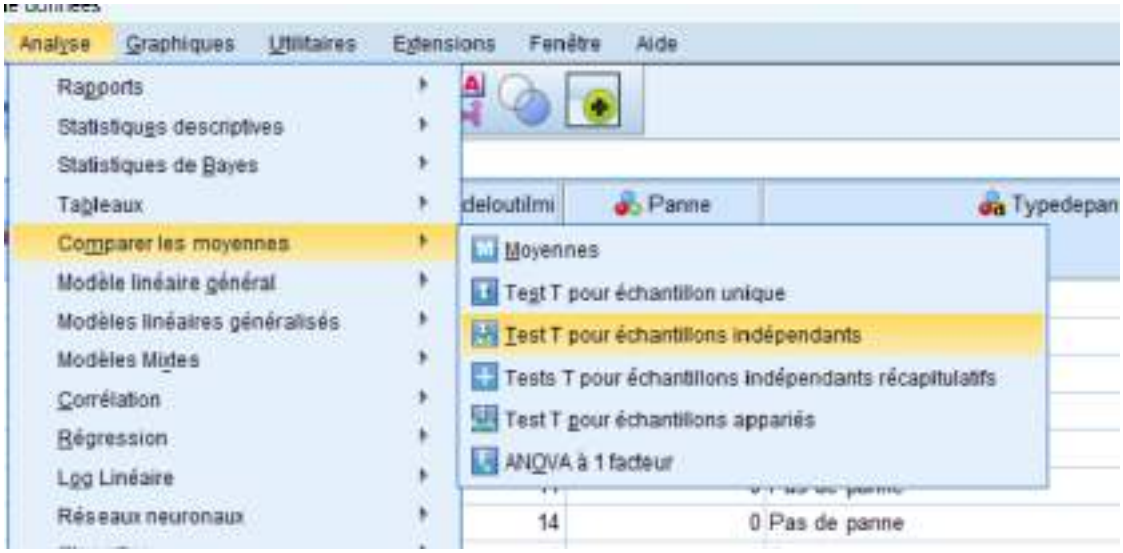


Figure 66 : Menu Analyse Comparer les moyennes

On commence par choisir le Pourcentage de l'intervalle de confiance

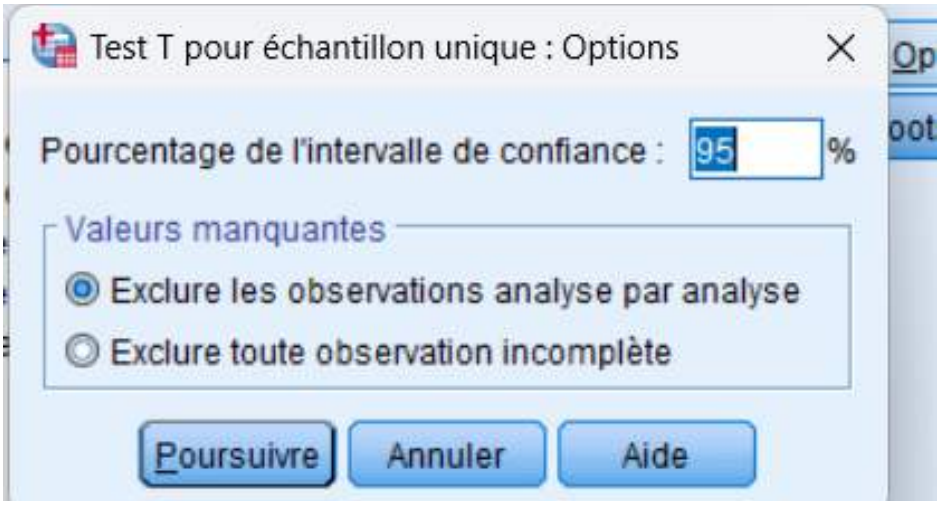


Figure 67 : Menu Test pour échantillon unique : Options

On choisit les variables à tester et puis on choisit la variable de regroupement qui est le jour dans notre cas

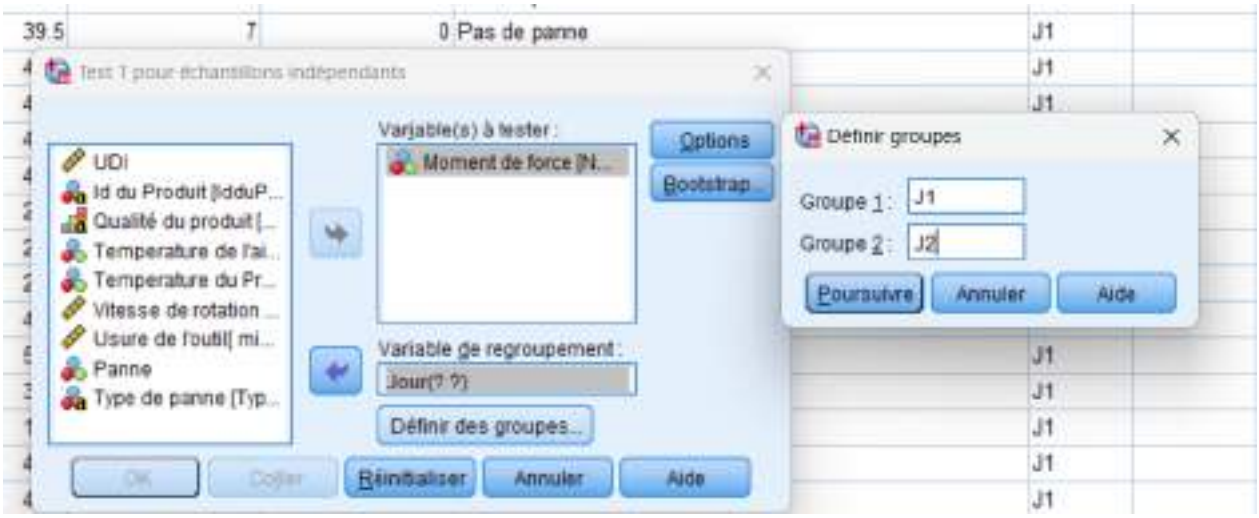


Figure 68 : Choix de variables

Test T

Statistiques de groupe

	Jour	N	Moyenne	Ecart-type	Moyenne erreur standard
Moment de force [Nm]	J1	1000	39.818	9.7055	.3069
	J2	1000	39.993	10.0339	.3173

Test des échantillons indépendants

		Test de Levene sur l'égalité des variances		Test t pour égalité des moyennes						
		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)	Différence moyenne	Différence erreur standard	Intervalle de confiance de la différence à 95 % Inférieur	Supérieur
Moment de force [Nm]	Hypothèse de variances égales	.605	.437	-.401	1998	.689	-.1769	.4414	-1.0426	.6888
	Hypothèse de variances inégales			-.401	1995.791	.689	-.1769	.4414	-1.0426	.6888

Figure 69 : Résultat du test t pour échantillon indépendant

II.6.2.3. Interprétation

Les résultats montrent deux valeurs de t possibles. La première ligne de résultats concerne la situation où les variances des deux groupes sont égales) et la seconde ligne concerne la situation où les variances des deux groupes sont inégales. Selon le score F qui est 0,605 est supérieur a 0,05 donc on va prendre la première ligne.

E en utilisant la valeur significatif: Elle indique la probabilité que l'effet observé soit dû au hasard qui est 0,689 qui est supérieur a

0,05 donc on retient l'hypothèse nulle H0 et donc on a pas de différence significatif entre les Deux groupes

II.6.3.Test t pour échantillon lié ou apparié

Un échantillon apparié, également appelé échantillon jumelé ou échantillon apparié, fait référence à une méthode de collecte de données où chaque observation dans un groupe est liée à une observation correspondante dans un autre groupe. Dans notre cas , notre échantillon apparié est la mesure du moment de la force avant et après notre intervention de maintenance.

II.6.3.1. Rappel Théorique

Pour le test t pour échantillon apparié ,il s'intéresse à la vérification d'hypothèse pour un échantillon dont les répondants ont été évalués deux fois à partir de la même mesure c'est à dire deux moyennes.
L'hypothèse nulle H0 qui est testée est :Il n'y a pas de différence entre les valeurs des deux moyennes dans la population.

$$H_0 : \overline{X}_{T1} = \overline{X}_{T2}$$

L'hypothèse **alternative H1** : 'il existe une différence

$$H_1 : \overline{X}_{T1} \neq \overline{X}_{T2}$$

Le but de ce test est de vérifier l'effet de la variable indépendante (une intervention) sur la variable dépendante (le moment de la force dans notre cas). On mesure donc la variable dépendante avant et après l'intervention.
Si on effectue une mesure avant et après l'observation et que le résultat du test est positif, ceci signifie que le score après est plus élevé que le score avant, et vice versa et si il n'y a pas de changement réel, on s'attend à observer le même nombre de valeurs positives et négatives.

II.6.3.2. Procédure SPSS

La figure suivante représente la vue de nos données sur SPSSS , on a 2 colonne ici :mesure de Moment de force avant intervention et après intervention

Avant	Après
42.8	19.4
46.3	33.2
49.4	29.6
39.5	32.9
40.0	35.0
41.9	46.7
42.4	42.0
40.2	52.0
28.6	53.4
28.0	31.1
23.9	41.7

Figure 70: Vue de données sur SPSS

On commence par choisir le Pourcentage de l'intervalle de confiance

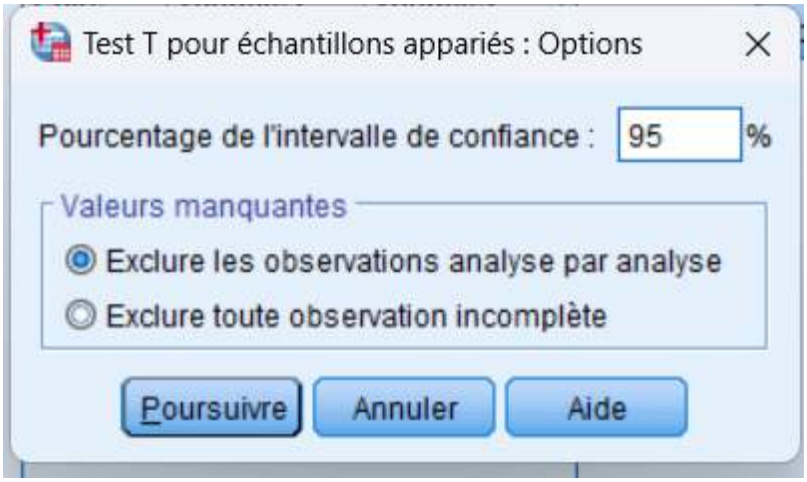


Figure 71 :Choix du pourcentage de l'intervalle de confiance

On ajoute après le paire de variables de l'analyse dans le champ approprié

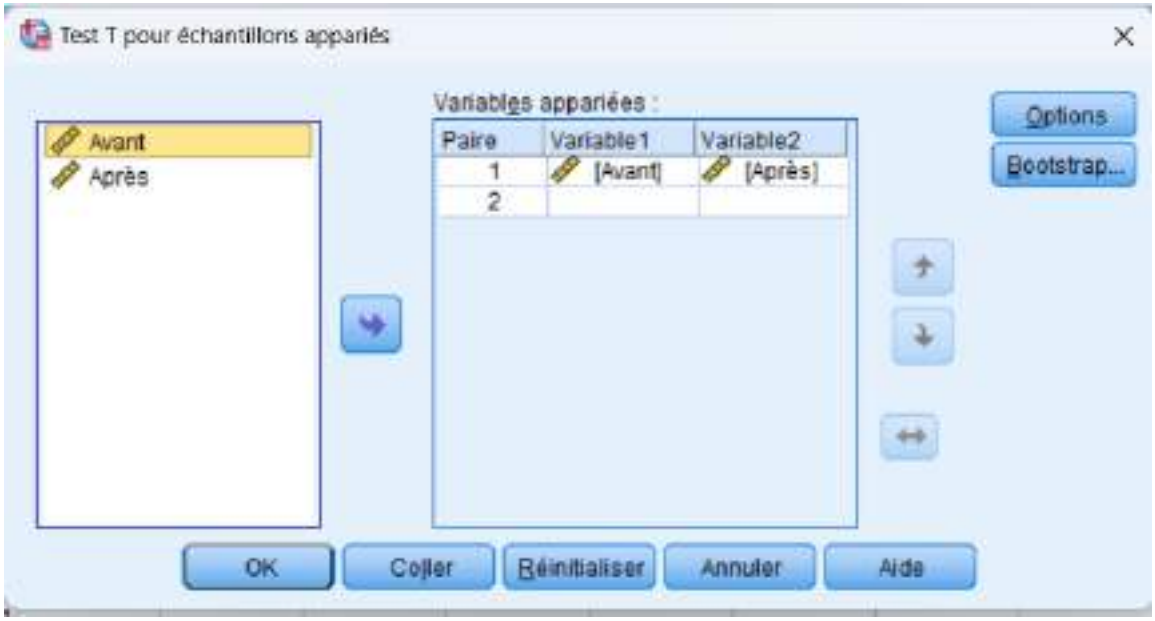


Figure 72 : Choix des variables appariées

Résultat:

Le résultat est sous forme de trois tableaux , mais on va se concentrer sur le 3 ème tableau qui nous donne le score t

Test T

[Jeu_de_données1] C:\Users\Yassine Zegroud\OneDrive\Bureau\ApptestApparie.sav

Statistiques des échantillons appariés

		Moyenne	N	Ecart type	Moyenne erreur standard
Paire 1	Avant	39.796	1001	9.7220	.3073
	Après	39.968	1001	10.0520	.3177

Corrélations des échantillons appariés

		N	Corrélation	Sig.
Paire 1	Avant & Après	1001	,029	,365

Test des échantillons appariés

		Différences appariées					t	ddl	Sig. (bilatérale)
					Intervalle de confiance de la différence à 95 %				
		Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard	Inférieur	Supérieur			
Paire 1	Avant - Après	-.1721	13.7824	.4356	-1.0270	.6827	-.395	1000	.693

Figure 73: Résultat du test t pour échantillon apparié

II.6.2.3. Interprétation

La première information que nous fournit le tableau du score t est la différence entre les deux moyennes (= – 0,1721). Ensuite, il indique l'écart type de la différence de moyennes.
SPSS utilise le degré de liberté pour calculer la probabilité exacte que la valeur de t indiquée dans le tableau soit obtenue par hasard, cette probabilité apparaît dans la dernière colonne (Sig.).On remarque que la valeur significative est égale à 0,693 qui est supérieur à 0,05 donc on va retenir l'hypothèse nulle et donc il y'a pas Il n'y a pas de différence entre les valeurs des deux moyennes dans la population. Alors ,on peut conclure que notre intervention n'a pas un impact significatif et donc il faut réaliser des nouvelles interventions.

II.7. Tests non paramétriques de comparaison des moyennes

Dans le domaine des statistiques, les tests non paramétriques de comparaison des moyennes sont des outils essentiels pour comparer deux ou plusieurs échantillons lorsque les conditions pour des tests paramétriques, comme le test t de Student, ne sont pas remplies. Ces conditions pourraient inclure la normalité des données ou l'égalité des variances.
Les tests non paramétriques ne font pas d'hypothèses spécifiques concernant la distribution des données. Par conséquent, ils sont souvent utilisés lorsque les données sont de nature ordinaire, lorsqu'il y a des données aberrantes, ou lorsque les données sont sur une échelle de mesure nominale ou ordinale.

II.7.1.Test pour échantillon unique: Test de Kolmogrov-Smirnov.

II.7.1.1. Rappel théorique

Le test de Kolmogorov-Smirnov est un test non paramétrique utilisé pour déterminer si un échantillon de données suit une distribution spécifique. Le test est également capable de comparer deux échantillons pour vérifier s'ils ont la même distribution. Pour un échantillon unique, ce test est principalement utilisé pour vérifier l'hypothèse nulle selon laquelle les données suivent une certaine distribution théorique.
Le test de Kolmogorov-Smirnov pour un échantillon unique compare la fonction de distribution empirique (FDE) de l'échantillon à la fonction de distribution cumulative (FDC) de la distribution théorique choisie. La FDE est simplement une fonction qui représente la proportion de valeurs dans l'échantillon qui sont inférieures ou égales à une certaine valeur. La FDC est une fonction qui donne la probabilité qu'une variable aléatoire tirée de la distribution théorique soit inférieure ou égale à une certaine valeur.
La statistique de test K-S est la plus grande différence (en valeur absolue) entre la FDE et la FDC. Si cette différence est trop grande (selon un seuil déterminé par le niveau de signification choisi), nous rejetons l'hypothèse nulle et concluons que les données ne suivent pas la distribution théorique choisie.

II.7.1.2. Procédure SPSS:

Méthode 1:

Dans cette section, nous allons élaborer la procédure SPSS pour le test sur un échantillon unique.
Nous sélectionnons le menu "Analyse", puis "Tests non paramétriques", et enfin nous cliquons sur "Un échantillon".

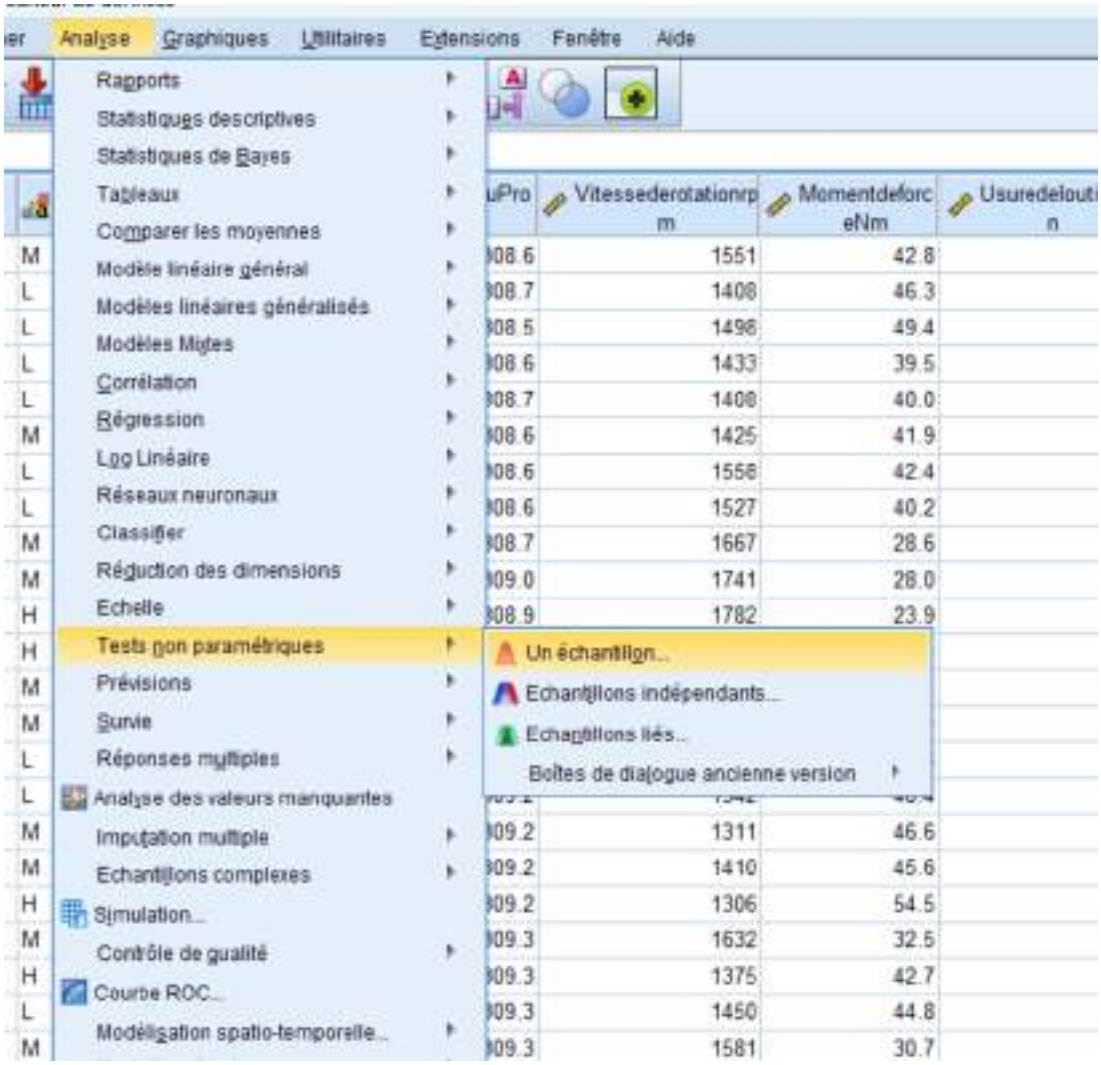


Figure 74: Menu Analyse.

Figure 75: Interface pour les tests non paramétriques

Sélectionner les champs et les déplacer vers la zone des tests, puis cliquez sur "Exécuter".

Figure 76: Onglet "Champs".

2	Les catégories de Qualité du produit surviennent avec des probabilités égales.	Test du khi-carré d'un seul échantillon	,000	Rejeter l' hypothèse nulle.
3	Les catégories définies par Panne = 0 et 1 surviennent avec les probabilités 0,5 et 0,5.	Test binomial d'un seul échantillon	,000	Rejeter l' hypothèse nulle.
4	Les catégories de Type de panne surviennent avec des probabilités égales.	Test du khi-carré d'un seul échantillon	,000	Rejeter l' hypothèse nulle.
5	La distribution de UDI est normale avec une moyenne de 2 500 et un écart type de 1 443,520.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
6	La distribution de Temperature de l'air [K] est normale avec une moyenne de 299,8 et un écart type de 2,160.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
7	La distribution de Temperature du Process [K] est normale avec une moyenne de 309,5 et un écart type de 1,408.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
8	La distribution de Moment de force [Nm] est normale avec une moyenne de 39,9 et un écart type de 10,021.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,108[1]	Retenir l' hypothèse nulle.

Figure 77 : Résultat du test de Kolmogorov-Smirnov

Méthode 2:

Dans la deuxième méthode, nous allons effectuer le test en utilisant les tests de normalité. On choisit le menu "Analyse", puis "Statistique descriptive", et enfin on clique sur "Explorer".

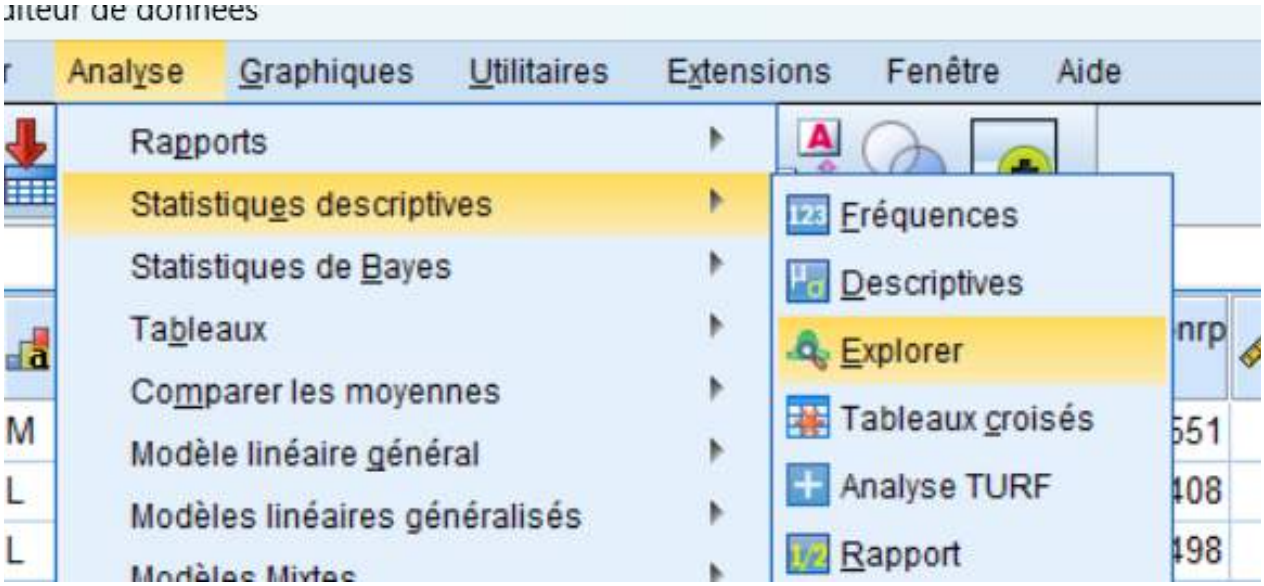


Figure 78: Menu Analyse.

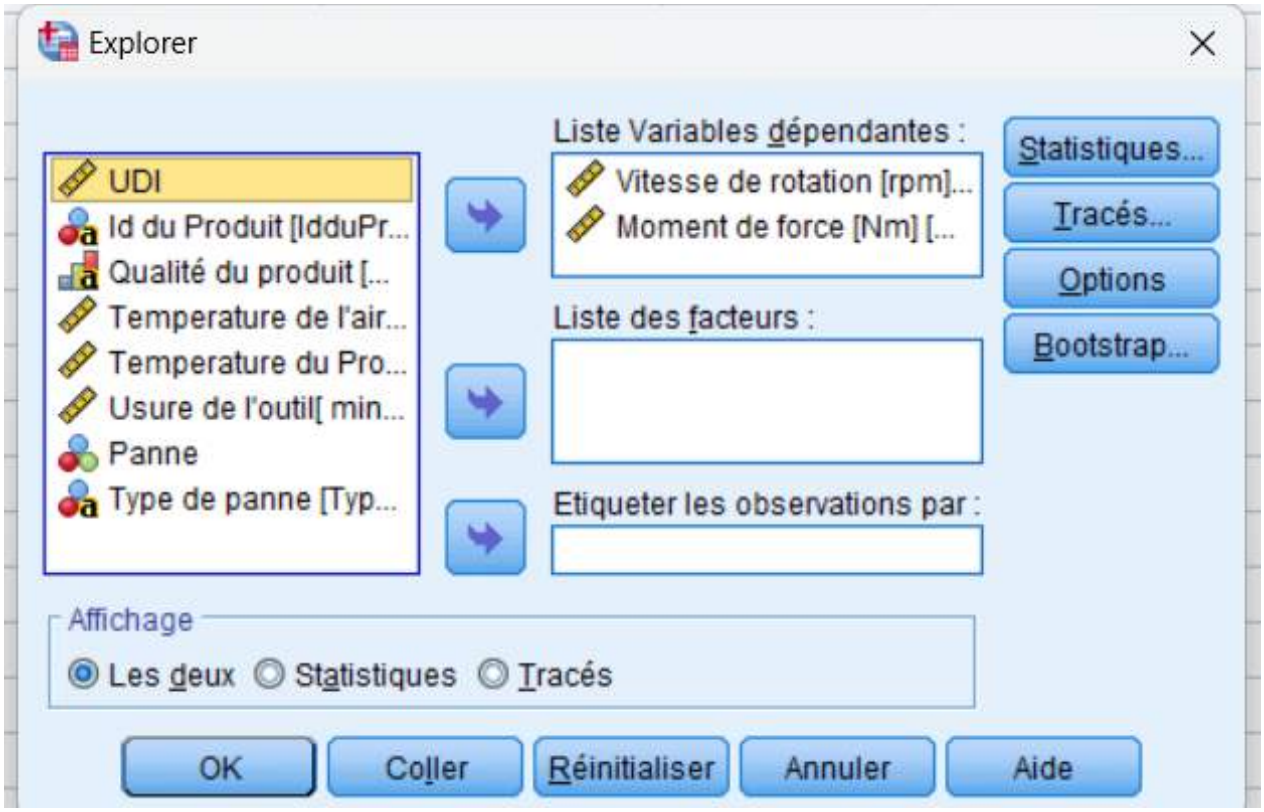


Figure 79 :Interface 'Explorer'.

Sélectionnez la liste des variables dépendantes, puis cliquez sur "Poursuivre" pour obtenir les résultats.

Figure 80: Interface Explorer.

Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.	Statistiques	ddl	Sig.
Vitesse de rotation [rpm]	,107	5000	,000	,851	5000	,000
Moment de force [Nm]	,010	5000	,200*	1,000	5000	,567

*. Il s'agit de la borne inférieure de la vraie signification.

a. Correction de signification de Lilliefors

Figure 81: Résultat du test.

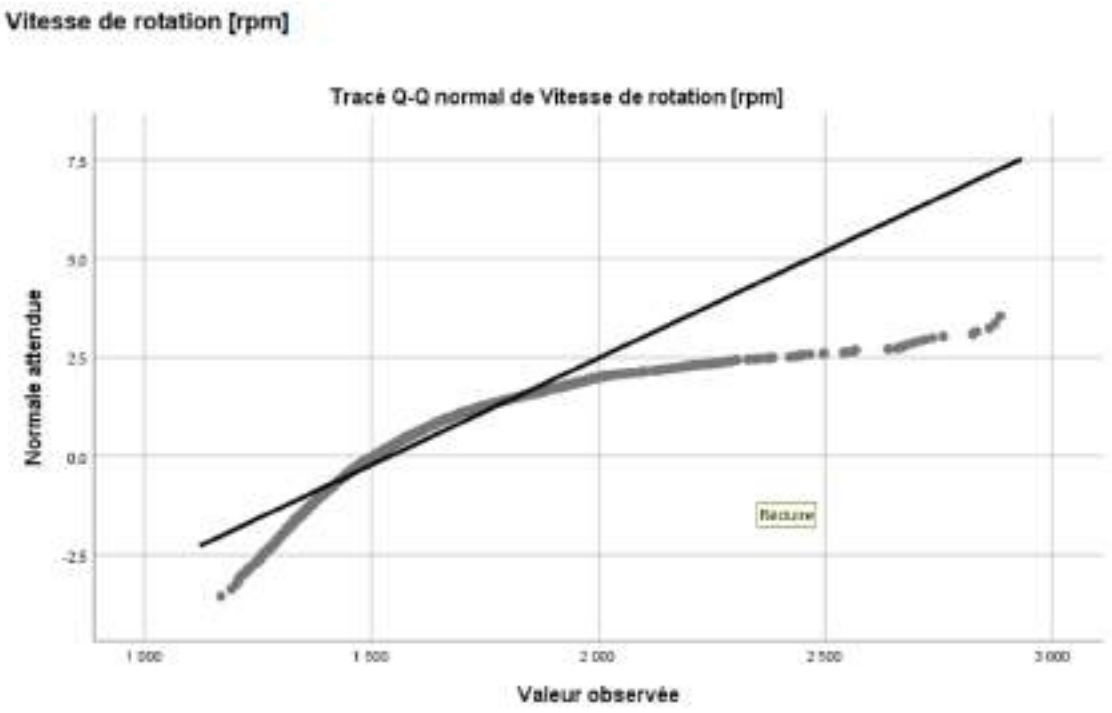


Figure 82: Résultat graphique Vitesse de rotation.

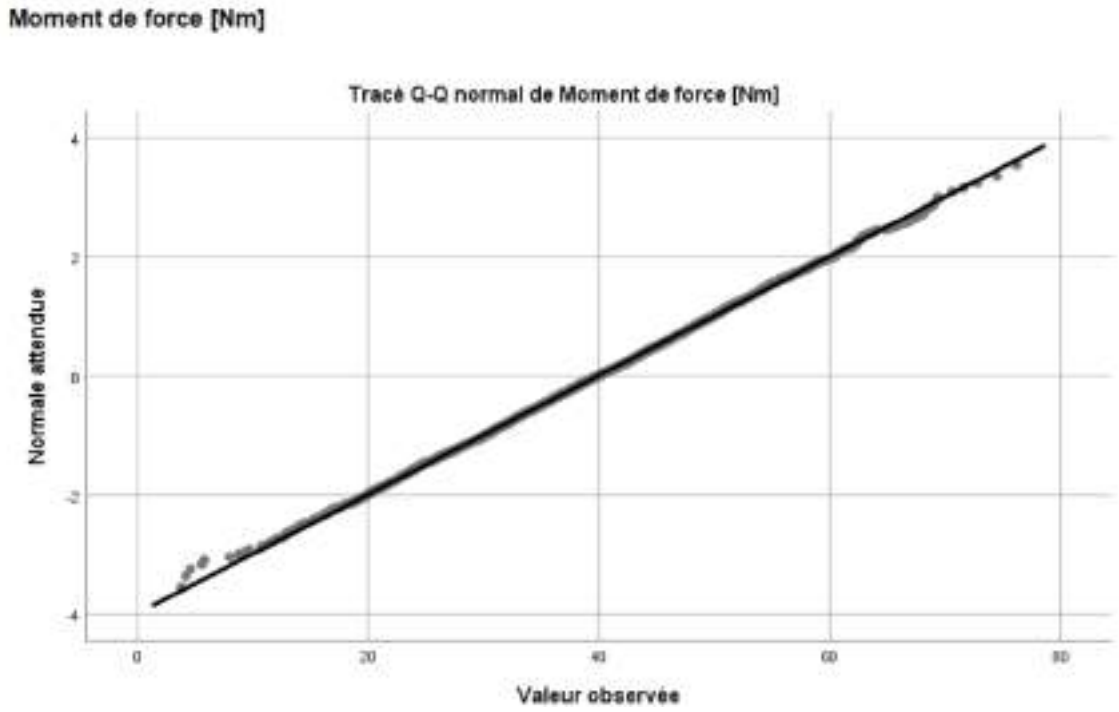


Figure 83: Résultat graphique Moment de force.

II.7.1.3. Interprétation

Méthode 1:

Pour la première méthode, le tableau affiché permet de prendre la décision de retenir ou de rejeter l'hypothèse nulle, à savoir que la variable suit une loi normale. On remarque donc que seule la variable 'moment de la force' suit la loi normale.

Méthode 2:

Pour la deuxième méthode, selon le tableau du test de normalité, nous utilisons la valeur significative (Sig.). Si cette valeur est supérieure à 0.05, nous retenons l'hypothèse nulle (la variable suit une loi normale). Sinon, nous la rejetons. Dans notre cas, la valeur Sig. de la vitesse de rotation est inférieure à 0.05, donc elle ne suit pas la loi normale. En revanche, la valeur Sig. du moment de la force est supérieure à 0.05, donc elle suit la loi normale.

II.7.2.Test pour échantillon indépendant : Test U de Mann-Whitney

II.7.2.1. Rappel théorique

Le test U de Mann-Whitney, également appelé test de Wilcoxon à deux échantillons indépendants ou test de la somme des rangs de Wilcoxon, est une procédure non paramétrique utilisée pour déterminer si deux échantillons indépendants proviennent de la même population ou, plus précisément, si les deux échantillons ont la même distribution.
L'utilisation principale du test U de Mann-Whitney est de comparer deux groupes indépendants lorsque les données sont soit ordinales (c'est-à-dire, elles peuvent être classées), soit continues mais ne suivent pas une distribution normale. Par exemple, si vous voulez comparer les scores de satisfaction des clients de deux magasins différents, ou comparer les niveaux de revenus dans deux régions géographiques différentes, vous pourriez utiliser le test U de Mann-Whitney.
Le test procède en classant toutes les valeurs des deux échantillons ensemble. Pour chaque valeur dans le premier échantillon X, on attribue un rang. Ensuite, on calcule la somme des rangs dans cet échantillon, que nous appellerons R_X

$$R_X = \sum_{i=1}^{n} rank(x_i)$$

De même, pour chaque valeur dans le deuxième échantillon Y, on attribue un rang et on calcule la somme des rangs dans cet échantillon, que nous appellerons R_Y

$$R_Y = \sum_{j=1}^{n} rank(y_j)$$

Si les deux échantillons proviennent de la même distribution, nous nous attendons à ce que les rangs soient également répartis entre les deux échantillons. Si un échantillon a tendance à avoir des rangs plus élevés que l'autre, alors nous pouvons conclure que cet échantillon provient d'une population avec des valeurs généralement plus élevées.
Ensuite, on calcule les statistiques U pour chaque échantillon. La statistique U pour l'échantillon X est donnée par :

$$U_X = n \cdot m + \frac{n \cdot (n+1)}{2} - R_X$$

Et la statistique U pour l'échantillon Y est donnée par :

$$U_Y = n * m + (m * (m+1))/2 - R_Y$$

La statistique U du test est le minimum des deux statistiques U, c'est-à-dire :

$$U = min(U_X, U_Y)$$

Un avantage du test U de Mann-Whitney est qu'il ne nécessite pas l'hypothèse que les données suivent une distribution normale, ce qui le rend approprié pour de nombreux types de données. Si la valeur de U est inférieure à la valeur critique pour un certain niveau de signification (par exemple, 0,05), alors on rejette l'hypothèse nulle que les deux échantillons proviennent de la même distribution.

II.7.2.3. Procédure SPSS:

Nous allons élaborer la procédure SPSS pour le test U de Mann-Whitney. Pour cela, nous suivons les étapes suivantes :

1. Choisissez le menu "Analyse".
2. Sélectionnez "Tests non paramétriques".
3. Cliquez sur "Échantillons indépendants".
4. Ensuite, sélectionnez le champ des tests.

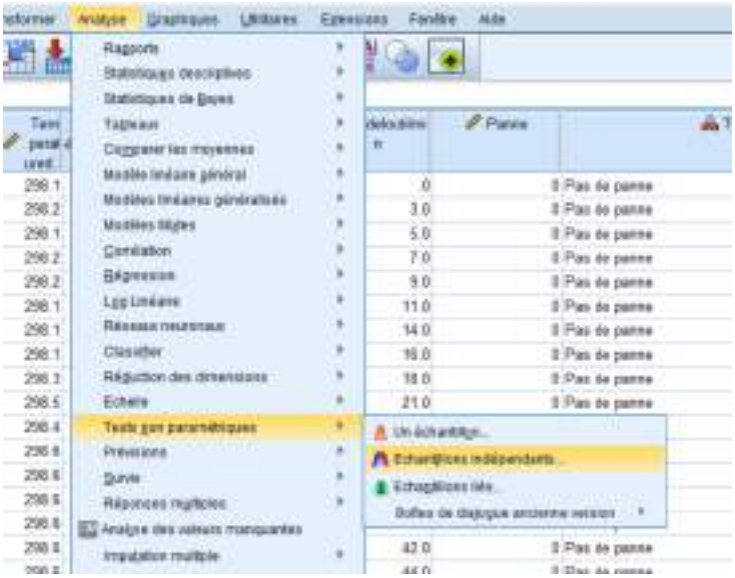


Figure 84: Interface Analyse.

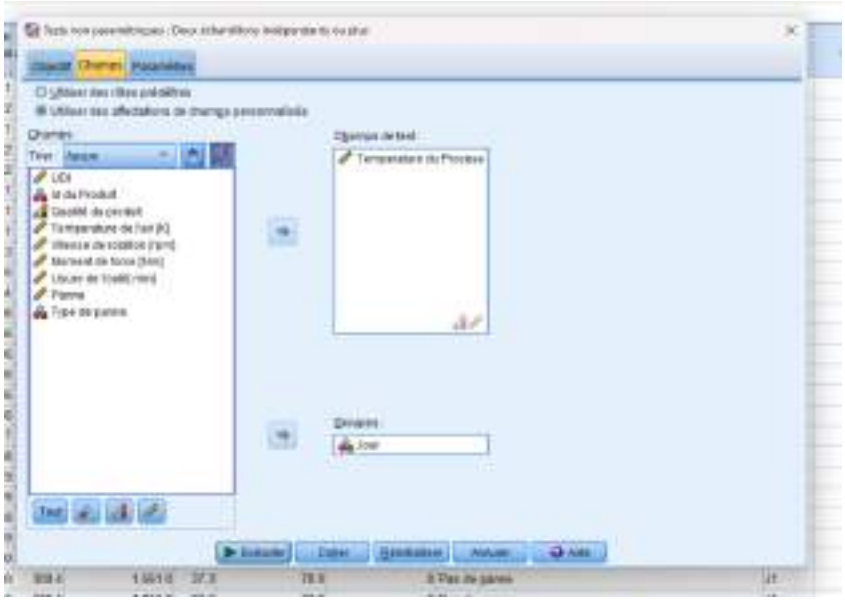


Figure 85: Interface Tests non paramétriques.

Accédez à l'onglet "Paramètres" et cochez l'option "U de Nann-Whitney" .

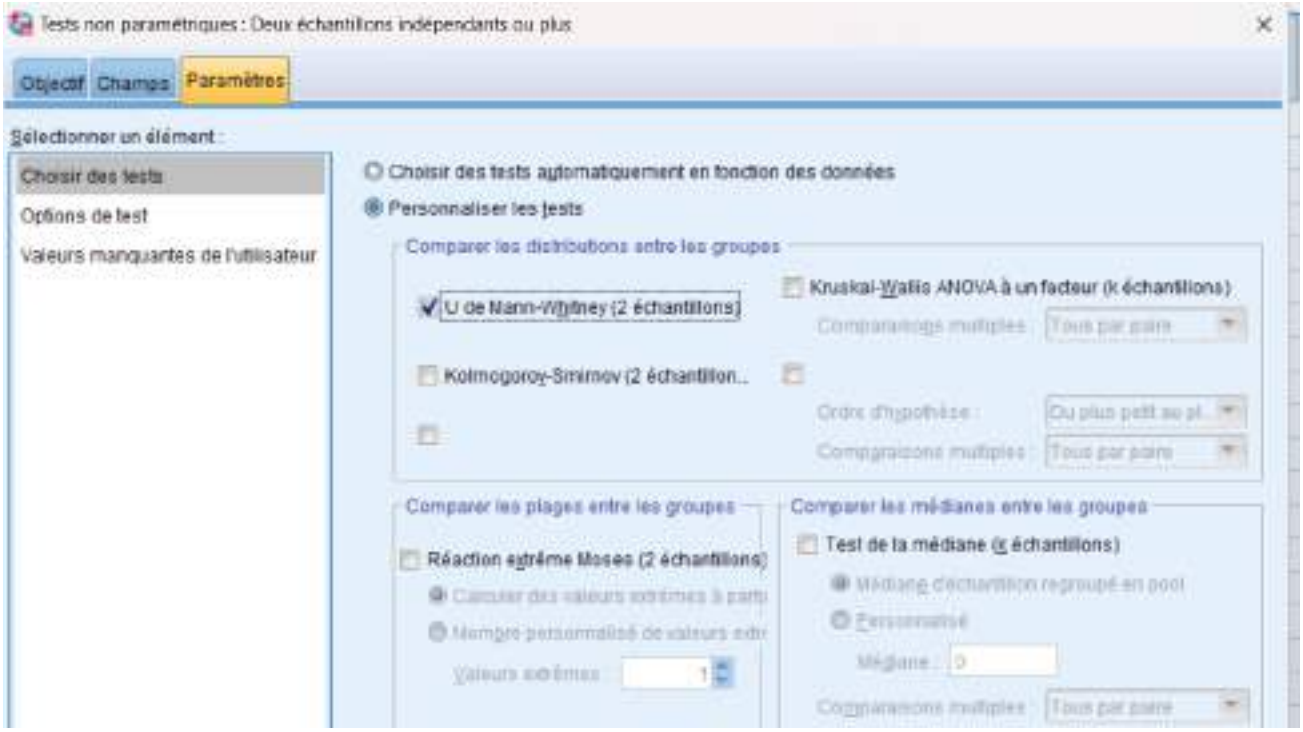


Figure 86: Onglet “Paramètres”.

Tests non paramétriques

Récapitulatif du test d'hypothèse

	Hypothèse nulle	Test	Sig.	Décision
1	La distribution de Temperature du Process [K] est identique sur les catégories de Jour.	Test U de Mann-Whitney d'échantillons indépendants	,000	Rejeter l' hypothèse nulle.

Les significations asymptotiques sont affichées. Le niveau de signification est ,05.

Figure 87: Résultat du test d'hypothèse.

II.7.2.3. Interprétation

Selon le tableau Récapitulatif du test d'hypothèse , il va nous permettre de rejeter l'hypothèse et donc il y'a une différence significative entre les valeurs du température du process entre les deux jours.

II.7.3.Test pour échantillon apparié : Test de Wilcoxon

II.7.3.1. Rappel théorique

Le test de Wilcoxon est utilisé pour comparer les distributions de deux échantillons appariés. Les hypothèses nulles et alternatives du test sont les suivantes :
Hypothèse nulle (H0) : Les médianes des deux échantillons sont égales. Hypothèse alternative (H1) : Les médianes des deux échantillons sont différentes.
Le test de Wilcoxon calcule la statistique de test W, qui est basée sur les différences appariées entre les observations des deux échantillons. La statistique W est définie comme suit :

$$W = \sum_{i=1}^{n} R_i$$

où n est le nombre d'observations appariées et Ri est le rang de la différence appariée i.
Pour effectuer le test, on calcule la statistique de test W et on la compare à une valeur critique de la distribution de Wilcoxon. La distribution de Wilcoxon est approximativement normale pour des échantillons de taille suffisamment grande. Ainsi, on peut utiliser une approximation normale pour calculer la valeur critique ou p-value associée à la statistique de test.
Le test de Wilcoxon est un test non paramétrique, ce qui signifie qu'il ne fait pas d'hypothèses sur la distribution sous-jacente des données. Il est donc robuste aux violations des hypothèses de normalité.

II.7.3.3. Procédure SPSS

Nous allons élaborer la procédure SPSS pour le Test de Wilcoxon. Pour cela, nous suivons les étapes suivantes :
Choisissez le menu "Analyse".
Sélectionnez "Tests non paramétriques".
Cliquez sur "Échantillons liés".
Ensuite, sélectionnez le champ des tests.

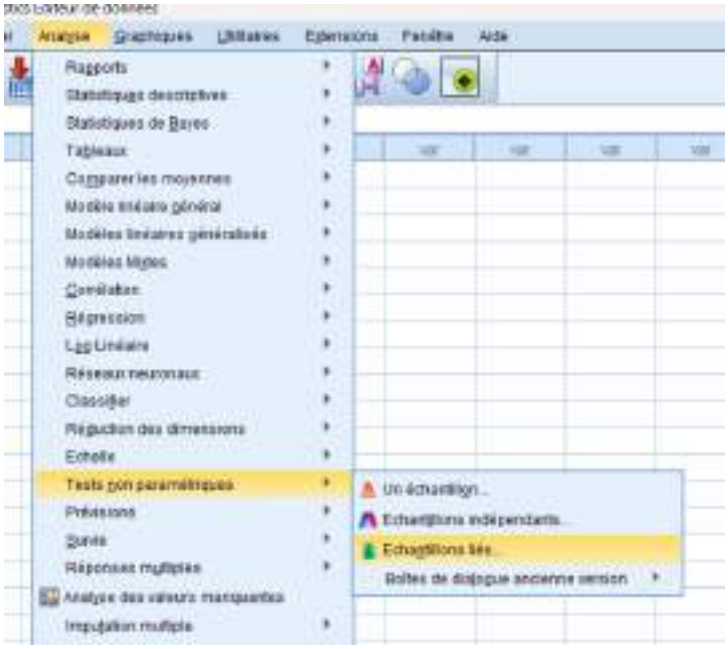


Figure 88: Interface Analyse.

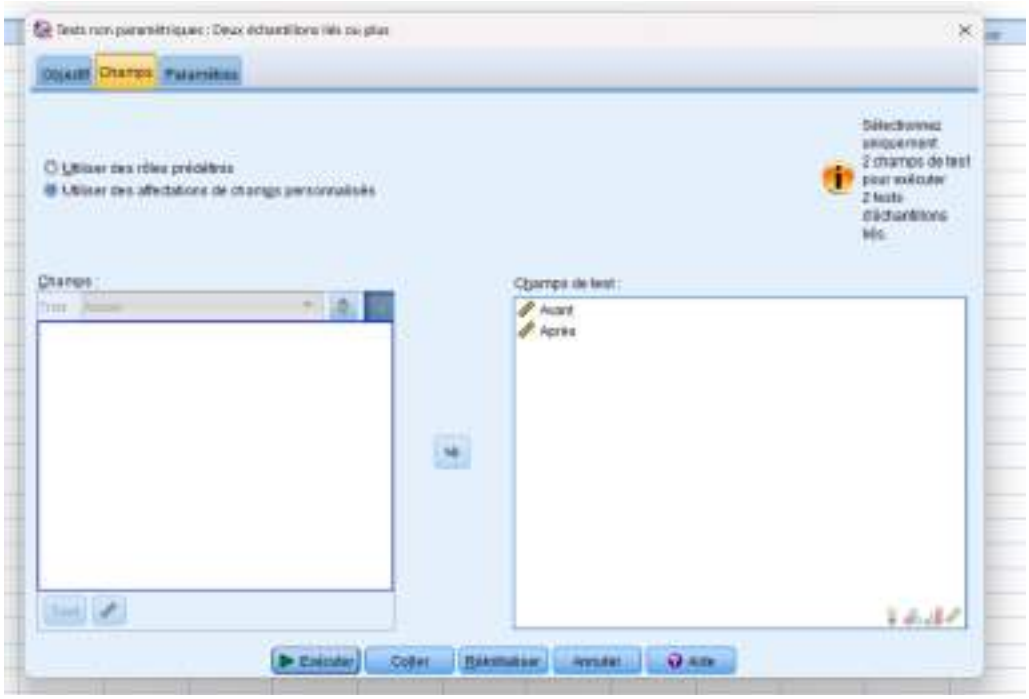


Figure 89: Interface Tests non paramétriques.

Accédez à l'onglet "Paramètres" et cochez l'option "Wilcoxonen séries appariées" .

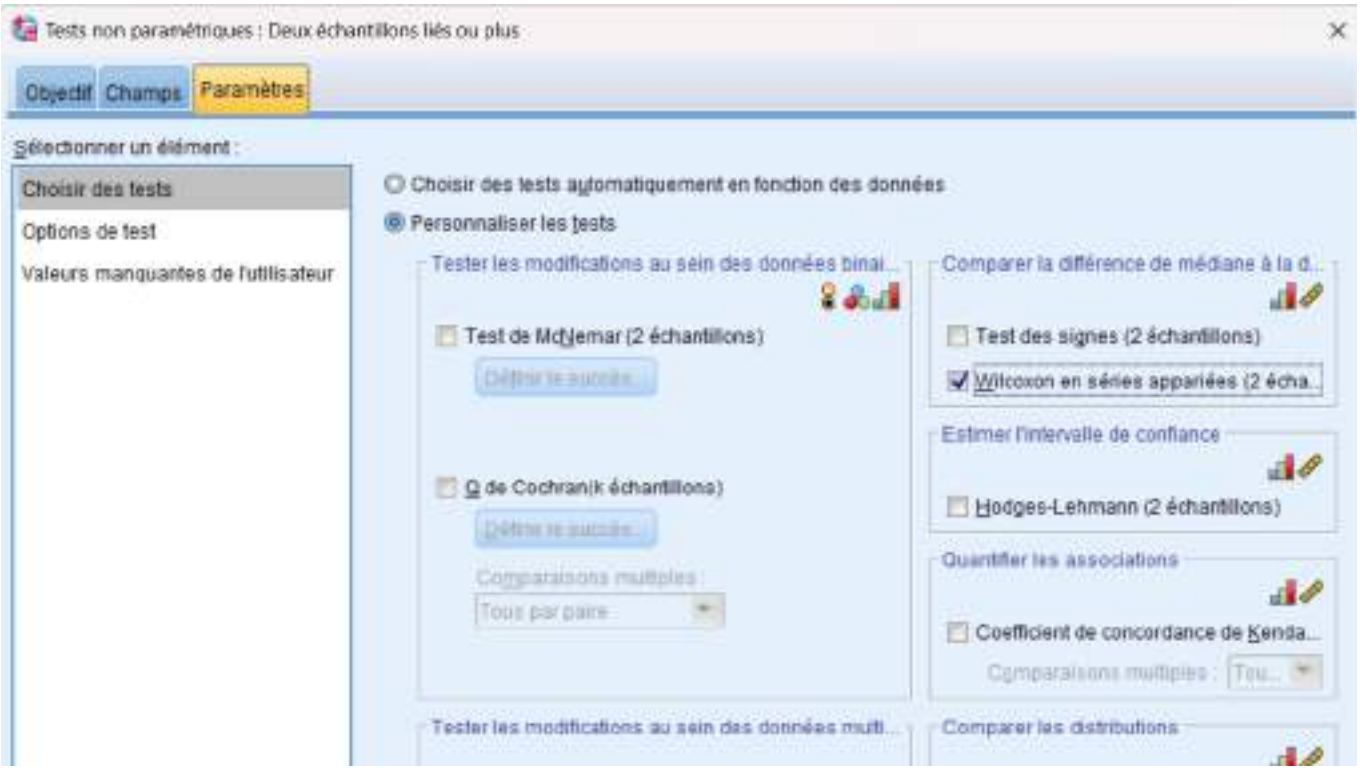


Figure 90: Onglet “Paramètres”.

Récapitulatif du test d'hypothèse

	Hypothèse nulle	Test	Sig.	Décision
1	La médiane des différences entre Avant et Après est égale à 0.	Test de rang signé de Wilcoxon d'échantillons associés	,000	Rejeter l' hypothèse nulle.

Les significations asymptotiques sont affichées. Le niveau de signification est ,05.

Figure 91: Résultat du test d'hypothèse.

II.7.3.3. Interprétation

Le tableau récapitulatif du test d'hypothèse nous génère une valeur significative de 0 <0.05 ce qui nous permet de prendre la décision de rejeter l'hypothèse nulle et prendre l'hypothèse alternative qui incute que es médianes des deux échantillons sont différentes, cela nous explique qu'il n ya pas eu de changement après l'intervention donc notre assistance sur le processus n'a pas été efficace pour améliorer le fabrication.

II.8. Conclusion

En résumé de ce chapitre, nous avons exploré plusieurs aspects importants de notre étude. Nous avons d'abord présenté le sujet et l'objectif de notre recherche, soulignant l'importance de créer et gérer les différentes variables dans notre analyse.
Ensuite, nous avons expliqué en détail comment nous avons créé ces variables, en faisant la distinction entre celles qui sont qualitatives et quantitatives. Pour les variables quantitatives, nous avons examiné diverses mesures telles que la tendance centrale, la dispersion et la forme de distribution, nous donnant ainsi une vision complète de ces variables. De plus, nous avons utilisé des graphiques pour visualiser les données de manière claire.
Nous avons également procédé à une analyse bi-variée en utilisant des techniques comme le tri croisé et le test de Khi-deux. Ces méthodes nous ont permis d'explorer les relations entre deux variables et de détecter d'éventuelles associations entre elles.
Enfin, nous avons étudié les tests paramétriques et non paramétriques pour comparer les moyennes. Nous avons utilisé des tests t pour un seul échantillon, des échantillons indépendants et des échantillons appariés afin de déterminer si les différences observées entre les groupes étaient statistiquement significatives.

En conclusion, cette analyse approfondie des variables et des techniques d'analyse nous a permis de mieux comprendre les données et d'obtenir des résultats significatifs. Ces résultats seront la base solide sur laquelle nous nous appuierons pour les prochaines étapes de notre recherche.
Dans le prochain chapitre, nous utiliserons ces conclusions pour formuler des recommandations et des interprétations pertinentes qui contribueront à répondre à notre problématique de recherche.

Chapitre III:

Analyse factorielle et analyse de variance

III.1. Introduction

Au chapitre précédent, nous avons exploré et décrit nos données de manière informative en utilisant le package statistique pour les sciences sociales, également connu sous le nom de SPSS. En utilisant divers tests paramétriques et non paramétriques, nous avons pu résumer et présenter les caractéristiques essentielles de notre ensemble de données grâce à des mesures telles que la moyenne, l'écart type, les pourcentages et les graphiques.

Cependant, la statistique descriptive a des limites. Elle ne nous permet pas de comprendre la structure plus profonde de nos données ni de déduire des relations causales. Pour cela, nous devons utiliser des techniques d'analyse plus complexes comme l'analyse factorielle et l'analyse des variances.

L'objectif de l'analyse factorielle est d'identifier les facteurs fondamentaux qui expliquent les modèles de corrélation entre les variables observées. Nous pouvons regrouper les variables en facteurs significatifs et examinant leur relation avec cette méthode.

En revanche, l'analyse des variances nous permettra d'examiner les différences significatives entre les différents groupes de variables. Cette méthode nous aidera à déterminer si les variations observées dans nos données sont le résultat de variables indépendantes telles que les catégories de participants, les conditions expérimentales et d'autres facteurs. De plus, elle nous expliquera l'importance de ces différences et leur effets sur nos résultats.

En combinant ces deux méthodes analytiques, nous pourrons mieux comprendre les liens entre les variables, les structures sous-jacentes de nos données et les différences importantes entre les groupes. . Ces analyses avancées enrichiront notre étude en fournissant des informations supplémentaires qui nous permettront de formuler des conclusions plus nuancées et de mieux interpréter nos résultats.

III.2. Analyse Factorielle

L'analyse factorielle est une méthode exploratoire d'analyse des tableaux de contingence, principalement développée par J.-P Benzecri entre 1970 et 1990. Il spécifie un ensemble de méthodes statistiques multivariées dont le but principal est de définir des structures de corrélation entre un grand nombre de variables.

L'analyse factorielle a été utilisée pour révéler les facteurs, mais il existe deux autres objectifs traditionnels de l'analyse factorielle :
Résumer les données : L'analyse factorielle dérive des dimensions sous-jacentes en combinant différentes variables ensemble. Une fois interprétés, ces regroupements décrivent les données de manière exhaustive.
Réduction des données : Il calcule les scores pour chaque dimension et les remplace par les variables d'origine.

Dans l'analyse factorielle, toutes les variables sont considérées comme corrélées. Ces facteurs sont formés pour maximiser l'ensemble explicatif de variables, et non pour prédire la variable dépendante.

III.2.1.Rappel Théorique

L'analyse factorielle repose sur les notions de covariance et de corrélation linéaire qui permet de déterminer la liaison entre deux variables quantitatives.
La covariance est une mesure statistique utilisée pour évaluer la relation entre deux variables aléatoires. Elle quantifie la manière dont les deux variables varient ensemble.

$$: Co(X,Y) = \sum_{i-1}^{N} \frac{(X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})}{N}$$

Le coefficient de corrélation linéaire, souvent appelé simplement corrélation, est une mesure statistique qui évalue la force et la direction de la relation linéaire entre deux variables. Contrairement à la covariance, qui mesure la variation conjointe brute entre les variables, le coefficient de corrélation linéaire normalise cette mesure pour se situer dans une plage standardisée allant de -1 à 1.
Le coefficient de corrélation linéaire peut être calculé à l'aide de la formule suivante

$r = cov(X, Y) / (\sigma X * \sigma Y)$
où r représente le coefficient de corrélation linéaire, cov(X, Y) est la covariance entre X et Y, σX est l'écart type de X et σY est l'écart type de Y.

On utilise généralement la méthode **ACP** : analyse des composantes principales comme méthode d'extraction , avant de commencer l'étude il faut tester la qualité des corrélations inter items par l'**indice KMO,** si KMO>0,7 on peut dire que nos données acceptent un étude factorielle.

Lorsque l'analyse factorielle est effectuée, les facteurs obtenus peuvent être difficiles à interpréter car chaque variable peut potentiellement être corrélée à plusieurs facteurs. La rotation des facteurs permet de faire une rotation des axes de facteurs afin de maximiser la variance des chargements des variables sur quelques facteurs spécifiques. Il existe plusieurs méthodes de rotation des facteurs parmi eux on cite :

- **Rotation Varimax** :Son objectif est de maximiser la variance des carrés des chargements des variables sur chaque facteur. Cela a pour effet de rendre les chargements élevés plus concentrés (proches de 0 ou 1) et les chargements faibles plus proches de zéro. Ainsi, la rotation Varimax tend à produire des facteurs plus clairs et plus facilement interprétables.
- **Rotation Oblimin**:est une méthode de rotation des facteurs qui permet aux facteurs d'être corrélés entre eux, elle peut rendre les facteurs plus réalistes en tenant compte de leurs relations mutuelles.
- **Rotation Quartimax** : elle vise à obtenir des facteurs avec un nombre minimal de variables ayant des chargements élevés sur chaque facteur.Cette méthode est souvent utilisée lorsque l'on souhaite obtenir des facteurs les plus indépendants possible, en mettant davantage l'accent sur la structure de variance plutôt que sur les relations entre les variables.

Il convient de noter que le choix de la méthode de rotation dépend des objectifs de l'analyse.

III.1.2.Procédure SPSS

On clique d'abord sur analyse et puis réduction des dimensions et on choisit après l'analyse factorielle

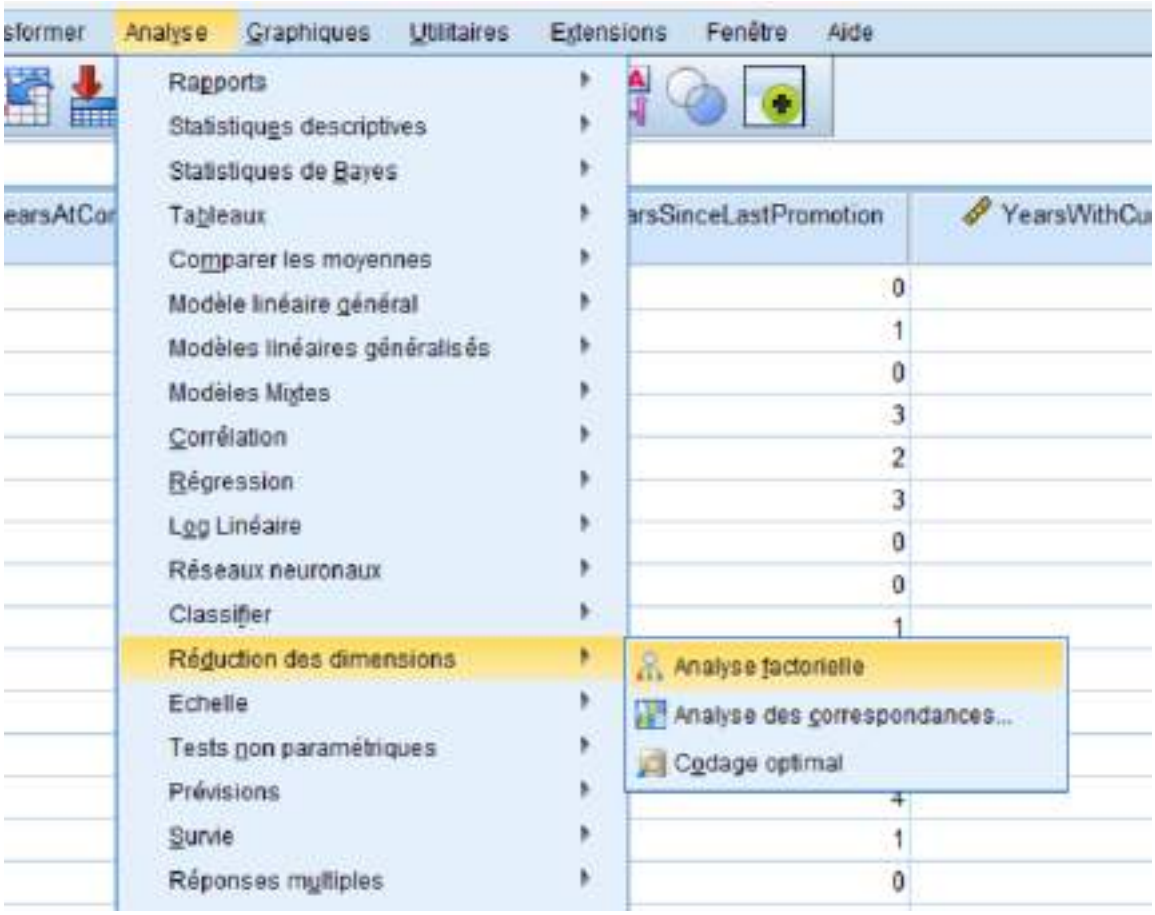


Figure 92: Menu Analyse

On choisit après les variables d'étude

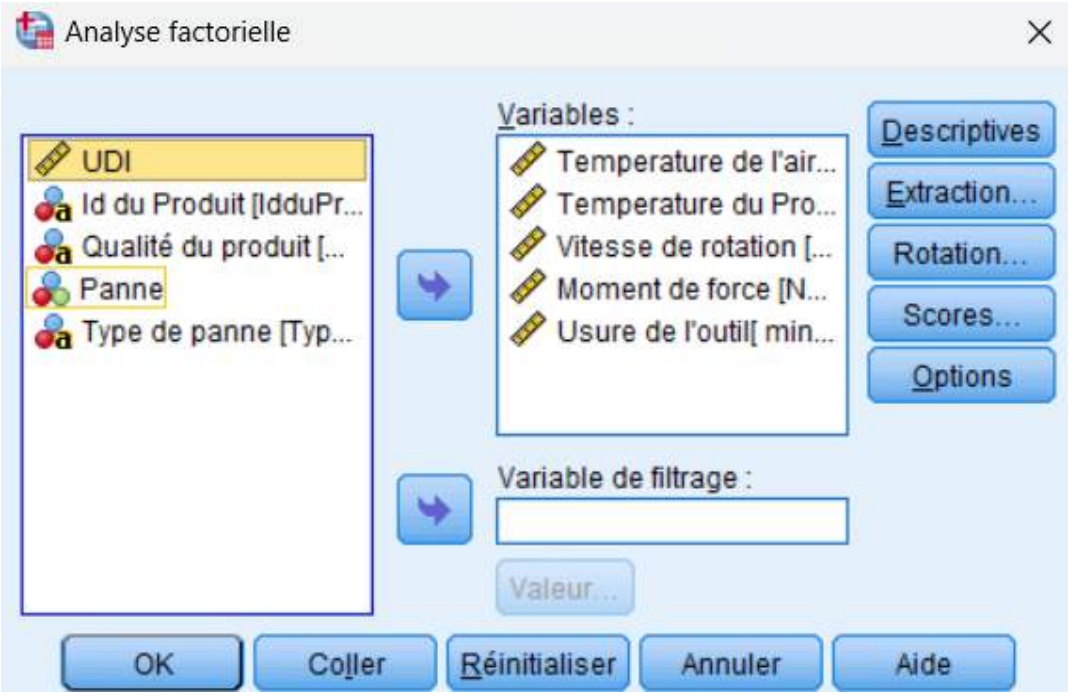


Figure 93 : Menu Variables de l'analyse factorielle

Le bouton descriptives nous permet de cocher l'indice de kmo qui va nous permettre de mesure l'adéquation de l'échantillonnage et pour la case de coefficients elle réalise la matrice de corrélation entre les variables

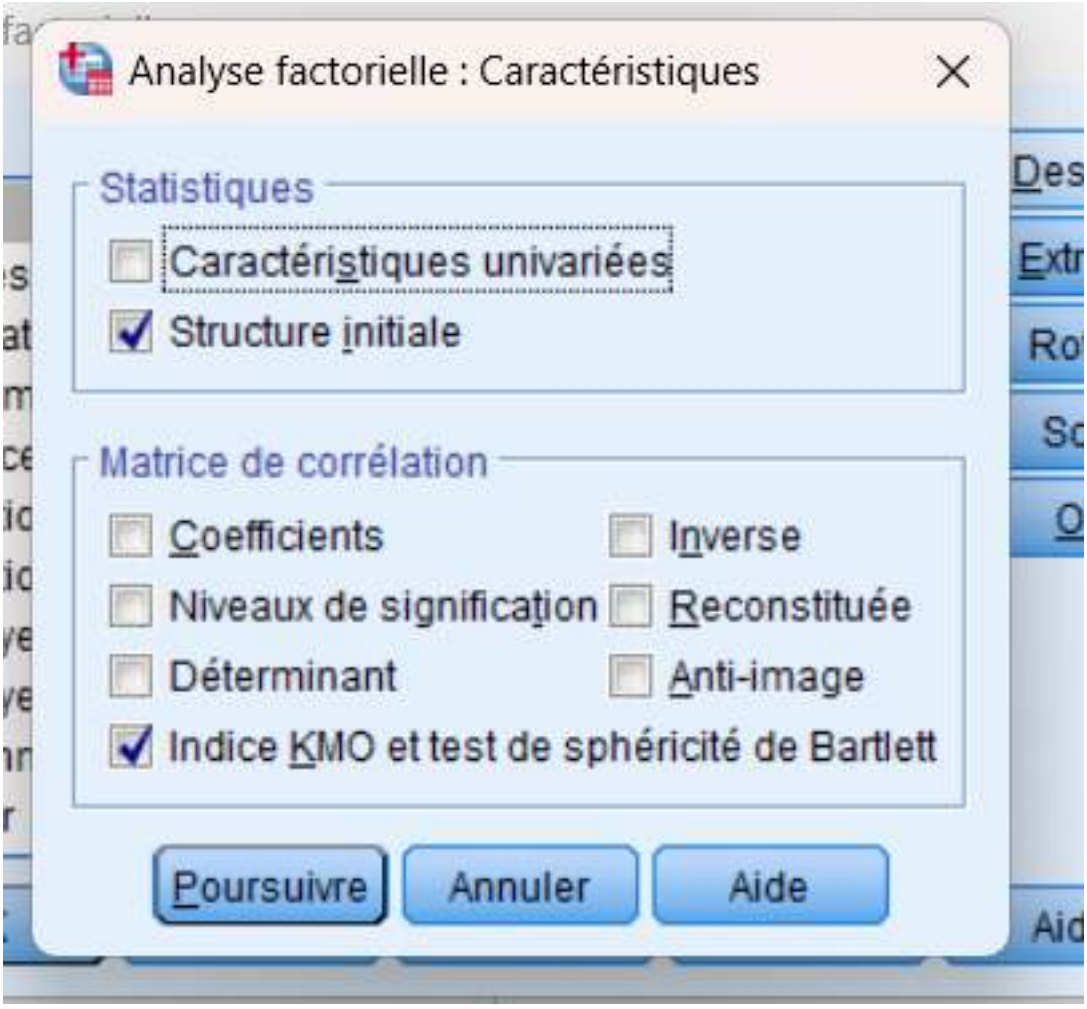


Figure 94 : Menu Caractéristiques d'analyse factorielle

Le bouton d'extraction permet de déterminer la méthode d'extraction, dans notre cas on a choisit la méthode de composantes principales , et on choisit d'afficher la matrice de corrélation pour la comparer avant et après rotation

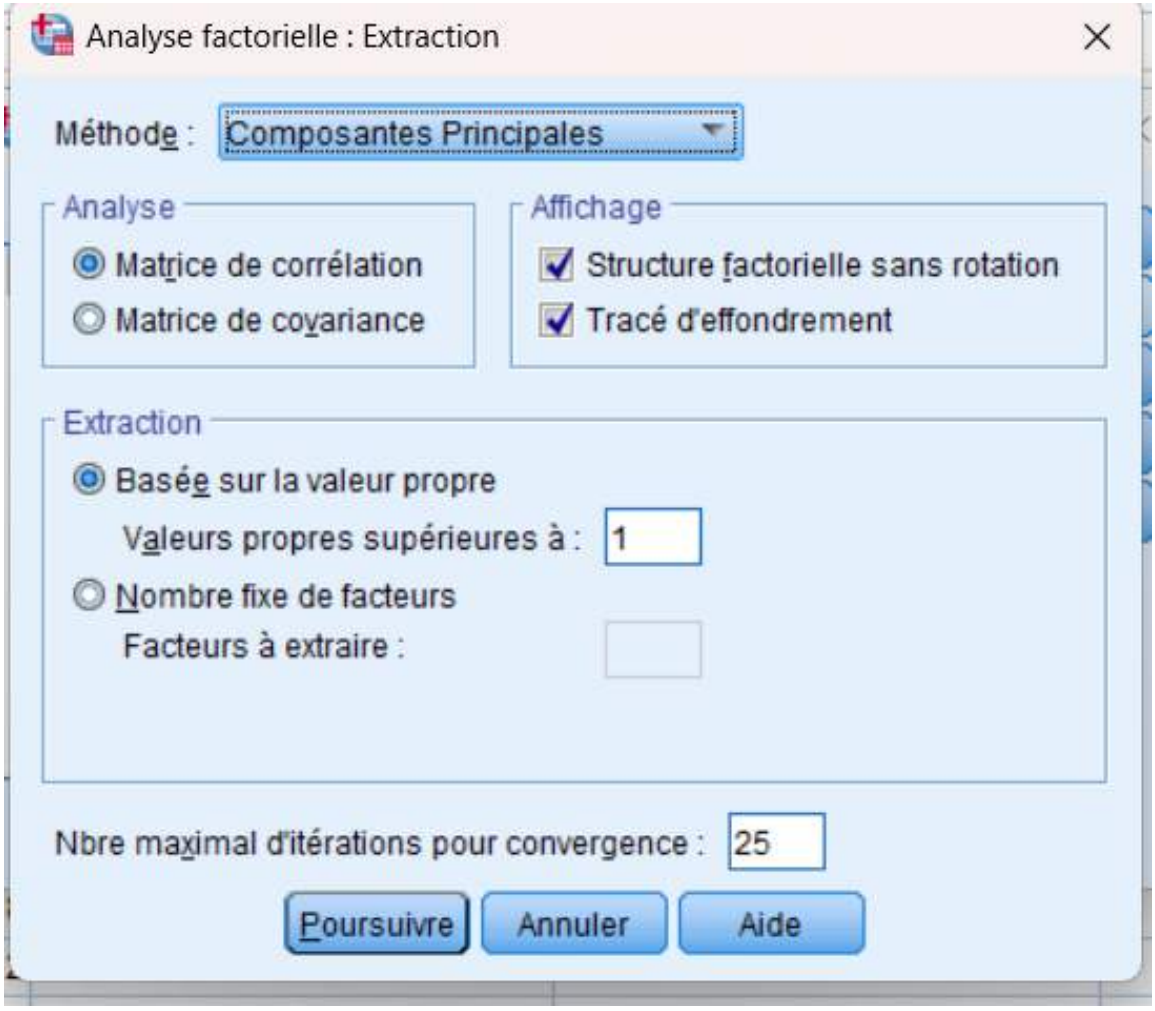


Figure 95 : Menu extraction d'analyse factorielle

Le bouton Score permet de choisir la méthode pour calculer les résultats. Si vous désirez que les facteurs ne soient pas corrélés, sélectionnez la méthode Anderson-Rubin. Si les corrélations sont acceptables, prenez plutôt la méthode Régression.

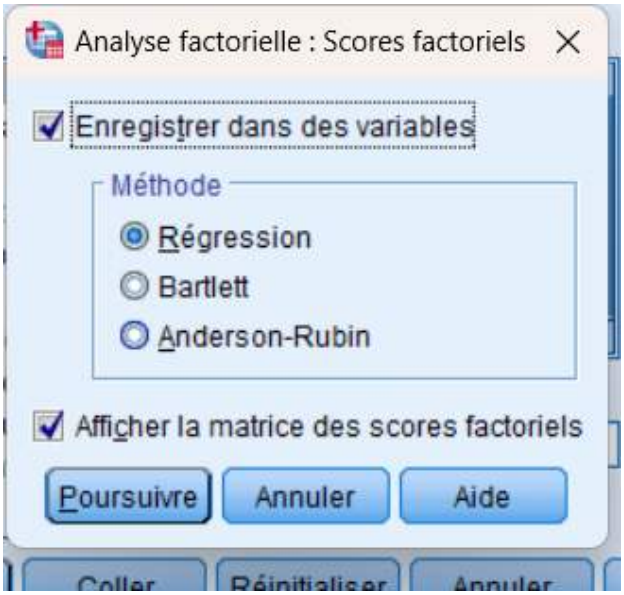
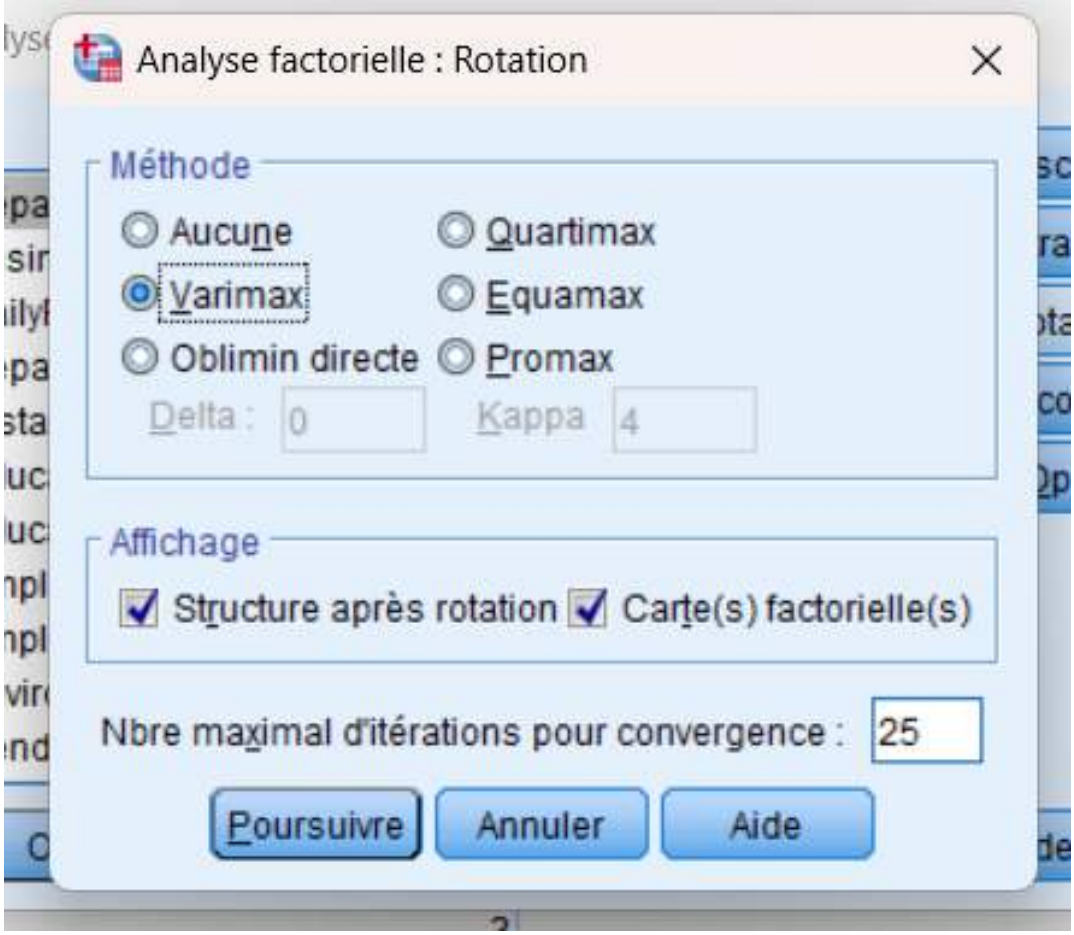


Figure 96: Menu scores factoriels



Le bouton rotation permet de choisir la méthode de rotation , dans notre cas on a choisit la méthode Varimax car on veut que les facteurs sont indépendants

<u>Résultat :</u>

Indice KMO et test de Bartlett

Indice de Kaiser-Meyer-Olkin pour la mesure de la qualité d'échantillonnage.		,501
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-carré approx.	16303,814
	ddl	10
	Signification	,000

Remarque D' après le résultat de l'indice KMO du tableau on a KMO=0,501 < 0,7 donc Les données des facteurs agissant sur la maintenance qu'on a utilisé ne sont pas convenable pour cette étude, donc on va utiliser d'autres données qui concernent les ressources humaines dans l'atelier de maintenance.

Voici La figure qui représente l'ensemble des variables de l'atelier maintenance qu'on veut étudier

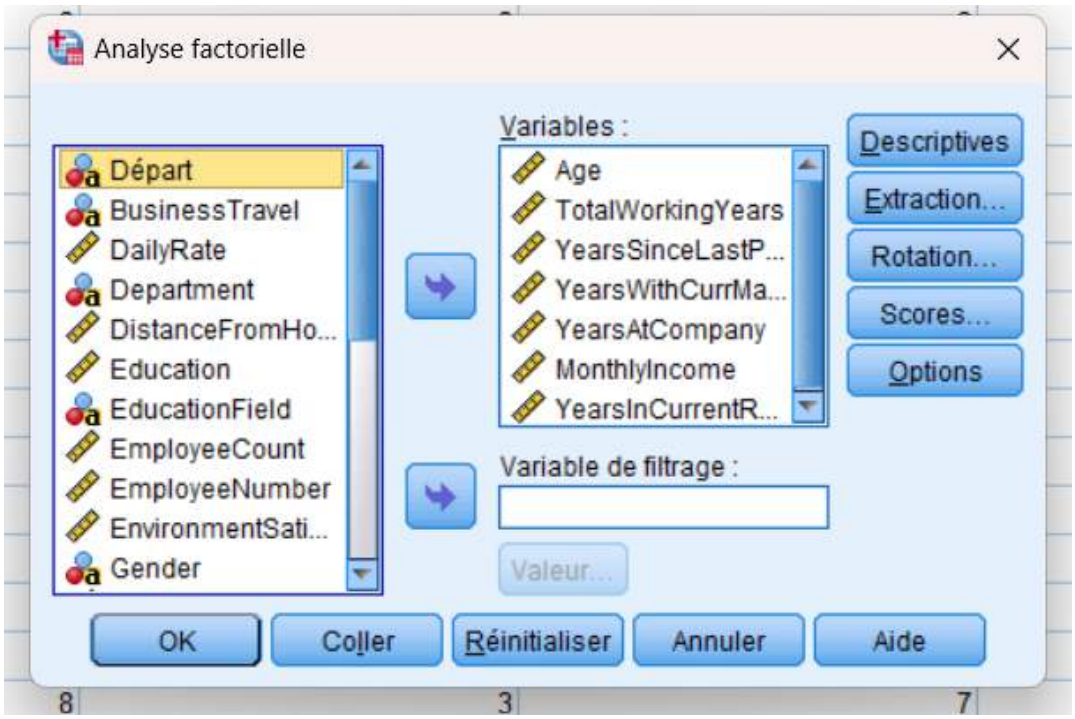


Figure 97: Menu entrée des variables

Résultat :

La figure est un tableau d'indice Kmo qui est supérieur a 0,7 donc on peut faire l'étude factorielle pour ces données.

Analyse factorielle

Indice KMO et test de Bartlett

Indice de Kaiser-Meyer-Olkin pour la mesure de la qualité d'échantillonnage.		,820
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-carré approx.	6536,929
	ddl	21
	Signification	,000

Figure 98 : Tableau d'indice KMO

La figure suivante représente la matrice de la variance totale expliquée. Cette matrice permet de comprendre l'importance de chaque variable dans la variabilité globale des données en calculant le cumul de la variance de chaque composant.

Variance totale expliquée

	Valeurs propres initiales			Sommes extraites du carré des chargements			Sommes de rotation du carré des chargements a
Composante	Total	% de la variance	% cumulé	Total	% de la variance	% cumulé	Total
1	4,012	57,318	57,318	4,012	57,318	57,318	3,540
2	1,336	19,083	76,401	1,336	19,083	76,401	2,895
3	,538	7,687	84,088				
4	,485	6,927	91,015				
5	,285	4,075	95,090				
6	,195	2,784	97,874				
7	,149	2,126	100,000				

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.

a. Lorsque les composantes sont corrélées, impossible d'ajouter la somme du carré de chargement pour obtenir une variance totale.

Figure 99: Matrice de Variance Totale expliqueée

La figure suivante est la matrice de forme, également appelée matrice de charges ou matrice de facteur, est une matrice qui indique la relation entre les variables observées et les facteurs latents extraits à partir des données. Nous éliminerons les items dont les communalités inférieur a 0.5.

Matrice de forme[a]

	Composante	
	1	2
YearsInCurrentRole	,900	
YearsWithCurrManager	,899	
YearsAtCompany	,847	
YearsSinceLastPromotion	,748	
Age		,919
TotalWorkingYears		,833
MonthlyIncome		,794

Figure 100 : Matrice de forme

Dans la figure ci-dessous , elle représente la matrice des coefficients des composantes qui indique la relation entre les variables observées et les composants factoriels. Elle est utilisée pour obtenir des facteurs plus interprétables et significatifs en effectuant une rotation des composants extraits, dans notre cas on a utilisé la méthode Varimax

Matrice des coefficients des composantes

	Composante 1	Composante 2
Age	-,192	,476
TotalWorkingYears	-,042	,392
YearsSinceLastPromotion	,275	-,075
YearsWithCurrManager	,341	-,125
YearsAtCompany	,291	-,013
MonthlyIncome	-,068	,382
YearsInCurrentRole	,340	-,119

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.
Méthode de rotation : Varimax avec normalisation Kaiser.
Scores des composantes.

Figure 101 : Matrice des coefficients des composantes

La figure suivante présente une matrice de corrélation entre les facteurs extraits.

Matrice de covariance des coefficients des composantes

Composante	1	2
1	1,000	,000
2	,000	1,000

Figure 102: Matrice de corrélation des coefficients

La figure ci-dessous représente un tracé des composantes après rotation qui permet de représenter les variables et les composantes factorielles dans l'espace , ce qui facilite l'interprétation et la visualisation des relations entre les variables et les composantes.

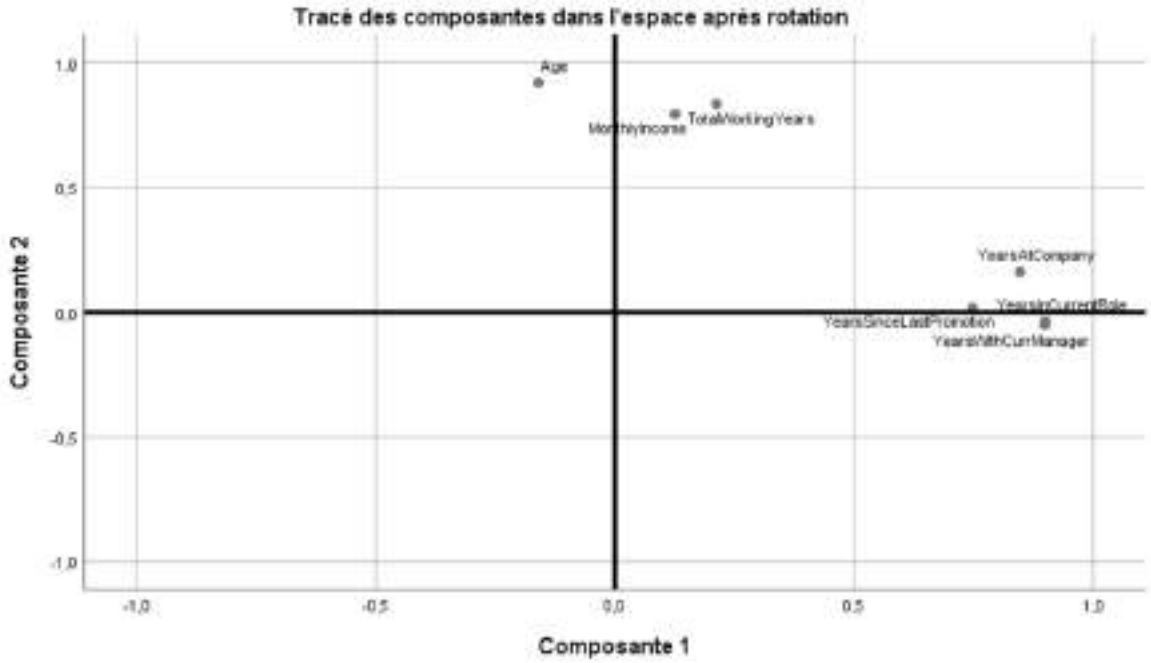


Figure 103 : Tracé des composantes dans l'espace après rotation

Figure qui affiche les nouveaux facteurs ajoutés dans l'interface de vue des données de SPSS

YearsSinceLastPromotion	YearsWithCurrManager	FAC1_1	FAC2_1
0	5	-,21961525071344	-,01431
1	7	,40177	,34992
0	0	-1,24335	-,47355
3	0	-,00834	-,58702
2	2	-,56702	-,92886
3	6	,46805	-,71420

Figure 104: Nouvelle vu des données

III. 2.3.Interprétation

Selon la figure on a l'indice de KMO=0.82 > 0.7 donc les données des ressources humaines de l'atelier maintenance sont adéquates à l'analyse factorielle.

Selon la matrice de la variance expliquée , on peut voir que 76,401 de la variance de touts les variables s'explique par les deux facteurs qu'on va extraire

Selon la matrice de forme, elle va permettre de voir les les variables les plus fortement liées à chaque facteur selon les charges factorielles pour chaque facteur, alors pour le premier facteur les variables les plus fortement liés sont Les années dans le rôle actuel , les années avec le manager actuel , les années passées dans l'entreprise et les années depuis la dernière promotion. Pour le deuxième facteur, les variables liés a ce dernier sont le salaire mensuel, l'âge, années d'expérience professionnelles.

Pour la matrice des coefficients des composantes, elle va nous permettre de créer les nouveau variables FACT_1 et FACT_2 présentées dans la figure en combinant linéairement les anciens variables avec les coefficients.

La matrice de covariance va nous permettre la corrélation entre les facteurs extraits , puisque on a choisit la méthode Varimax comme méthode de rotation alors cette corrélation est 0.

La figure , va nous permettre de présenter graphiquement dans l'espace la relation entre les facteurs extraits et les variables.

Donc , on a pu réduire la taille du probléme , au lieu de septs facteurs on va travailler sur deux facteurs et ceci va nous permettre de simplifier notre étude.

III.3.Analyse de variance(ANOVA):

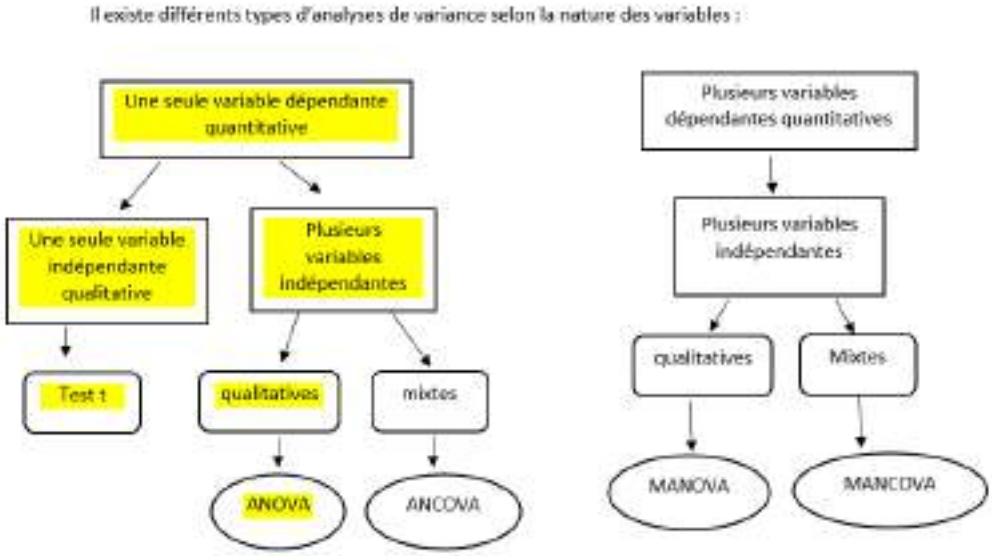


Figure 105: Organigramme Analyse de variance selon le type de variable

L'analyse de variance entre dans le cadre ou une variables quantitative (ou plusieurs) est expliquée par une variables qualitative (ou plusieurs). On étudiera la force de rotation de l'outil de fraisage à l'égard de la panne
N.B:Dans notre cas on va détailler l'analyse de la variance univariée puis on passera à l'analyse de la covariance (selon le schèma les cases marquées en jaune).

III.3.1.Rappel théorique:

On doit vérifier l'hypothèse nulle que les moyennes des groupes proviennent d'une même population. Pour ce faire, nous allons utiliser l'analyse de variance univariée (ANOVA:analyse de variance à un seul facteur).

L'analyse de variance consiste à tester l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes, qui nous permet de traiter les différences de moyennes d'une variable dépendante quantitative Y lorsque la variable indépendante a plus de modalités. Le type ANOVA nous permet de savoir si au moins une des moyennes diffère des autres. Ainsi si le moment de la force de rotation de l'outil (variable quantitative) peut être expliquée par la panne.

Hypothèse nulle: Les groupes de sonnées proviennent de la même population donc leurs moyennes sont égales.

$$H_0 : \overline{X}_1 = \overline{X}_2 = \overline{X}_3 = \dots \overline{X}_n$$

Hypothèse alternative: Différence entre les moyennes c'est à dire qy'une a mois des moyennes est différente

$$H_1 : \overline{X}_1 \neq \overline{X}_2 \neq \overline{X}_3 \neq \dots \overline{X}_n$$

Avant de procéder à l'analyse de variance, il faut d'abord s'assurer de deux conditions à propos des paramètres utilisés pour faire cette analyse:
L'homogénéité de la variance intragroupe et la normalité des données

On utilise le test de Levene pour tester l'hypothèse nulle selon laquelle les variances sont nulle (valeur significative supérieure à 0,05), si les données ne sont pas appropriées au test ANOVA (c'est-à-dire on a des données hétérogènes en variance et des données asymétriques) , on peut utiliser le test non paramétrique Kruskall-Wallis.

III.3.2.Procédure SPSS:

On choisit l'analyse ANOVA à 1 facteur dans le Menu Analyse

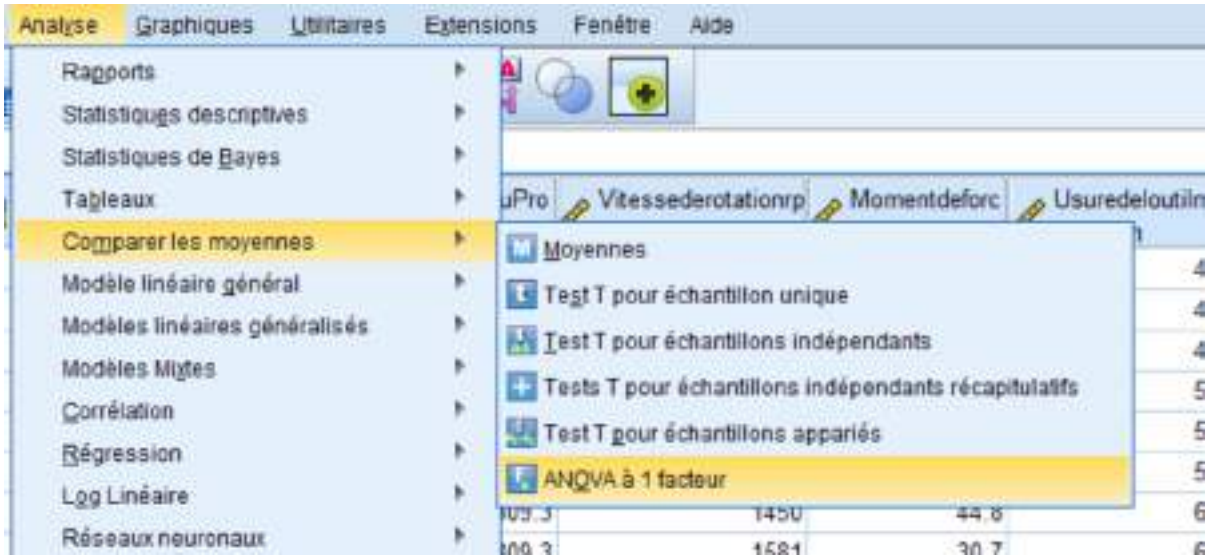


Figure 106: Boite de menu Analyse

On a la valeur significative<0,05 donc le moment de force suit la loi normale mais ne présente pas d'homogénéité.

Unidirectionnel

Test d'homogénéité des variances

		Statistique de Levene	ddl1	ddl2	Sig.
Moment de force [Nm]	Basé sur la moyenne	94,784	1	4998	,000
	Basé sur la médiane	71,735	1	4998	,000
	Basé sur la médiane avec ddl ajusté	71,735	1	3394,806	,000
	Basé sur la moyenne tronquée	82,353	1	4998	,000

Figure 107: Tableau Test d'Homgeniété des variances

***Remarque**: On ne peut pas aussi utiliser post hoc pour savoir quelles sont les moyennes qui sont différentes.*

Les données des facteurs agissant sur la maintenance qu'on a utilisé ne sont pas convenable pour cette étude, donc on va utiliser d'autres données qui concernent les ressources humaines dans l'atelier de maintenance.

On va utiliser la variable qualitative BusinessTravel et la variable quantitative DailyRate

Dans le tableau suivant on va utiliser le test Kolmogorov-Smirnov pour tester la normalité dans nos données .

16	La distribution de JobInvolvement est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 0,712.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
17	La distribution de JobLevel est normale avec une moyenne de 2 et un écart type de 1,107.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
18	La distribution de JobSatisfaction est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 1,103.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
19	La distribution de MonthlyIncome est normale avec une moyenne de 6 503 et un écart type de 4 707,957.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
20	La distribution de MonthlyRate est normale avec une moyenne de 14 313 et un écart type de 7 117,786.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
21	La distribution de NumCompaniesWorked est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 2,498.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
22	La distribution de PerformanceRating est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 0,361.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.

	écart type de 9,135.	Smirnov d'un seul échantillon		nulle.
10	La distribution de DailyRate est normale avec une moyenne de 802 et un écart type de 403,509.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
11	La distribution de DistanceFromHome est normale avec une moyenne de 9 et un écart type de 8,107.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
12	La distribution de Education est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 1,024.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
13	La distribution de EmployeeCount est normale avec une moyenne de 1 et un écart type de 0,000.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	-	Calcul impossible.
14	La distribution de EmployeeNumber est normale avec une moyenne de 1 025 et un écart type de 602,024.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
	La distribution de	Test		Rejeter l'
16	La distribution de JobInvolvement est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 0,712.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
17	La distribution de JobLevel est normale avec une moyenne de 2 et un écart type de 1,107.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
18	La distribution de JobSatisfaction est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 1,103.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
19	La distribution de MonthlyIncome est normale avec une moyenne de 6 503 et un écart type de 4 707,957.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
20	La distribution de MonthlyRate est normale avec une moyenne de 14 313 et un écart type de 7 117,786.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
21	La distribution de NumCompaniesWorked est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 2,498.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
22	La distribution de PerformanceRating est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 0,361.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.

16	La distribution de JobInvolvement est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 0,712.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
17	La distribution de JobLevel est normale avec une moyenne de 2 et un écart type de 1,107.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
18	La distribution de JobSatisfaction est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 1,103.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
19	La distribution de MonthlyIncome est normale avec une moyenne de 6 503 et un écart type de 4 707,957.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
20	La distribution de MonthlyRate est normale avec une moyenne de 14 313 et un écart type de 7 117,786.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
21	La distribution de NumCompaniesWorked est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 2,498.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
22	La distribution de PerformanceRating est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 0,361.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.

16	La distribution de JobInvolvement est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 0,712.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
17	La distribution de JobLevel est normale avec une moyenne de 2 et un écart type de 1,107.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
18	La distribution de JobSatisfaction est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 1,103.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
19	La distribution de MonthlyIncome est normale avec une moyenne de 6 503 et un écart type de 4 707,957.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
20	La distribution de MonthlyRate est normale avec une moyenne de 14 313 et un écart type de 7 117,786.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
21	La distribution de NumCompaniesWorked est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 2,498.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
22	La distribution de PerformanceRating est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 0,361.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.

22	La distribution de PerformanceRating est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 0,361.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
23	La distribution de RelationshipSatisfaction est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 1,081.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
24	La distribution de StandardHours est normale avec une moyenne de 80 et un écart type de 0,000.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	.	Calcul impossible.
25	La distribution de TotalWorkingYears est normale avec une moyenne de 11 et un écart type de 7,781.	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.
26	La distribution de TrainingTimesLastYear est normale avec une moyenne de 3 et un écart type de 1,289	Test Kolmogorov-Smirnov d'un seul échantillon	,000[1]	Rejeter l' hypothèse nulle.

Figure 108: Tableau des tests de distibution normale des données

L'hypothèse nulle qui dit que ces paramètres suivent la loi normale est rejetée donc on va utiliser Kruskall-Wallis pour étudier la variance de ces données.

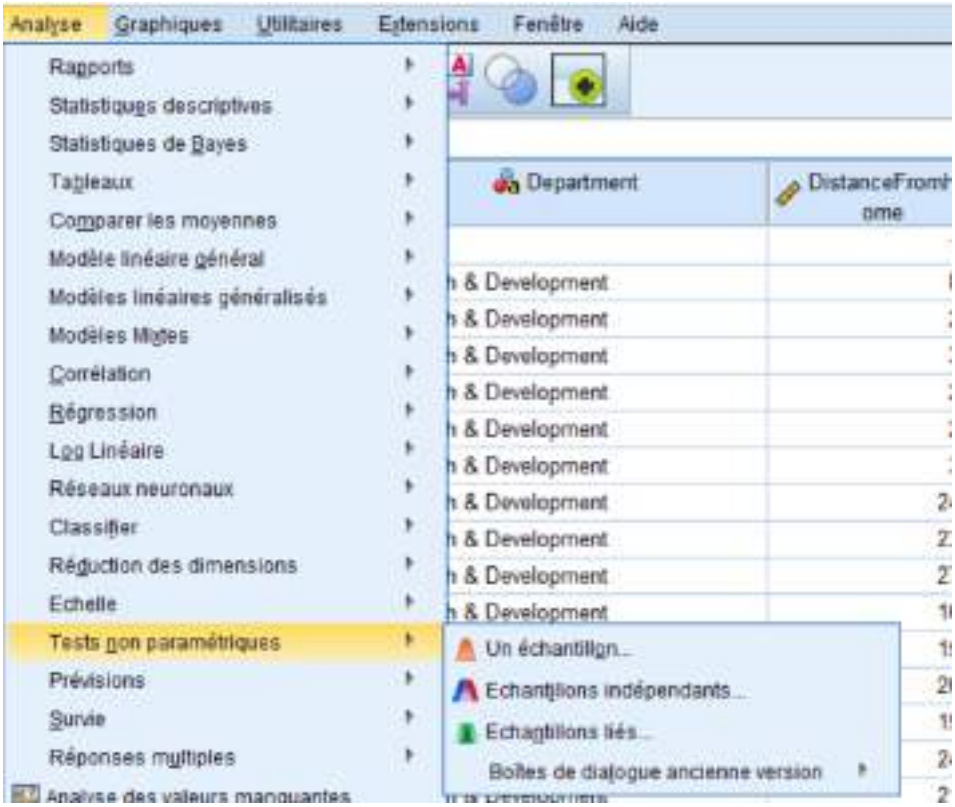


Figure 109 : Boite de Menu Analyse

On choisit les deux échantillons pour faire le test pour vérifier l'hypothèse nulle évoquée au début de notre étude.

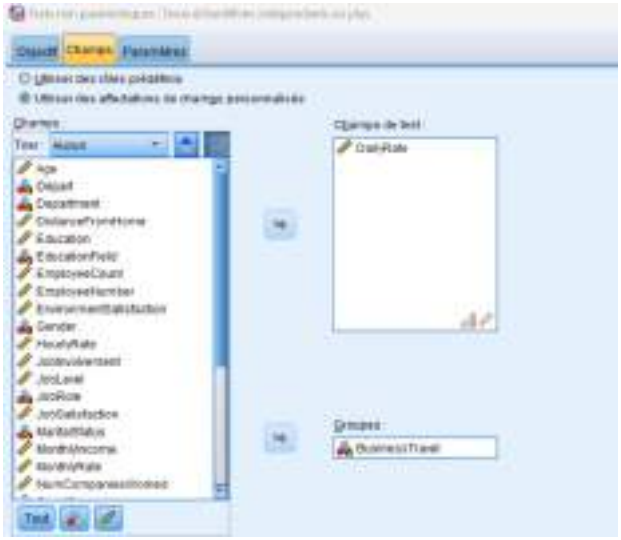


Figure 110: Boite de Menu de choix des variables

On obtient dans la sortie le résultat du test et on le compare avec la valeur 0,05

Tests non paramétriques

Récapitulatif du test d'hypothèse

	Hypothèse nulle	Test	Sig.	Décision
1	La distribution de DailyRate est identique sur les catégories de BusinessTravel.	Test de Kruskal-Wallis d'échantillons indépendants	,828	Retenir l'hypothèse nulle.

Les significations asymptotiques sont affichées. Le niveau de signification est ,05.

Figure 111: Table du résultat de test l'hypothèse

III.3.3.Interprétation :

On a utilisé le test t non paramétrique, on a obtenu une valeur significative=0,828>0,05 , donc l'hypothèse nulle est retenue, cela nous explique que les moyennes des groupements des voyages de travails sont égales aux moyennes des groupements de rémunération journalière c'est à dire avec l'augmentation des voyages de travail le prix du paiement journaliers du personnel dans le département de maintenance augmente mutuellement.

III.4.Analyse de variance (MANOVA) :

L'analyse multivariée est une extension de l'ANOVA pour mesurer les différences de moyenne de deux variables indépendantes quantitatives (ou plus) en fonction d'une variables qualitative explicative. MANOVA nous permet d'avoir en plus de de l'explication de la variance d'avoir une explication de la covariance des variables à expliquer, décomposée en intra et intergroupe. L'ANOVA nous permet de mettre en évidence parmi l'ensemble des variables qualitatives expliquées, celles dont la valeur est la plus affectée par les variations des variables quantitatives ou qualitatives explicatives, par conséquent elle nous explique des combinaisons linéaires des variables.

III.4.1.Rappel théorique:

Pour utiliser MANOVA il faut respecter les conditions suivantes :

1) Indépendance des observations : Les valeurs des variables ne doivent pas être influencées par des facteurs exogènes des variables étudiées.

2) Egalité des matrices de variance-covariance entre les groupes d'observation <=> à l'homogénéité des variances en ANOVA, il est généralement recommandé d'voir un rapport entre la taille du groupe et celle du plus grand inférieur à 1,5.

3) Multinormalité des distributions des moyennes pour chaque variable dépendante. Cette condition est très importante si la taille des groupes est importante.

4) La significativité des différences des moyennes selon le test F.

L'interprétation d'une MANOVA se fait en deux temps:

1. Examen du critère de PILLAI qui indique la significativité des variables explicatives.
2. Déceler les variables qui sont affectés pas la variable indépendante.

III.4.2.Procédure SPSS :

On fait l'étude des variables dépendantes quantitatives qui sont le paiement journalier(DailyRate) et le nombre des années travaillées (Total work years) en fonction de la variable qualitative Jobsatisfaction.

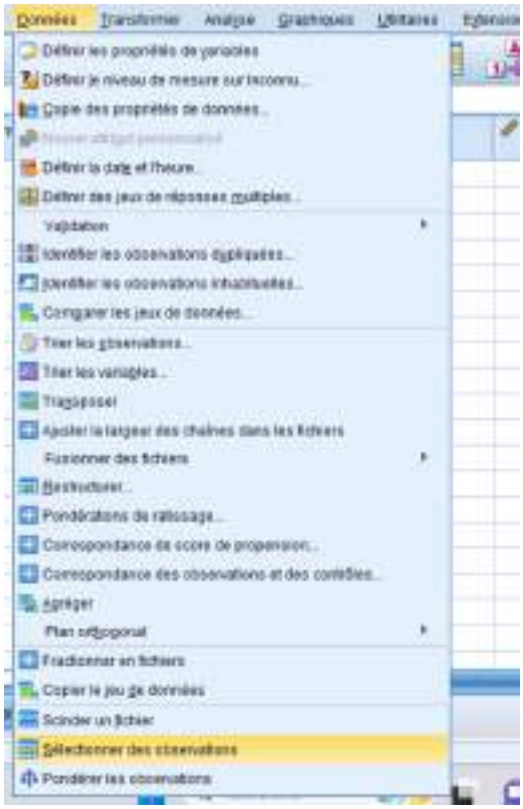


Figure 112: Choix de selection des observations

Figure 113: Menu pour la sélection des conditions d'observation des variables

On sélectionne d'abord les groupes à étudier en choisissant 3 groupes dont le degré de satisfaction <4 pour effectuer une étude linéaire multivariée .

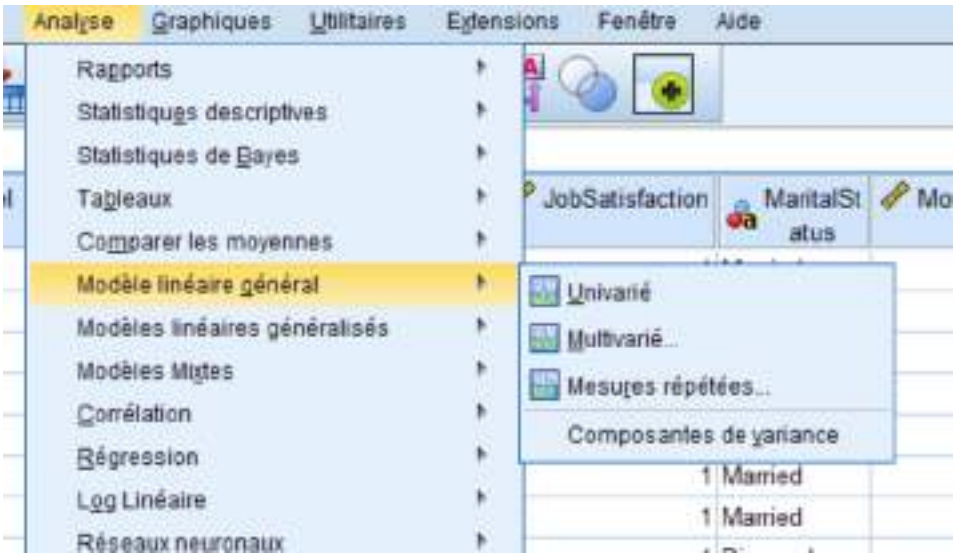


Figure 114: Boite de Menu Analyse

On choisit les variables dépendantes et les facteurs fixes pour effectuer l'analyse .

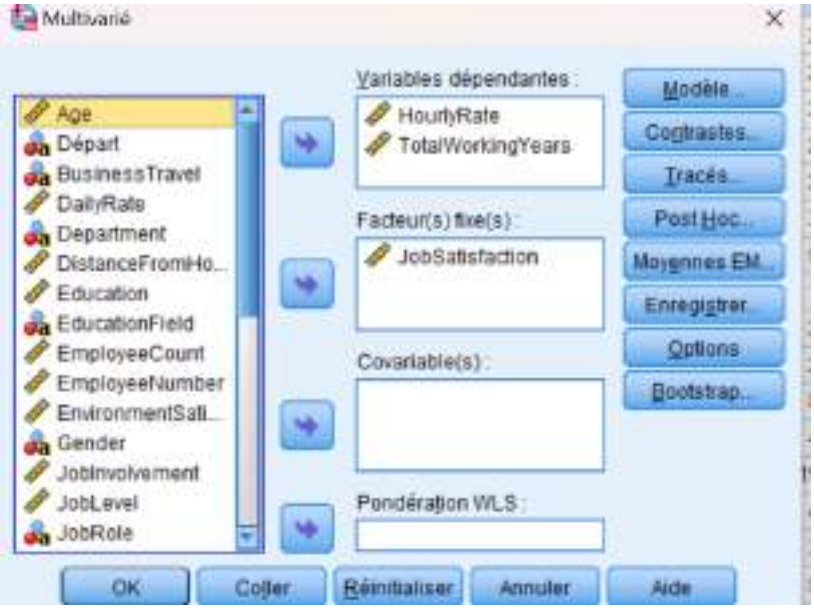


Figure 115: Boite de Menu choix d'analyse multivariée

On intoduit la variable qualitative à afficher sur le graphique à barres avec une intervalle de confiance (0,95).

Figure 116: Menu pour choix du tracés de profil

On choisit la variable JobSatisfaction pour effectuer le test post hoc en utilisant hypothèse de Befferoni

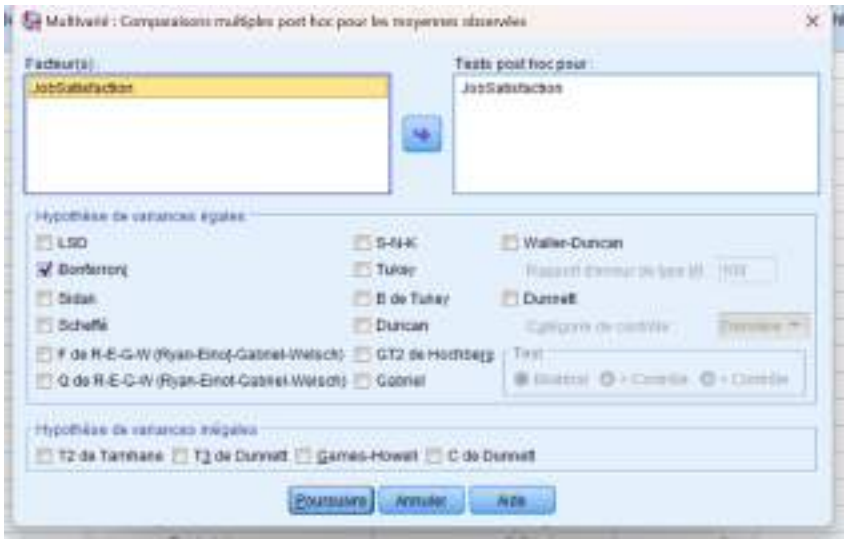


Figure 117: Boite de comparaisons multiples pour les moyennes

On choisit maintenant Moyennes EM pour sélectionner les facteurs et les interactions pour lesquels vous souhaitez obtenir des estimations des moyennes marginales de la population dans les cellules. Les moyennes sont ajustées pour les covariables.

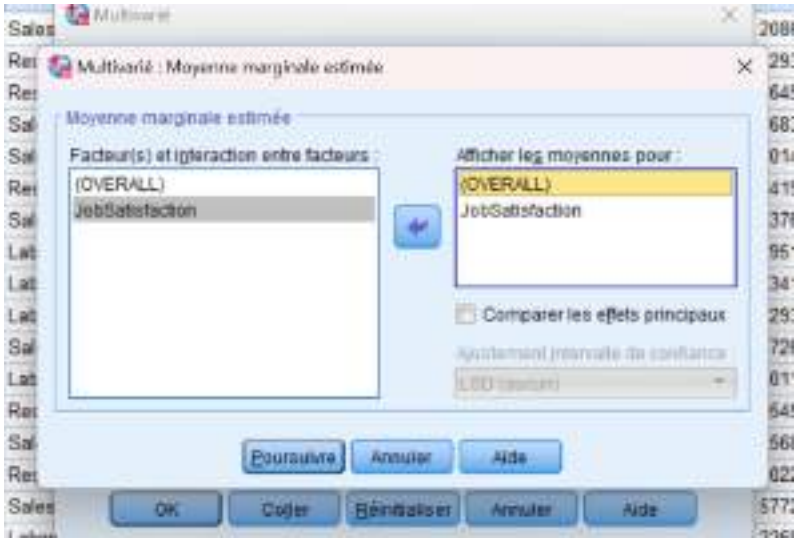


Figure 118: Boite de menu pour la moyenne marginale entre facteurs

Résultat:

Ce tableau nous présentent le nombre de valeurs présentes pour chaques nivaux de satisfaction

Facteurs intersujets

Double-cliquez pour activer

		N
JobSatisfaction	1	289
	2	280
	3	442

Figure 119: Tableau des facteurs intersujets

Le tableau suivant nous présente comment l'analyse est significative en prenant en considération niveau satisfaction au travail .

JobSatisfaction

Comparaisons multiples :

Bonferroni

Variable dépendante	(I) JobSatisfaction	(J) JobSatisfaction	Différence moyenne (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95 % Borne inférieure	Borne supérieure
HourlyRate	1	2	2,00	1,688	,706	-2,04	6,05
		3	3,75*	1,523	,042	,10	7,41
	2	1	-2,00	1,688	,706	-6,05	2,04
		3	1,75	1,537	,766	-1,94	5,44
	3	1	-3,75*	1,523	,042	-7,41	-,10
		2	-1,75	1,537	,766	-5,44	1,94
TotalWorkingYears	1	2	,25	,654	1,000	-1,32	1,82
		3	,50	,590	1,000	-,91	1,92
	2	1	-,25	,654	1,000	-1,82	1,32
		3	,25	,596	1,000	-1,18	1,68
	3	1	-,50	,590	1,000	-1,92	,91
		2	-,25			-1,68	1,18

Double-cliquez pour activer

Calcul basé sur les moyennes observées.
Le terme d'erreur est le carré moyen (Erreur) = 60,904.

* La différence moyenne est significative au niveau ,05.

Figure 120: Tableau des comparaisons post hoc beferroni

Avec l'étude de distribution de ces deux diagrammes on peut déduire si la distribution de nos facteurs correspond à l'étude MANOVA.

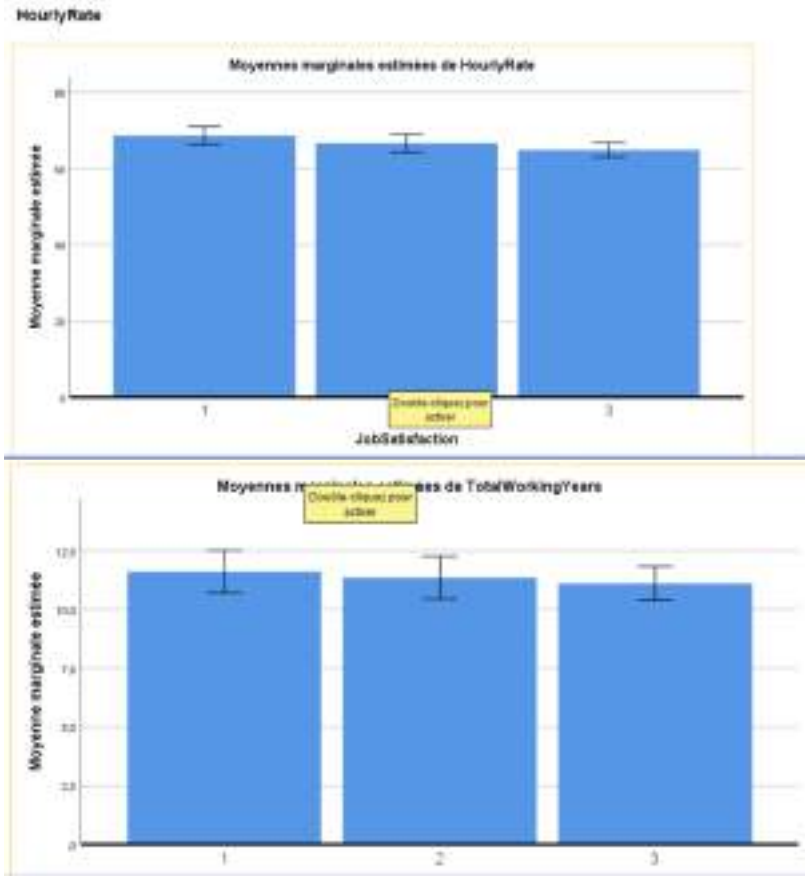


Figure 121: Diagramme de distribution d'erreur

III.4.3.Interprétation :

Dans le tableau des facteurs intersujets on constate la modofication qu'on a effectué est bien choisi puisque chaque groupe possède bien un nombre distribué logiquement selon le niveau de satisfaction .

Dans le tableau de comparaisons multiples , dans le premier groupe on a des valeurs significative (à 0,05) c'est à dire que l'ajustement est bien choisi et qu'il ya une influence entre le paiement par heure et le le niveau de satisfaction au travail, alors que dans le deuxième groupe qui concerne le nombre des années de travail on a des valeurs significatives=1 donc la comparaisons deux à deux ne sont pas significatives donc la comparaison n'est pas significative et la variable qualitative n'a pas d'influence sur cet ajustement .

Dans les graphiques, les barres d'erreur ne sont pas importantes, cela confirme que la distribution de groupe qu'on a ajusté est convenable à la comparaison Manova.

III.5.Analyse de variane (Plan factoriel)

L'objectif de l'analyse de variance à plan factoriel est de tester l'effet de deux ou de plusieurs variables indépendantes catégorielles sur une variable dépendante à l'intérieur d'une seule analyse. Cette technique permet de calculer l'effet simple de chaque variable indépendante ainsi que leur interaction.
L'exemple de cette section présente un devis factoriel à deux facteurs. Le modèle est constitué des facteurs GENDER et MARITALSTATUS (domaine d'étude) et de la variable dépendante MONTHLYINCOME. Comme chercheurs, nous voulons savoir de quelle manière le sexe (GENDER) et le statut social (MARITALSTATUT) sont associés avec le salaire de mensuel (MONTHLYINCOME).

III.5.1.Rappel théorique:

Les devis factoriel :

Ce devis comprend minimalement deux variables catégorielles appelées aussi facteurs, d'où le nom de l'analyse. En raison de la complexité de l'interprétation des interactions multiples, les modèles factoriels incluent rarement plus de trois facteurs. De plus, les modèles ainsi créés sont catégorisés en fonction des niveaux des facteurs, c'est-à-dire le nombre de catégories contenu dans chaque variable indépendante.

Hypothèse nulle
Dans l'exemple d'un modèle à deux facteurs, l'hypothèse nulle porte sur les deux facteurs ainsi que leur interaction. Il y a donc trois hypothèses à considérer et à tester. La première concerne l'effet simple de la variable Gender (G)
H0 G : X G1 = X G2
La suivante, l'effet simple de la variable MARITALSTATUTS
(S) H0 S : XS1 = XS2 = XS3
La dernière concerne l'effet d'interaction entre les deux facteurs
H0 GxS : X G1xS1 = X G2xS1 = X G1xS2 = … = X GnxSn

L'hypothèse alternative (**H1**) associée à chaque hypothèse nulle est qu'il existe une ou des différences de moyennes entre les groupes, c'est-à-dire qu'au moins une des moyennes est significativement différente des autres.

Pour utiliser l'analyse ANOVA plan factoriel, les prémisses de l'ANOVA à plan factoriel sont les mêmes que celles de MANOVA.
Il faut respecter les conditions suivantes :
1) Indépendance des observations : Les valeurs des variables ne doivent pas être influencées par des facteurs exogènes des variables étudiées.

2) Egalité des matrices de variance -covariance entre les groupes d'observation <=> à l'homogénéité des variances en ANOVA, il est généralement recommandé d'voir un rapport entre la taille du groupe et celle du plus grand inférieur à 1,5.

3) Multinormalité des distributions des moyennes pour chaque variable dépendante. Cette condition est très importante si la taille des groupes est importante.

4) La significativité des différences des moyennes selon le test F.

III.5.2.Procédure SPSS:

Dans la rubrique Analyse on choisit le modèle linéaire général puis Univarié.

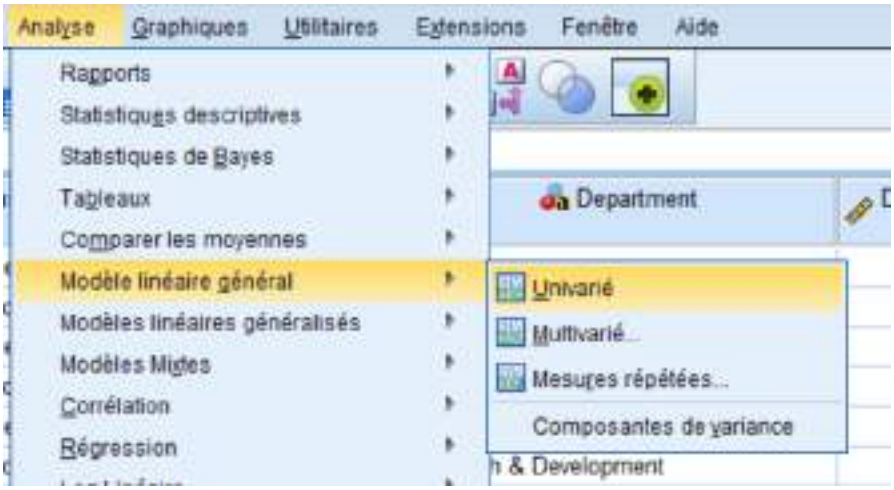


Figure 122: Menu Analyse

Dans cette rubrique on choisira les varible ->variable dépendante:Salaire mensuel et variables fixes: sexe et statut familial.

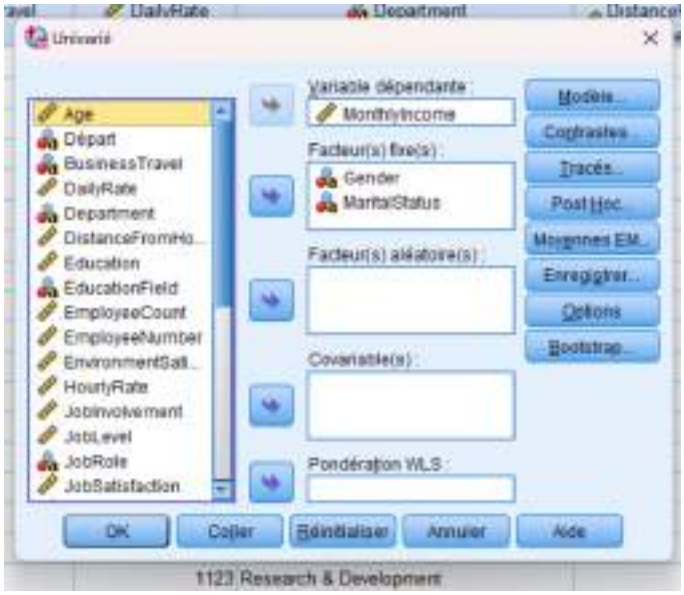


Figure 123: Boite de selection des variables

On laisse cette fenetre par défaut ,elle nous offre la possibilité de réaliser l'analyse pour l'ensemble du modèle (Factoriel complet) en incluant tous les effets principaux des variables indépendantes et des covariables.

Figure 124: La boite modèle

Notre tracé sera le femme/homme en fonction du statut familial pour voir la variation du salaire.

Figure 125: Boite tracés de profil

On définit les variables auxquelles on veut faire les comparaisons multiples, on sélectionne le test t Bonferroni pour comparer les moyennes des groupes deux à deux et ajuste le degré de signification en divisant 0,05 par le nombre de comparaisons à effectuer

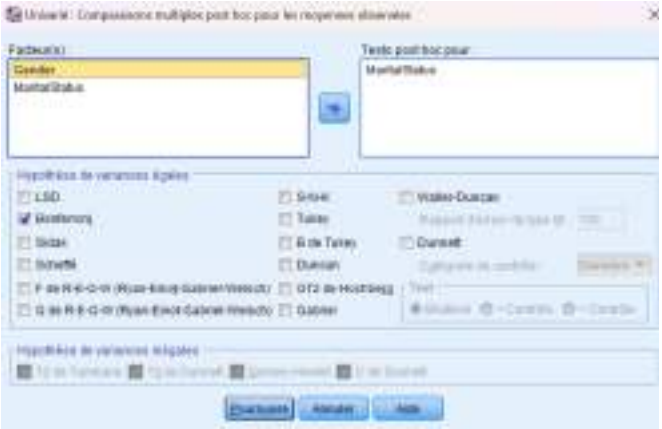


Figure 126: Boite de comparaisons multiples

On définit les variables pour lesquelles on souhaite comparer les effets principaux pour chacune d'elles du modèle à partir des moyennes estimées tout en ajustant l'intervalle de confiance.

Figure 127: Boite de dialogue du bouton Moyenne

On laisse les paramètres de cette boite par défaut .

Figure 128: Boite d'enregistrement des tableaux de prévisions et résidus

On choisit les types de test et de description à avoir en sortie du programme

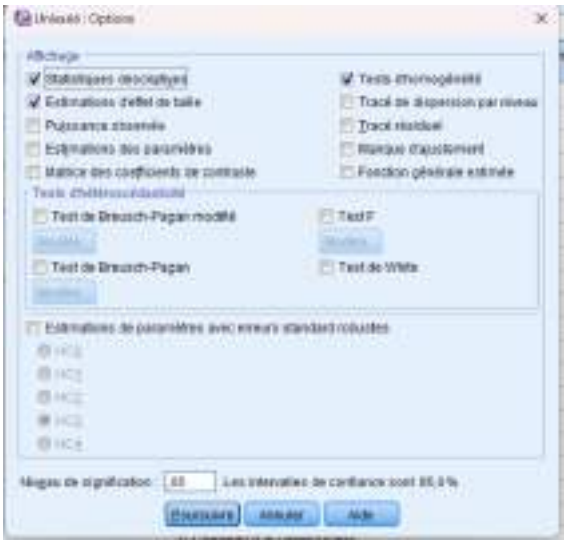


Figure 129: Tableau dans la fenêtre de résultats

Résultat:

Ce tableau nous montre le nombre de variables concernants le sexe et la situation familiale qui vont particper à notre étude.

Facteurs intersujets

		N
Gender	Female	588
	Male	882
MaritalStatus	Divorced	327
	Married	673
	Single	470

Figure 130: Tableau de facteurs intersujets

Ce tableau nous montre la moyenne et l'écart type dans chaque type de situation familiale (marié, divorcé et célibataire) chez les femme et chez le hommes

Statistiques descriptives

Variable dépendante: MonthlyIncome

Gender	MaritalStatus	Moyenne	Ecart type	N
Female	Divorced	6769,32	4966,038	117
	Married	7156,97	4841,769	272
	Single	5994,94	4247,823	199
	Total	6686,57	4695,609	588
Male	Divorced	6795,74	4789,236	210
	Married	6547,24	4862,379	401
	Single	5812,02	4387,990	271
	Total	6380,51	4714,857	882
Total	Divorced	6786,29	4845,648	327
	Married	6793,67	4859,686	673
	Single	5889,47	4325,571	470
	Total	6502,93	4707,957	1470

Figure 131 : Tableau des statistiques descriptives

On a aussi dans notre résultat le tableau du test d'égalité des variances dans lequel on compare la valeur significative à 0,05

Test d'égalité des variances des erreurs de Levene[a,b]

		Statistique de Levene	ddl1	ddl2	Signification
MonthlyIncome	Basé sur la moyenne	2,614	5	1464	,023
	Basé sur la médiane	1,339	5	1464	,245
	Basé sur la médiane avec ddl ajusté	1,339	5	1449,047	,245
	Basé sur la moyenne tronquée	2,349	5	1464	,039

Teste l'hypothèse nulle selon laquelle la variance des erreurs de la variable dépendante est égale sur les différents groupes.

a. Variable dépendante : MonthlyIncome

b. Plan : Constante + Gender + MaritalStatus + Gender * MaritalStatus

Figure 132: Tableau des tests d'égalité des variances

Ce tableau nous permet de savoir si le modèle testé permet de rejeter l'hypothèse nulle ou non en comparant les valeurs significatives avec 0,05.

Tests des effets intersujets

Variable dépendante: MonthlyIncome

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	324162992[a]	5	64832598,35	2,944	,012	,010
Constante	5,416E+10	1	5,416E+10	2459,597	,000	,627
Gender	20823944,95	1	20823944,95	,946	,331	,001
MaritalStatus	266577943,7	2	133288921,9	6,053	,002	,008
Gender * MaritalStatus	24700163,28	2	12350081,64	,561	,571	,001
Erreur	3,224E+10	1464	22019133,91			
Total	9,472E+10	1470				
Total corrigé	3,256E+10	1469				

a. R-deux = ,010 (R-deux ajusté = ,007)

Figure 133: Tableau de tests des effets intersujets

Ces trois tableaux nous évoquent les moyenne de nos variables étudiées qui qppartienent littéralement aux invervalles de confiances générés par SPSS.

Moyenne marginale estimée

1. Moyenne générale

Variable dépendante: MonthlyIncome

Moyenne	Erreur standard	Intervalle de confiance à 95 %	
		Borne inférieure	Borne supérieure
6512,707	131,320	6255,113	6770,302

2. Gender

Variable dépendante: MonthlyIncome

Gender	Moyenne	Erreur standard	Intervalle de confiance à 95 %	
			Borne inférieure	Borne supérieure
Female	6640,413	205,426	6237,452	7043,374
Male	6385,002	163,644	6063,999	6706,004

3. MaritalStatus

Variable dépendante: MonthlyIncome

MaritalStatus	Moyenne	Erreur standard	Intervalle de confiance à 95 % Borne inférieure	Borne supérieure
Divorced	6782,531	270,671	6251,587	7313,475
Married	6852,107	184,298	6490,591	7213,624
Single	5903,483	219,032	5473,833	6333,134

Figures 134: Tableaux des moyennes marginales estimées

Tests post hoc

MaritalStatus

Comparaisons multiples :

Variable dépendante: MonthlyIncome

Bonferroni

(I) MaritalStatus	(J) MaritalStatus	Différence moyenne (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95 % Borne inférieure	Borne supérieure
Divorced	Married	-7,38	316,314	1,000	-765,51	750,74
	Single	896,82*	337,914	,024	86,92	1706,71
Married	Divorced	7,38	316,314	1,000	-750,74	765,51
	Single	904,20*	282,076	,004	228,14	1580,26
Single	Divorced	-896,82*	337,914	,024	-1706,71	-86,92
	Married	-904,20*	282,076	,004	-1580,26	-228,14

Calcul basé sur les moyennes observées.

Le terme d'erreur est le carré moyen (Erreur) = 22019133,911.

* La différence moyenne est significative au niveau ,05.

Figure 135: Tableau de comparaisons multiples

Ce tracé nous montre la différence des salaires mensuels chez les femmes et les hommes avec la différence des situations familiales

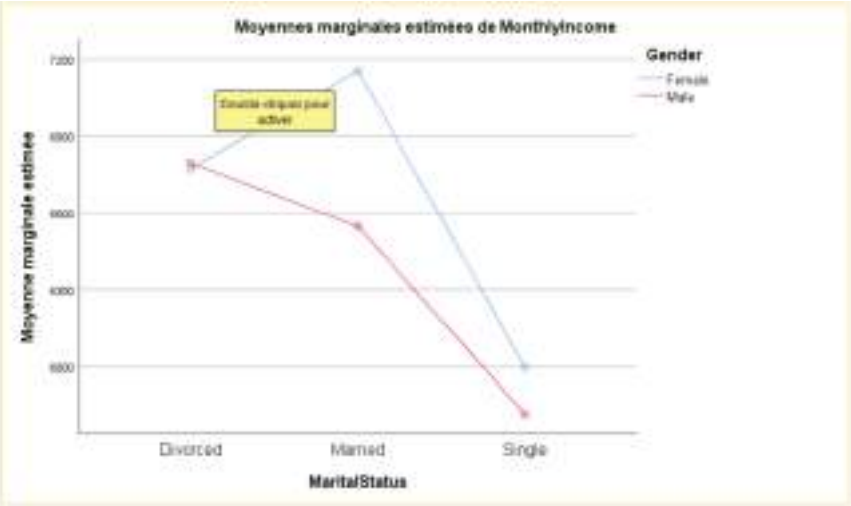


Figure 136: Tracé des salaires mensuels

III.5.3.Interprétation :

Dans le tableau Facteurs intersujets, nous observons ensuite les moyennes obtenues pour chacun des 6 sous-groupes formés par le croisement des deux variables indépendantes.
Dans le tableau Statistiques descriptives, on remarque que les femmes gagnent un salaire de 6686,57 en moyenne alors que les hommes gagnent un salaire moins élevé que les femmes de 6380,51 en moyenne. Du côté de la situation familiale, les personnes divorcés et mariés gagnent plus que ceux qui sont célibataire.
Pour l'homogénéité des variances avec le test d'égalité des variances des erreurs de LEVENE, le test est significatif (>0,05) donc on peut rejeter l'hypothèse nulle.

Concernant les résultats de l'analyse principale dans le tableau des tests des effets intersujets, on a la valeur de l'interaction gender*maritalsatuts avec une valeur significatives=0,561>0,18, donc on peut rejeter l'hypothèse nulle.

Dans le tracé, nous constatons que chez les femmes, les différences de salaire sont plus importantes entre les mariées et les célibataires. Celles-ci gagnent un salaire qui se rapproche davantage de celui des divorcées. Chez les hommes pareils, sauf que cette fois ce sont les divorcés qui ont le salaire le plus élevé. Il y a variation dans les salaires des hommes et des femmes confirme l'effet principal du la situation familiale. Le croisement entre la ligne des hommes et celle des femmes confirme l'effet d'interaction entre les deux variables. Ce graphique semble illustrer que les femmes mariées et les femmes célibataires gagnent plus que les hommes mariés et les hommes célibataires, mais que les célibataires dans les hommes et les femmes ont le même salaire. Nous pouvons voir que la différence de salaire entre les hommes et les femmes ne semble vraie que pour les deux deuxièmes domaines d'études

III.6.Analyse de covariance (ANCOVA et MANCOVA) :

II.6.1.Rappel théorique:

L'analyse de covariance (ANCOVA) combine les techniques de l'analyse de variance et de la régression. La MANCOVA est une extension des principes de l'ANOVA à l'analyse multivariée (plusieurs variables dépendantes). On accède à ces analyses par le modèle linéaire général univariée.
Ces méthodes sont utilisées pour éliminer les erreurs systématiques qui peuvent biaiser les résultats. On introduit des facteurs aléatoires (variables qualitatives non contrôlées) comme on peut aussi ajouter des covariables (variables quantitatives) de façon à éliminer une source potentielle de variance. Cependant si on utilise trop de covariables on peut réduire l'efficience statistique des procédures d'analyse, il faut avoir un nombre de covariables minimal dans notre échantillon. Une covariable est particulièrement pertinente si elle est corrélée à la variable dépendante et non corrélée à la variable indépendante (ou les variables indépendantes).

Hypothèse nulle : Absence de différences entre les moyennes des groupes une fois que l'effet de la covariable est retiré.

L'Hypothèse alternative est que les moyennes des groupes se distinguent.

Pour utiliser cette analyse il faut respecter les conditions suivantes :
-Les groupes sont indépendants et tirés au hasard.
-Les valeurs de données sont normalement distribuées.
-Les variances des groupes sont égales.
-Les droites de régressions sont homogènes (voir la relation entre la variable dépendante et la covariable).
Relation mathématique de la covariance :

$$COV(x,y) = \frac{\sum (x_i - \overline{X})(y_i - \overline{Y})}{n-1}$$

Si la valeur totale de la sommation est positive, ceci représente la tendance d'un grand nombre de valeurs x et y à varier dans le même sens autour de la moyenne. Si la valeur totale de la sommation est négative, c'est que pour une bonne partie des observations,.

III.6.2.Procédure SPSS

On choisit dans la boite Analyse l'étude en modèle linéaire général puis Univarié .

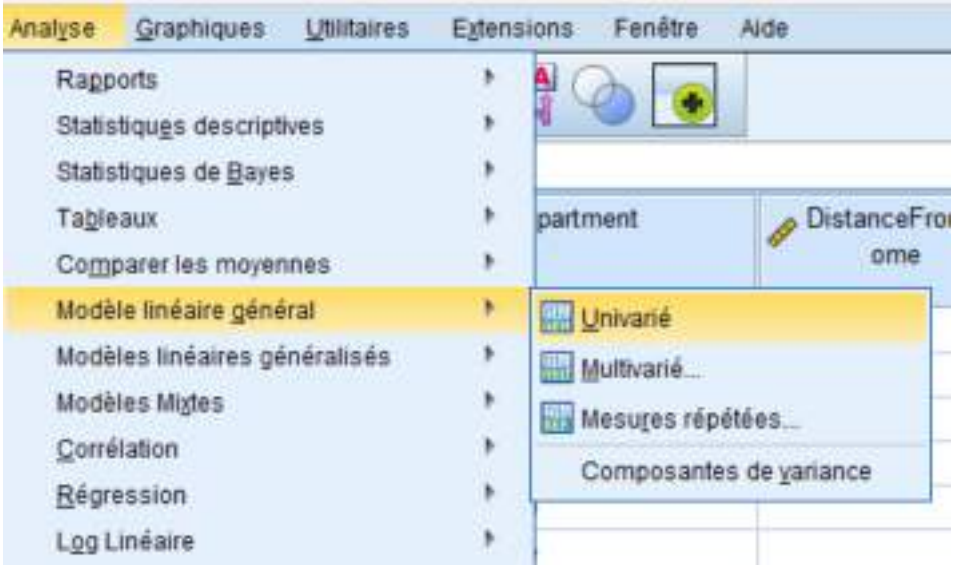


Figure 137: Boite de menu Analyse

On choisit la variable dépendante Salaire mensuel et le facteur fixe département et la covariable age .

Figure 138: Boite de choix des variables

Cette analyse de contraste est utilisée lorsqu'on a une hypothèse de départ à vérifier et qu'on sait déjà quels groupes doivent se distinguer.

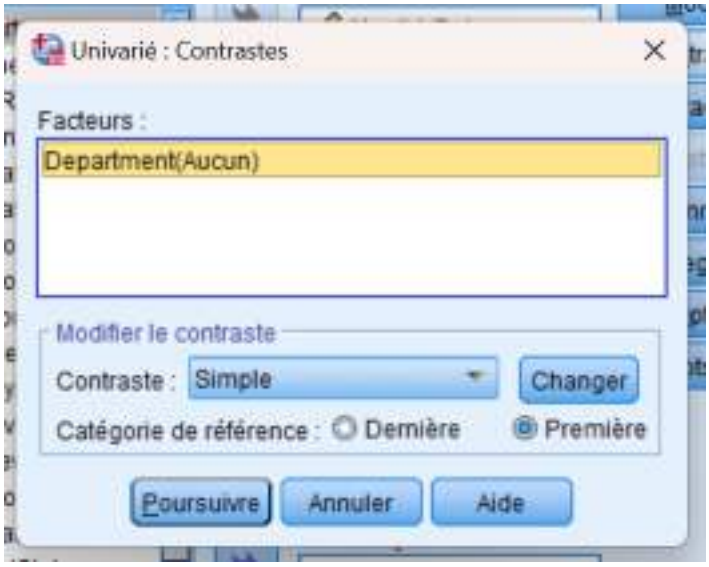


Figure 139: Boite d'analyse de contrastes

Dans cette boite modèle on a la possibilité de réaliser l'analyse pour l'ensemble du modèle en incluant tous les effets principaux des variables indépendantes et des covariables. On doit d'abord inclure les effets principaux de la variable catégorielle et des covariables pour que l'interaction soit mesurée en contrôlant l'effet principal de ces deux variables

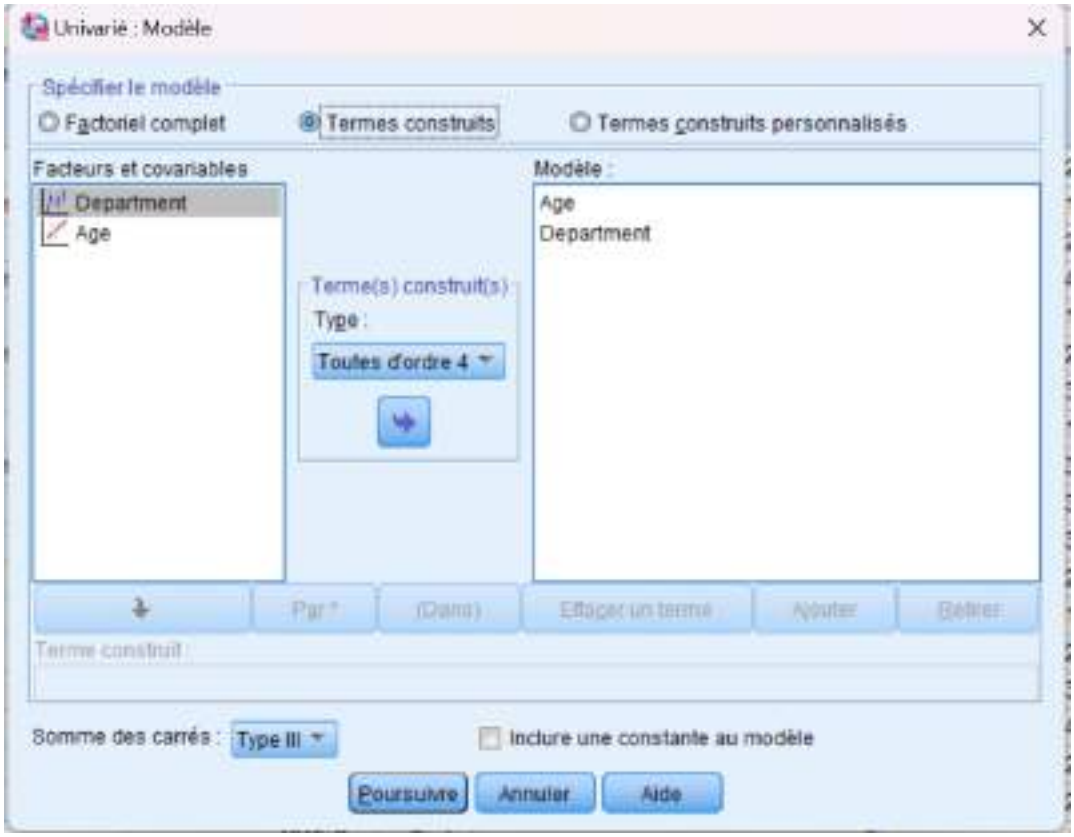


Figure 140: La boite de modèle

Pour créer un graphique pour comparer les moyennes des différents groupes ajustées en fonction de la covariable, on choisit dans cette boite la variables appropriées.

Figure 141: Boite menu de tarcés de profil

Cette boite nous permet d'afficher les moyennes marginales des variables étudiées

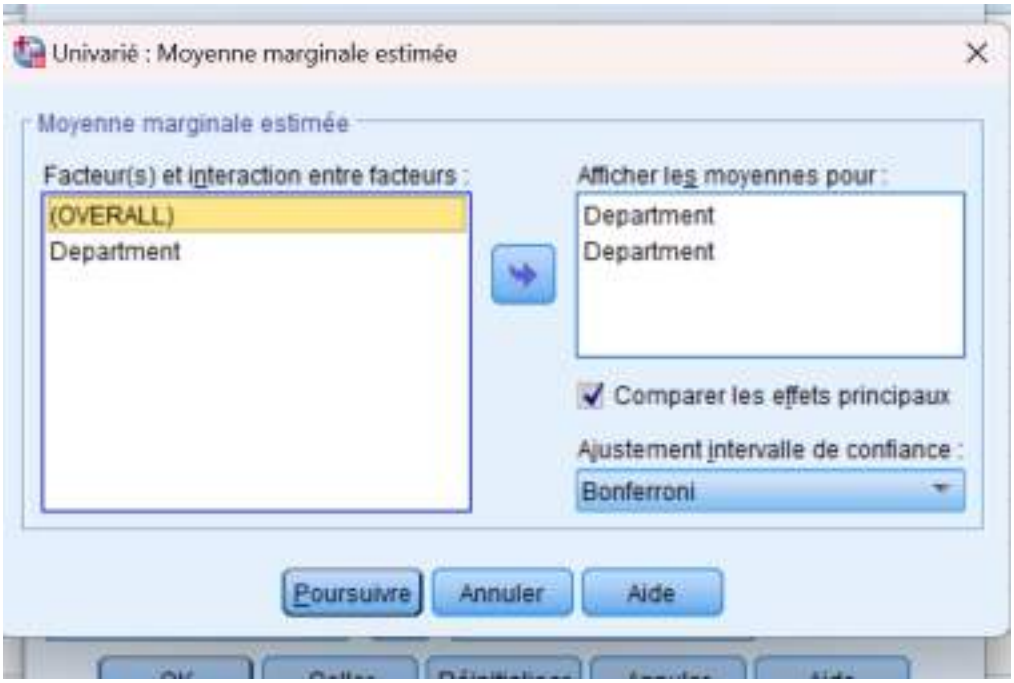


Figure 142: Boite de menu des Moyennes

Les options de cette boite nous permettent d'effectuer un test post hoc ; befferroni , à partir de l'encadré Moyenne marginale estimée.

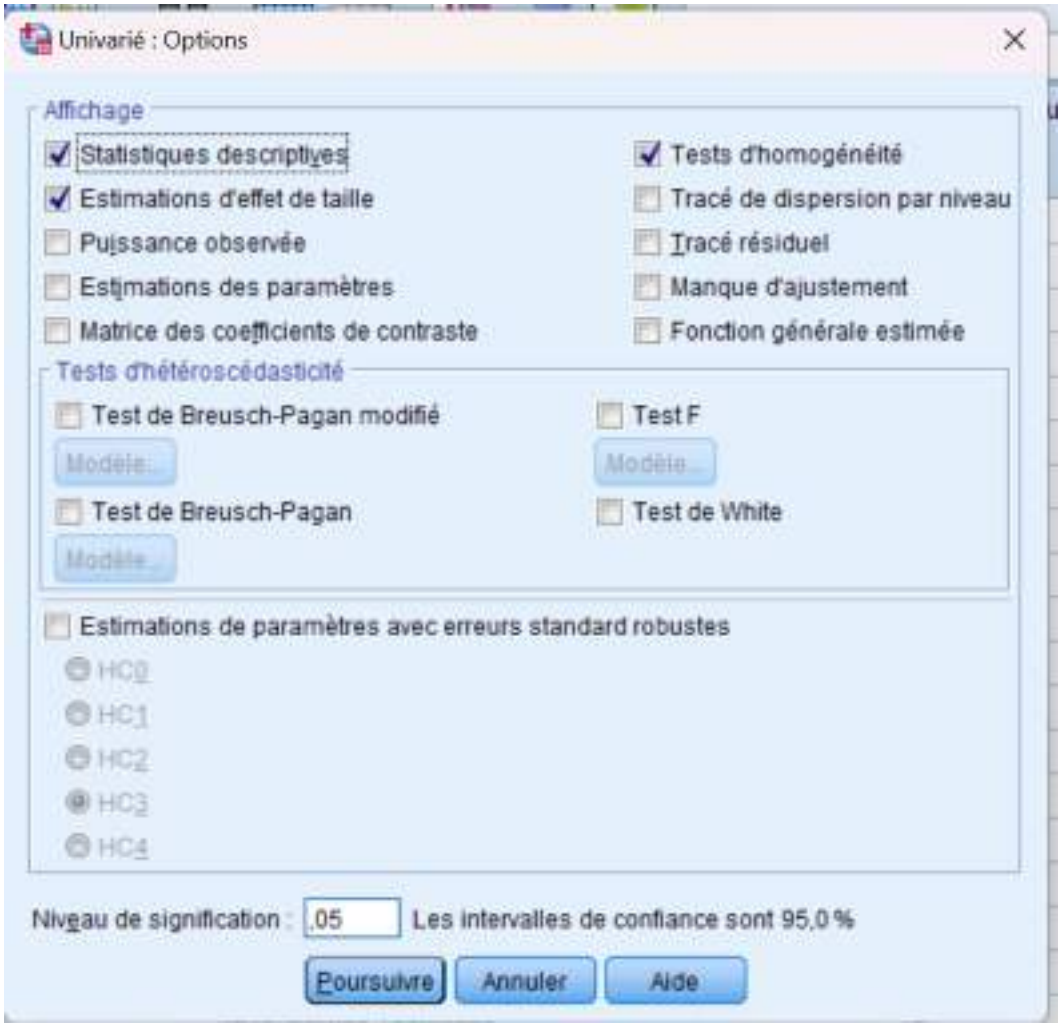


Figure 143: Boite de menu Options

Résultat:

Ce premier tableau nous indique le nombre de participant dans chaque catégorie formée par la variable indépendante.

Facteurs intersujets

		N
Department	Service Methode	961
	Service Ordonnancement	63
	Service Technique	446

Double-cliquez pour

Figure 144: Boite de menu Options

Ce tableau nous donne les statistiques descriptives de la variable dépendante sailaire mensuel de l'analyse.

Statistiques descriptives

Variable dépendante: MonthlyRate

Department	Moyenne	Ecart type	N
Service Methode	14284,87	7081,255	961
Service Ordonnancement	13492,98	7426,802	63
Service Technique	14489,79	7159,270	446
Total	14313,10	7117,786	1470

Figure 145: Tableau des statistiques descriptives

Ce tableau nous montre le test de Levene qui sert pour juger si les variances sont suffisamment différentes pour causer un problème.

Test d'égalité des variances des erreurs de Levene[a]

Variable dépendante: MonthlyRate

F	ddl1	ddl2	Signification
,546	2	1467	,579

Teste l'hypothèse nulle selon laquelle la variance des erreurs de la variable dépendante est égale sur les différents groupes.

a. Plan : Age + Department

Figure 146: Tableau de test d'égalité des variances

Ce tableau nous permet d'évaluerez si le modèle testé permet de rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les groupes une fois que l'effet de la variable contrôle est retiré.

Tests des effets intersujets

Variable dépendante: MonthlyRate

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle	3,013E+11[a]	4	7,532E+10	1485,988	,000	,802
Age	62131890,65	1	62131890,65	1,226	,268	,001
Department	1,552E+10	3	5172672203	102,055	,000	,173
Erreur	7,430E+10	1466	50685247,25			
Total	3,756E+11	1470				

a. R-deux = ,802 (R-deux ajusté = ,802)

Figure 147: Tableau des tests des effets intersujets

A travers ce graphe on peut constater qu'il existe une différence entre les groupes par rapport au revenu mensuel.

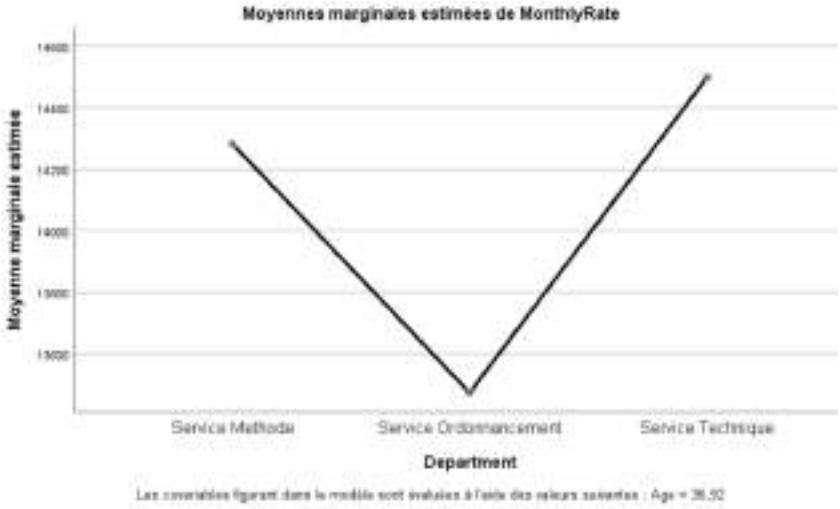


Figure 148 : Graphique des moyennes marginales

Tests univariés

Variable dépendante: MonthlyRate

	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Contraste	60633885,41	2	30316942,71	,598	,550	,001
Erreur	7,430E+10	1466	50685247,25			

Le test de F permet de tester l'effet de Department. Il s'appuie sur les comparaisons appariées (indépendantes) linéaires parmi les moyennes marginales estimées.

Figure 149 :Tableau des tests univariés

Ce tableau nous montre s'il y a une différence significative entre le revenu des gens des différents services du département

Comparaisons appariées

Variable dépendante: MonthlyRate

(I) Department	(J) Department	Différence moyenne (I-J)	Erreur standard	Signification[a]	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence[a] Borne inférieure	Borne supérieure
Service Methode	Service Ordonnancement	809,154	926,020	1,000	-1410,267	3028,575
	Service Technique	-216,191	408,032	1,000	-1194,133	761,750
Service Ordonnancement	Service Methode	-809,154	926,020	1,000	-3028,575	1410,267
	Service Technique	-1025,346	958,559	,855	-3322,755	1272,063
Service Technique	Service Methode	216,191	408,032	1,000	-761,750	1194,133
	Service Ordonnancement	1025,346	958,559	,855	-1272,063	3322,755

Basées sur les moyennes marginales estimées

a. Ajustement pour les comparaisons multiples : Bonferroni.

Figure 150: Tableau de comparaison des salaires mensuels dans les différents services

II.6.3.Interprétation :

Dans le tableau Facteurs intersujets il se voit que dans notre échantillon, 961 participants font partie du département service méthode, 63 du département service d'ordonnancement et 446 du département service technique.
Dans le tableau Statiques descriptives, le tableau nous donne les statistiques descriptives de la variable dépendante de l'analyse. Dans la dernière colonne, on voit encore une fois le nombre de participants dans chaque catégorie. On observe aussi le revenu annuel moyen de chaque groupe et l'écart-type qui y est associé. Ces données ressemblent à ce que l'on trouve pour l'ANOVA. L'échantillon gagne en moyenne 14313,10.Les gens du service technique semblent avoir un revenu annuel plus élevé (14489,79) que les gens des deux autres groupes. Il n'y a pas de variabilité, puisque l'écart-type ne présente pas un grand écart.
Le tableau Test d'égalité des variances des erreurs Levene nous permet de de tester l'homogénéité des variances. Dans notre étude on a la valeur significative > 0,05. Le test est donc significatif et nous invite à accepter l'hypothèse nulle d'égalité des variances. Nous respectons l'égalité des variances.
Dans le Tableau des Tests des effets intersujets, On remarque que la variable DEPARTEMENT a un effet significatif sur le tarif mensuel. On peut donc avancer que l'appartenance à un ou l'autre des groupes a un effet significatif, et ce, même en contrôlant l'effet de l'âge des participants.
Dans le graphique, On constate encore une fois que les trois groupes se distinguent au plan du revenu annuel. Nous pouvons émettre l'hypothèse qu'il existe probablement une différence significative entre les participants des trois départements.
Dans le tableau résultat du test, il indique que le test d'analyse des contrastes est significatif (>0,05) et qu'il existe bien des différences entre les départements comparés. Ainsi la taille de l'effet associé à la variable indépendante est petite ($\eta 2 = 0,02$).
Dans le tableau des comparaisons appariées, il est issu de l'analyse post-hoc, les moyennes comparées présentent des valeurs significatives (>0,05), donc on constate qu'il y a une différence de salaires des trois groupes.

II.7.Conclusion:

En conclusion de ce chapitre consacré à l'analyse factorielle et à l'analyse de variance, nous avons identifié des facteurs importants qui influencent le départ des employés au sein de notre étude. Notre analyse a révélé que des éléments tels que le salaire, la situation familiale et le taux de travail ont un impact significatif sur la décision des employés de quitter leur emploi.

Nous avons constaté que le niveau de rémunération joue un rôle clé dans la rétention des employés. Des salaires compétitifs et équitables peuvent contribuer à fidéliser les travailleurs et à réduire le taux de départ. De plus, la situation familiale des employés a également été identifiée comme un facteur influent. Des politiques de conciliation travail-vie personnelle, telles que des horaires flexibles ou des avantages sociaux adaptés aux besoins des employés, peuvent aider à maintenir leur engagement et à réduire les départs.

Par ailleurs, le taux de travail, c'est-à-dire la charge de travail imposée aux employés, a également été associé au départ. Des charges excessives, un stress constant ou une incapacité à maintenir un équilibre entre vie professionnelle et personnelle peuvent entraîner une augmentation du taux de départ.

En comprenant ces facteurs influents, les organisations peuvent prendre des mesures pour améliorer la rétention des employés. Cela peut inclure des ajustements salariaux, des programmes de soutien familial, des politiques de gestion de la charge de travail et d'autres initiatives visant à créer un environnement de travail favorable et à répondre aux besoins des employés.

Dans les chapitres suivants, nous approfondirons notre compréhension de ces résultats en explorant davantage les interactions entre ces facteurs et en proposant des recommandations spécifiques pour atténuer les effets négatifs et favoriser la rétention du personnel au sein de notre entreprise.

Chapitre IV:

Régression statistique

IV.1.Introduction

La régression statistique est une technique d'analyse des données qui permet de modéliser et de prédire la relation entre une variable dépendante et une ou plusieurs variables indépendantes. Elle est largement utilisée dans de nombreux domaines tels que l'économie, les sciences sociales, la biostatistique et bien d'autres.
Ce chapitre se concentre sur la régression statistique et explore différentes méthodes et concepts clés liés à cette technique. Nous commencerons par examiner la corrélation, qui est une mesure de la relation linéaire entre deux variables. La corrélation nous aide à comprendre si et dans quelle mesure les variables sont associées les unes aux autres.
Ensuite, nous plongerons dans la régression simple, qui est la forme la plus élémentaire de la régression statistique. La régression simple nous permet d'établir une relation linéaire entre une variable dépendante et une variable indépendante. Nous explorerons les concepts de coefficient de régression, d'interception et d'ajustement du modèle, qui sont essentiels pour interpréter les résultats de la régression.
Après avoir maîtrisé la régression simple, nous passerons à la régression multiple, qui nous permet de modéliser la relation entre une variable dépendante et plusieurs variables indépendantes. La régression multiple est plus complexe, mais elle nous offre la possibilité d'explorer les effets de différentes variables sur la variable dépendante et de contrôler les facteurs confondants.
Enfin, nous aborderons la régression logistique, une technique utilisée pour modéliser les relations entre des variables indépendantes et une variable dépendante binaire. La régression logistique est largement utilisée dans des domaines tels que l'épidémiologie, la médecine et le marketing, où la variable dépendante est de nature catégorique.

IV.2.Corrélation

IV.2.1.Rappel théorique

La corrélation est une mesure statistique qui permet de quantifier la relation linéaire entre deux variables continues. Pour tester l'hypothèse nulle d'absence de relation linéaire entre ces deux variables, on utilise le coefficient de corrélation de Pearson (r). Ce coefficient est calculé à partir de la covariance entre les deux variables et est ensuite standardisé pour obtenir une valeur comprise entre -1 et +1.

La formule du coefficient de corrélation de Pearson est donnée par :

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

L'hypothèse nulle stipule que les deux variables ne sont pas associées (r = 0), tandis que l'hypothèse alternative suppose l'existence d'une relation linéaire entre les deux variables.
Il est important de noter que la corrélation ne permet de détecter que des relations linéaires entre les variables. Si la relation entre les variables est non linéaire, le coefficient de corrélation peut être faible ou proche de zéro, même s'il existe une relation.
L'interprétation du coefficient de corrélation de Pearson repose sur deux aspects principaux :

1. *Le sens de la relation linéaire :* Un coefficient de corrélation positif (r > 0) indique une corrélation positive entre les variables, c'est-à-dire que lorsque la valeur d'une variable augmente, l'autre variable a tendance à augmenter également. En revanche, un coefficient de corrélation négatif (r < 0) indique une corrélation négative, où l'augmentation d'une variable est associée à une diminution de l'autre variable. Un coefficient de corrélation de 0 indique l'absence de relation linéaire entre les variables.
2. *La force de la relation linéaire :* Plus la valeur absolue du coefficient de corrélation se rapproche de 1, plus la relation linéaire entre les variables est forte. Un coefficient de corrélation proche de 1 ou -1 indique une corrélation forte, tandis qu'un coefficient proche de 0 indique une corrélation faible.

Pour déterminer si le coefficient de corrélation est statistiquement significatif, on effectue un test de signification en calculant une valeur de t à l'aide de la formule suivante :

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

où n représente la taille de l'échantillon. Cette valeur de t est ensuite associée à une valeur de p en fonction du degré de liberté. Si la valeur de p est inférieure à un seuil prédéfini (généralement 0,05), on rejette l'hypothèse nulle et conclut qu'il existe une relation linéaire significative entre les variables.
La taille d'effet de la corrélation peut être interprétée en se référant aux balises de Cohen (1988), qui proposent des catégories pour évaluer la force de la relation en fonction de la valeur absolue du coefficient de corrélation (r) :

- Petit effet : 0.10 ≤ |r| < 0.30
- Effet moyen : 0.30 ≤ |r| < 0.50
- Grand effet : |r| ≥ 0.50

IV.2.2.Procédure SPSS

Dans cette section, nous allons élaborer la procédure SPSS pour évaluer la corrélation entre les variables. Pour ce faire, suivez les étapes suivantes :
Dans le menu "Analyse", sélectionnez "Corrélation" ,cliquez ensuite sur "Bivariée" puis ajoutez les variables concernées dans la boîte des variables.

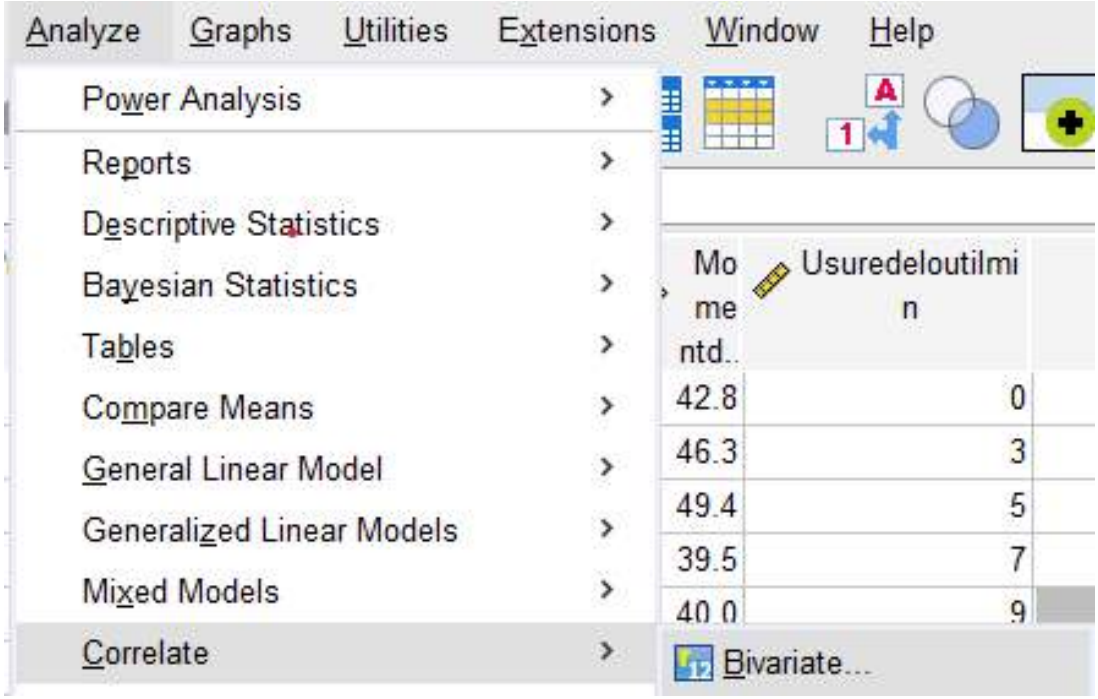


Figure 151: Interface Analyse

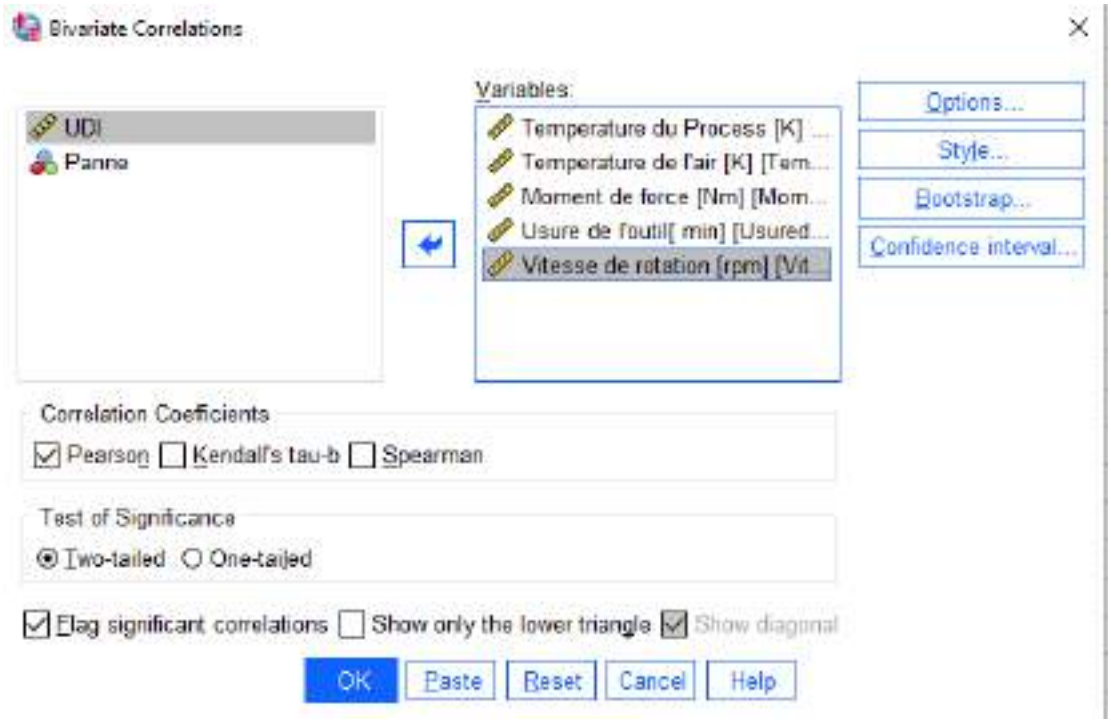


Figure 152: Interface Corrélation Bivariée

Correlations

		Temperature de l'air [K]	Temperature du Process [K]	Vitesse de rotation [rpm]	Moment de force [Nm]	Usure de l'outil[min]
Temperature de l'air [K]	Pearson Correlation	1	.915**	.031*	-.023	.017
	Sig. (2-tailed)		.000	.031	.099	.233
	N	5000	5000	5000	5000	5000
Temperature du Process [K]	Pearson Correlation	.915**	1	.036*	-.030*	.025
	Sig. (2-tailed)	.000		.012	.036	.075
	N	5000	5000	5000	5000	5000
Vitesse de rotation [rpm]	Pearson Correlation	.031*	.036*	1	-.874**	-.006
	Sig. (2-tailed)	.031	.012		.000	.668
	N	5000	5000	5000	5000	5000
Moment de force [Nm]	Pearson Correlation	-.023	-.030*	-.874**	1	.005
	Sig. (2-tailed)	.099	.036	.000		.703
	N	5000	5000	5000	5000	5000
Usure de l'outil[min]	Pearson Correlation	.017	.025	-.006	.005	1
	Sig. (2-tailed)	.233	.075	.668	.703	
	N	5000	5000	5000	5000	5000

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Figure 153: Résultat du test.

IV.2.3.Interprétation

Puisque la corrélation est une mesure symétrique, on constate que le coefficient est le même lorsque l'on prend deux variables. On remarque une corrélation significative entre la temperature de l'air et la temperature du process, ce qui est attendu car il existe une relation entre ces deux variables. De plus, on observe une corrélation entre la vitesse de rotation et la temperature du process, ainsi qu'une autre corrélation entre la vitesse de rotation et la température du process, bien que celle-ci soit moins forte.

IV.3. Régression simple

IV.3.1.Rappel théorique

Dans cette section, nous allons élaborer la procédure SPSS pour évaluer la corrélation.
Pour ce faire, suivez les étapes suivantes :
Dans le menu "Analyse", sélectionnez "Correlation" ,cliquez ensuite sur "Bivariée" puis ajoutez les variables concernées dans la boîte des variables.

$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$
Dans cette équation, nous utilisons des lettres pour représenter différentes variables. Y représente la variable dont nous cherchons à prédire les valeurs, tandis que X représente une variable qui est utilisée pour expliquer ou prédire les valeurs de Y. Les valeurs de β_0 et β_1 sont des coefficients qui nous aident à comprendre la relation entre X et Y.

La méthode des moindres carrés est utilisée pour estimer ces coefficients. L'objectif est de trouver les valeurs de β_0 et β_1 qui minimisent la différence entre les valeurs réelles de Y et celles prédites par notre modèle. Nous utilisons les équations normales et les dérivées partielles pour obtenir ces estimations.
Pour évaluer la qualité de notre modèle de régression simple, nous utilisons plusieurs mesures. Le coefficient de détermination (R^2) nous indique la proportion de la variance de Y qui est expliquée par X. Plus il est proche de 1, meilleur est l'ajustement du modèle. L'erreur standard de l'estimation (SEE) mesure la précision de nos prédictions en termes de dispersion des résidus. Un SEE plus faible indique une meilleure précision de prédiction. Le test de Fisher nous permet de déterminer si la relation entre X et Y est statistiquement significative.

L'interprétation des résultats de la régression simple se fait en analysant les coefficients estimés. Le coefficient β_1 représente le changement dans la variable dépendante pour chaque unité de changement dans la variable indépendante. Nous pouvons également calculer des intervalles de confiance pour évaluer la précision de ces coefficients. Des tests d'hypothèses peuvent être réalisés pour évaluer la signification statistique de la relation entre les variables.
La régression simple repose sur certaines hypothèses. Elle suppose une relation linéaire entre X et Y, des résidus indépendants et une variance constante des résidus pour toutes les valeurs de X. De plus, elle suppose que les résidus suivent une distribution normale.

Cependant, la régression simple présente certaines limites. Elle ne peut modéliser que des relations linéaires entre les variables et ne prend en compte qu'une seule variable indépendante. Pour étudier des relations plus complexes, il existe d'autres techniques comme la régression multiple, la régression polynomiale ou la régression non linéaire.

IV.3.2.Procédure SPSS

Dans cette section, nous allons élaborer la procédure SPSS pour évaluer la régression entre les deux variables : moment de l'outil et température de l'air.

Pour effectuer cette analyse, suivez les étapes suivantes :
Dans le menu "Analyse", sélectionnez "Régression".
Placez la variable "Usure de l'outil" dans la boîte "Variable dépendante".
Placez la variable "Température de l'air" dans la boîte "Variables indépendantes".

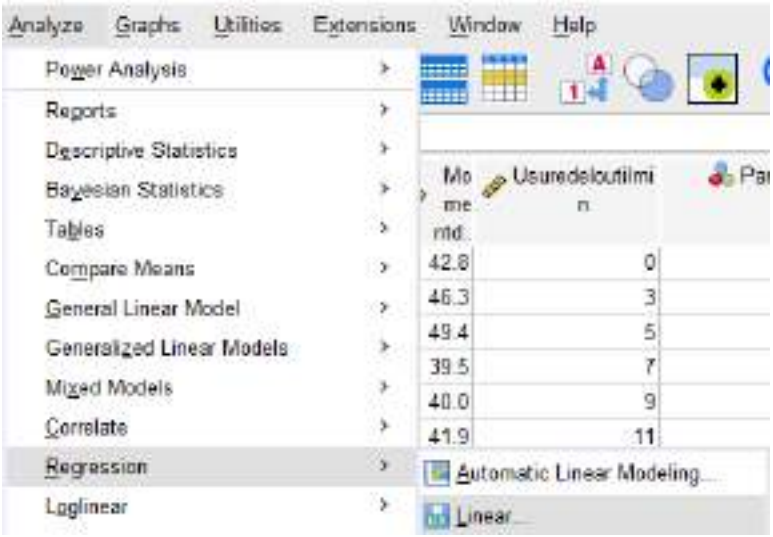


Figure 154: Interface Analyse

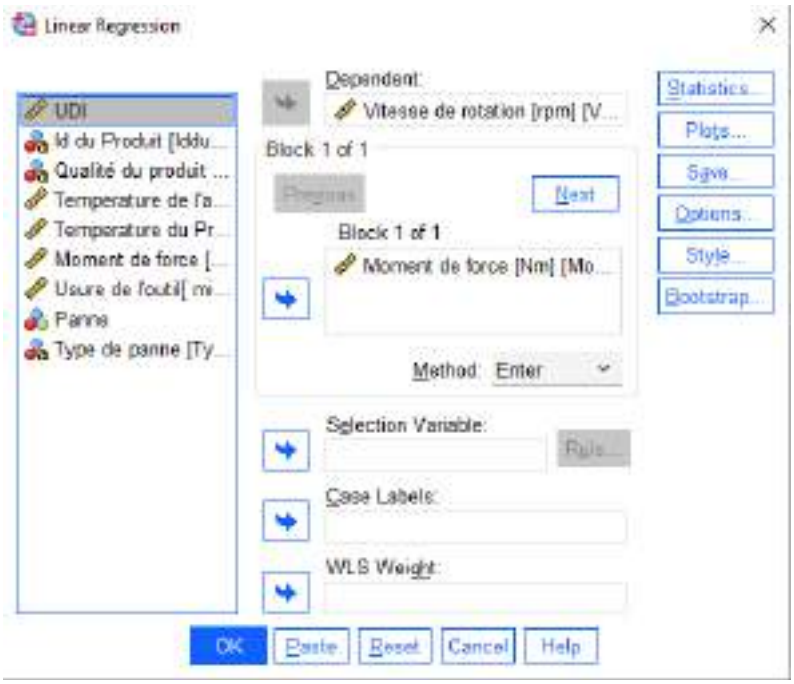


Figure 155: Interface Régression linéaire

Regression

Variables Entered/Removed[a]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Moment de force [Nm][b]	.	Enter

a. Dependent Variable: Vitesse de rotation [rpm]

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.874[a]	.764	.764	89.942

a. Predictors: (Constant), Moment de force [Nm]

ANOVA[a]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	130737261.8	1	130737261.8	16161.111	.000[b]
	Residual	40431924.44	4998	8089.621		
	Total	171169186.2	4999			

a. Dependent Variable: Vitesse de rotation [rpm]

b. Predictors: (Constant), Moment de force [Nm]

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients B	Unstandardized Coefficients Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.
1	(Constant)	2185.018	5.222		418.410	.000
	Moment de force [Nm]	-16.139	.127	-.874	-127.126	.000

a. Dependent Variable: Vitesse de rotation [rpm]

Figure 155: Interface Régression linéaire

IV.2.3.Interprétation

Les coefficients non standardisés nous permettent de reconstituer l'équation de la droite de régression. L'ordonnée à l'origine est la valeur B de la constante dans le tableau et la pente est indiquée par la valeur B pour la variable indépendante.

$$Vitesse = 2185.018 - 16.139 * Momement$$

IV.4.Analyse de régression linéaire multiple :

La régression multiple est utilisée pour modéliser la relation entre une variable dépendante continue et plusieurs variables indépendantes. Elle est utilisée lorsque nous voulons prédire une variable de sortie en fonction de plusieurs variables d'entrée en examinant l'effet de chaque variable indépendante sur la variable dépendante tout en contrôlant les effets et les interactions des autres variables.

IV.4.1.Rappel théorique:

En général, les modèles de régression sont construits dans le but d'expliquer ou prédire la variance de la variable dépendante à l'aide d'une combinaison de facteurs explicatifs.

La régression linéaire est appelée multiple lorsque le modèle est composé d'au moins deux variables indépendantes.

Pour la conception du modèle multivarié :

$$Y_i : (b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \ldots + b_nX_n) + \varepsilon_i$$

Chaque variable indépendante X est multipliée par son propre coefficient bêta b qui sous sa forme standardisée correspond à sa contribution relative dans le modèle. La constante (b0) correspond à la valeur de la variable dépendante lorsque toutes les variables indépendantes égalent 0.

Les prémisses de l'étude :

- Pas de variance égale à zéro
- Aucune multicolinéarité parfaite :Cette prémisse peut être vérifiée avec le VIF indiquant si une variable indépendante a une une relation linéaire forte avec les autres. La valeur de cet indice ne doit pas dépasser 10.

IV.4.2.Procédure SPSS:

On commence d'abord par choisir le menu analyse ,Régression et puis linéaire

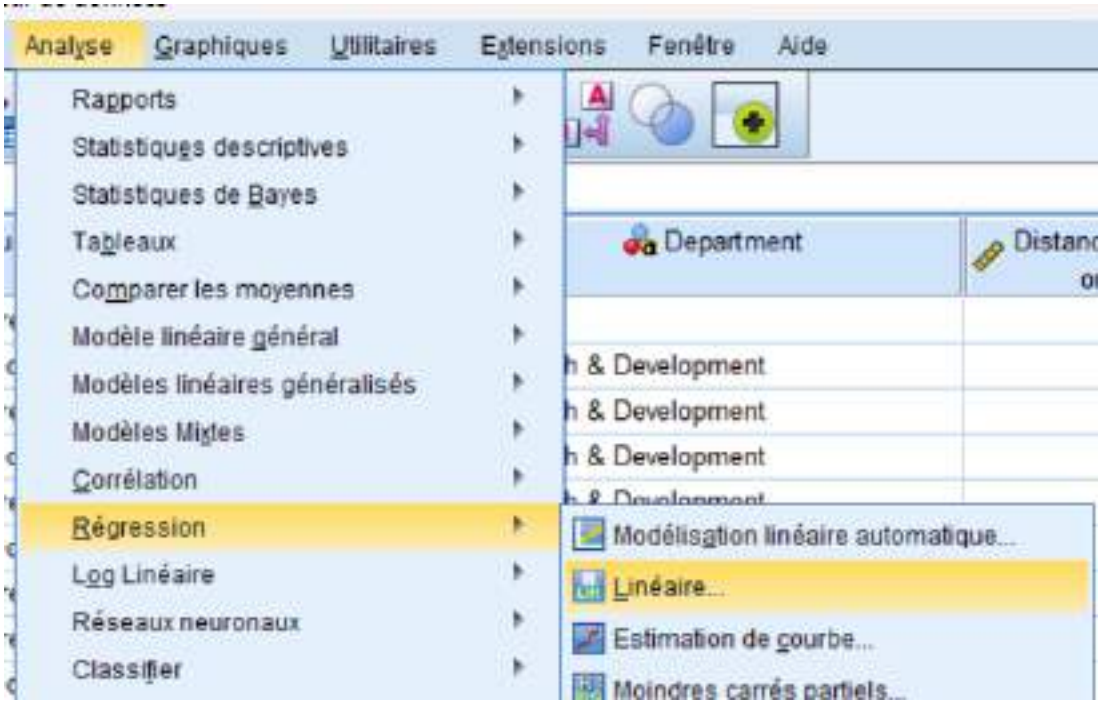


Figure 156: Menu Analyse option Régression

On choisit après notre variable dépendante qui est le salaire mensuel et les variables dépendantes : niveau de poste , les années d'expérience dans l'entreprise, années d'expérience et évaluation des performances.

Figure 157: Menu Analyse option Régression

Selon le bouton statistique , on choisit :

- **Durbin-Watson** : évaluation de l'indépendance des erreurs
- **Qualité de l'ajustement** : Pour fournir le test pour évaluer l'ensemble du modèle (F) et le R multiple.
- **Variation de R-deux**
- **Test de colinéarité** : évaluation de la multicolinéarité dans le modèle

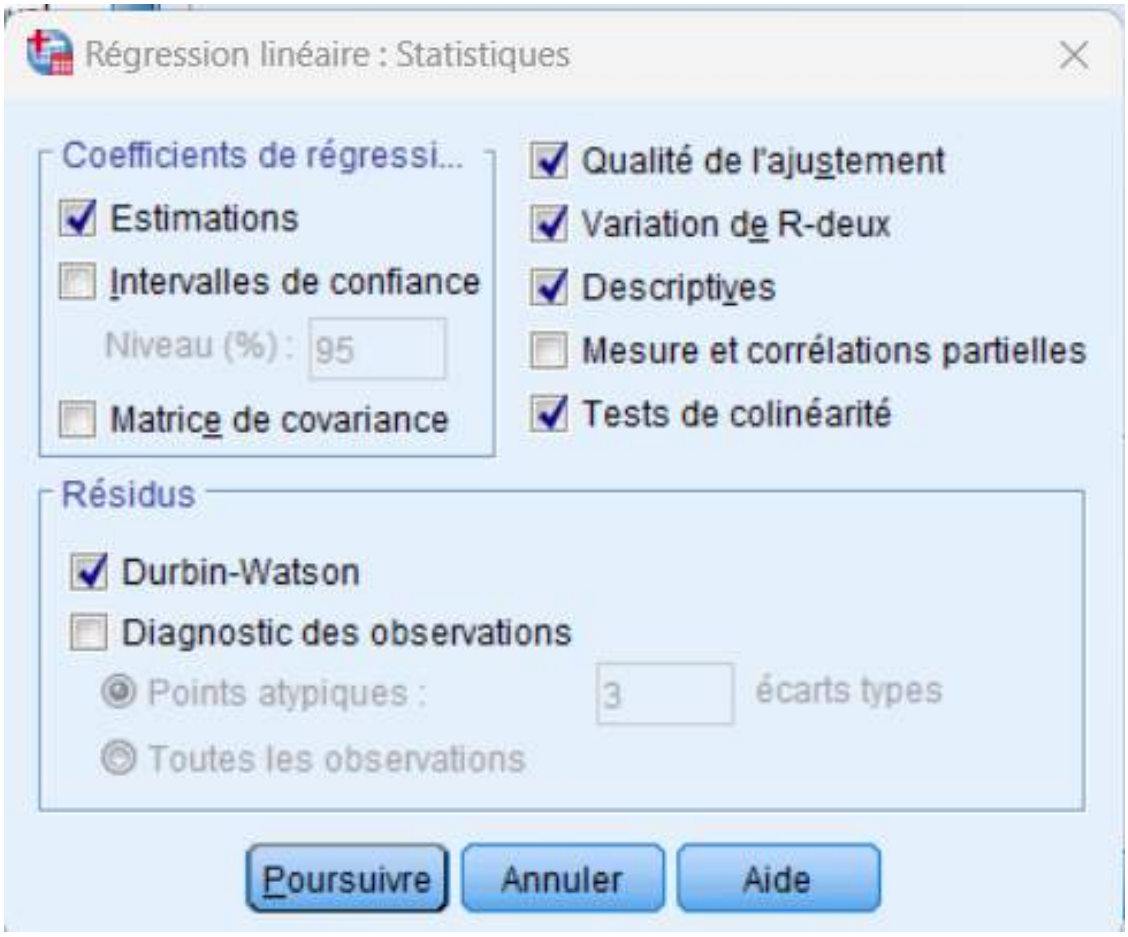


Figure 158: Régression linéaire : Statistiques

Le bouton tracés va nous permettre de tracer la représentation de la régression de la variable qu'on veut expliquer qui est le salaire mensuel en fonction des variables explicatives choisis.

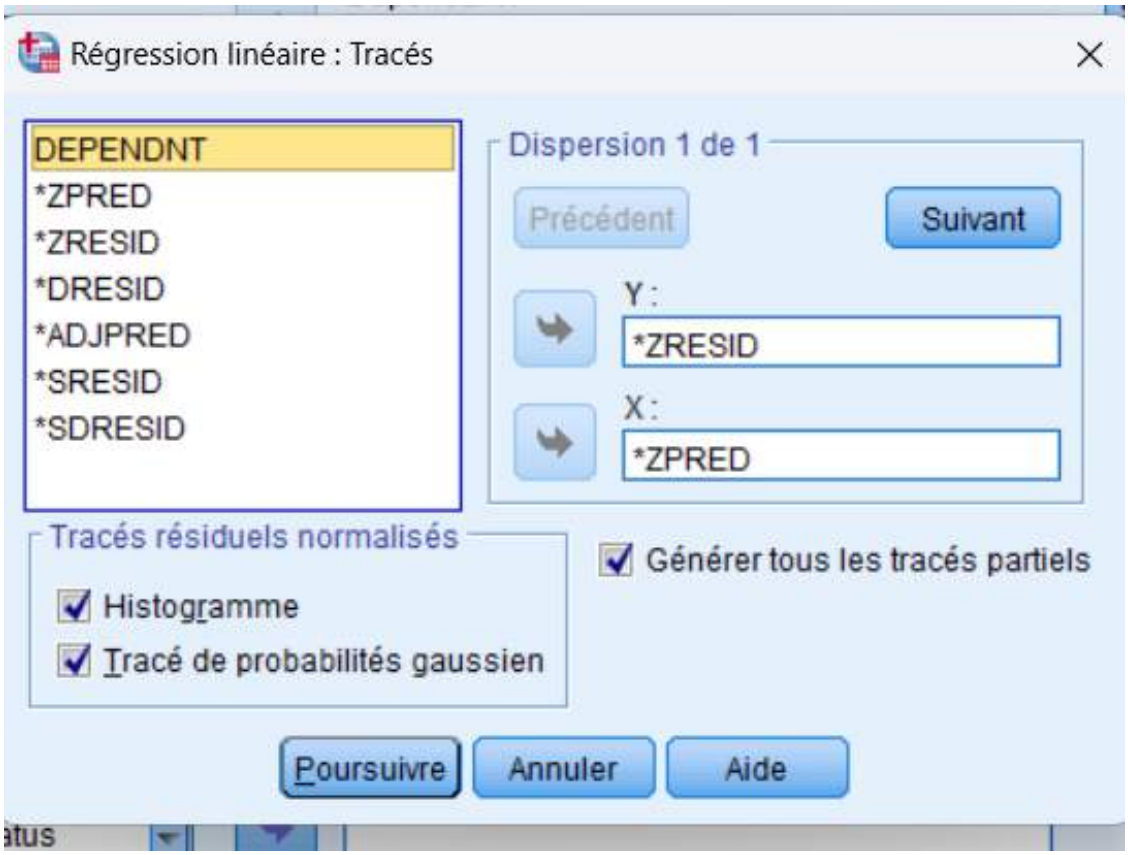


Figure 159: Régression linéaire : Tracés

Résultat:

Corrélations

		MonthlyIncome	JobLevel	YearsAtCompany	PerformanceRating	TotalWorkingYears
Corrélation de Pearson	MonthlyIncome	1,000	,950	,514	-,017	,773
	JobLevel	,950	1,000	,535	-,021	,782
	YearsAtCompany	,514	,535	1,000	,003	,628
	PerformanceRating	-,017	-,021	,003	1,000	,007
	TotalWorkingYears	,773	,782	,628	,007	1,000
Sig. (unilatéral)	MonthlyIncome	.	,000	,000	,256	,000
	JobLevel	,000	.	,000	,208	,000
	YearsAtCompany	,000	,000	.	,448	,000
	PerformanceRating	,256	,208	,448	.	,398
	TotalWorkingYears	,000	,000	,000	,398	.

Figure 160: Corrélation entre les variables

Récapitulatif des modèles[b]

Modèle	R	R-deux	R-deux ajusté	Erreur standard de l'estimation	Modifier les statistiques					Durbin-Watson
					Variation de R-deux	Variation de F	ddl1	ddl2	Sig. Variation de F	
1	,952[a]	,905	,905	1449,357	,905	3508,790	4	1465	,000	2,054

a. Prédicteurs : (Constante), TotalWorkingYears, PerformanceRating, YearsAtCompany, JobLevel

b. Variable dépendante : MonthlyIncome

Figure 161: Récapitulatif des modèles

ANOVA[a]

Modèle		Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig.
1	Régression	2,948E+10	4	7370686340	3508,790	,000[b]
	de Student	3077429679	1465	2100634,593		
	Total	3,256E+10	1469			

a. Variable dépendante : MonthlyIncome

b. Prédicteurs : (Constante), TotalWorkingYears, PerformanceRating, YearsAtCompany, JobLevel

Figure 162: Tableau d'Anova

Coefficients[a]

Modèle		Coefficients non standardisés		Coefficients standardisés	t	Sig.	Statistiques de colinéarité	
		B	Erreur standard	Bêta			Tolérance	VIF
1	(Constante)	-1878,182	341,898		-5,493	,000		
	JobLevel	3796,569	55,104	,893	68,898	,000	,384	2,602
	YearsAtCompany	-12,619	7,965	-,016	-1,584	,113	,601	1,665
	PerformanceRating	17,057	104,900	,001	,163	,871	,998	1,002
	TotalWorkingYears	51,406	8,511	,085	6,040	,000	,326	3,066

a. Variable dépendante : MonthlyIncome

Figure 163: Tableau des coefficients

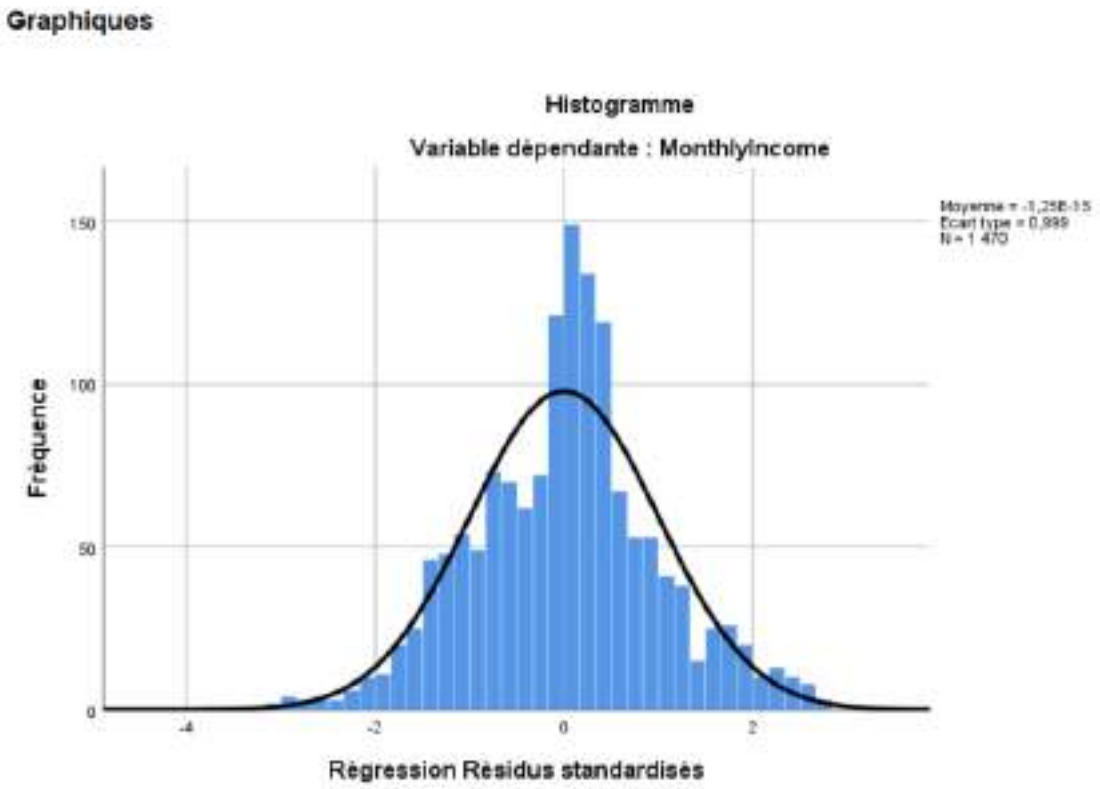


Figure 164: Histogramme de de la distribution des valeurs résiduelles

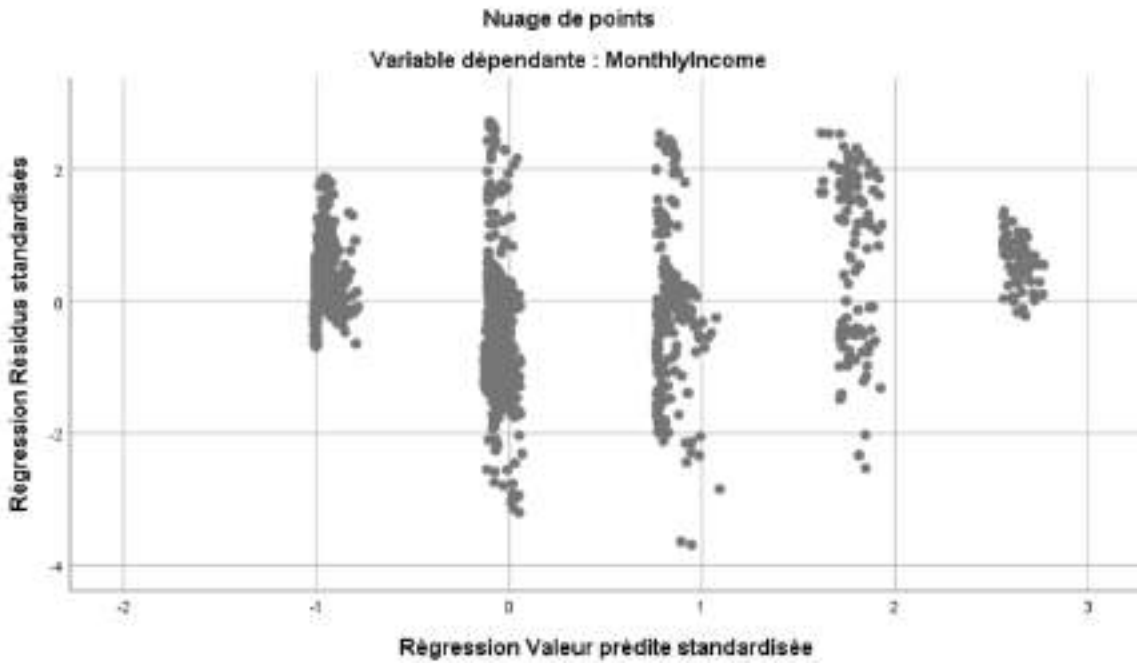


Figure 165: Le nuage de points des résidus en fonction des valeurs prédites

VI.4.3.Interprétation

Selon la figure de corrélations , on remarque d'on a une forte corrélation entre le salaire mensuel et le niveau de poste avec un coefficient de corrélation de 0,950 avec une valeur significative Sig. < 0,05 et aussi une corrélation forte avec les années d'expérience avec un coefficient de corrélation de 0,773 et une valeur significative Sig.<0,05.

Selon la figure Récapitulatif des modèles, on a la valeur de la corrélation multiple qui représente la force de la relation entre la variable dépendante et la combinaison des variables dépendantes R=0,952 et R deux = 0,905 indiquent que que les données sont ajustées de manière satisfaisantes au modèle et la variance de Fisher F a une valeur significative < 0,05 le modèle explique une proportion significative de la variance de la variable salaire mensuel.

Selon le tableau d'anova on la valeur Significative de F < 0,05 et donc on peut dire l n'y a une relation linéaire entre la combinaison des variables indépendantes et la variable dépendant.

On sait maintenant que notre modèle est significatif alors on peut construire l'équation de régression pour prédire une valeur de Y qui est le salaire mensuel depuis Le tableau des coefficient. On remarque d'abord que le VIF des toutes les variables est inférieur a 10 donc absence de multicolinéarité.

Le modèle est : **Y=-1878,182+3796,569*X1-12,619*X2**
X1: niveau de poste
X2: années d'expérience
Y: salaire mensuel

Selon l'histogramme ,on remarque que distribution des valeurs résiduelles qui sont les différences entre les valeurs observées réelles et les valeurs prédites par le modèle de régression respecte la prémisse de normalité de distribution.

Selon la figure des nuages, les points sont répartis en colonnes alors le modèle de régression capture correctement la relation entre les variables et qu'il n'y a pas de schémas systématiques et la prémisse qui indique que les points doivent être répartis aléatoirement autour de 0 est respectée.

IV.5.Analyse de regression logistique :

Dans certains cas, la variable dépendante se présente sous une forme qualitative discrète. La nature des variables impose l'utilisation des modèles de régression linéaire logistique car les variables explicatives ne sont pas forcément linéaires, ainsi, l'avantage de ces modèles présentent l'avantage de ne pas exiger de contrainte de la normalité de la distribution des variables.

IV.5.1.Rappel théorique:

La régression logistique est une méthode utilisée pour analyser des situations où l'on souhaite prédire une variable qui ne peut prendre que deux valeurs (par exemple, oui ou non). Elle permet d'étudier comment des variables indépendantes, qu'elles soient continues ou catégorielles, influencent cette variable dépendante. Chaque variable indépendante est associée à un coefficient de régression qui représente son importance dans le modèle.
Contrairement à la régression linéaire, la régression logistique ne nécessite pas que les variables aient une relation linéaire, car la variable dépendante est binaire. Au lieu de prédire une valeur numérique, elle estime la probabilité d'un événement se produise (valeur de 1) ou non (valeur de 0) en ajustant les coefficients de régression. Cette probabilité prédite varie toujours entre 0 et 1. Lorsqu'elle dépasse 0,5, l'événement est considéré comme probable, tandis qu'une valeur inférieure à 0,5 indique que l'événement est peu probable.
L'hypothèse nulle générale en régression logistique est que l'ensemble des variables indépendantes ne permet pas d'expliquer de manière significative la présence ou l'absence de la variable dépendante par rapport à un modèle sans prédicteur. Si cette hypothèse est rejetée, cela indique qu'au moins l'une des variables indépendantes est significativement associée à la variable dépendante.
Pour appliquer la régression logistique, il est important de respecter certaines conditions. Il faut inclure toutes les variables pertinentes dans le modèle et éliminer celles qui ne le sont pas. Les variables indépendantes peuvent être continues ou catégorielles, tandis que la variable dépendante est binaire.
Il est également essentiel que les observations de la variable dépendante et les résidus soient indépendants. Cela signifie qu'un individu ne peut pas appartenir simultanément aux deux catégories de la variable dépendante.
Une autre condition importante est l'existence d'une relation linéaire entre les variables indépendantes et la transformation logistique de la variable dépendante.
Il ne doit pas y avoir de multicollinéarité, c'est-à-dire une relation linéaire parfaite ou très élevée entre deux ou plusieurs prédicteurs.
La taille de l'échantillon doit être suffisamment grande pour effectuer une analyse fiable.

Enfin, il est nécessaire d'avoir un échantillon adéquat pour les variables indépendantes catégorielles. Lorsqu'une variable catégorielle est croisée avec la variable dépendante, chaque groupe doit contenir au moins une observation.

IV.5.2.Procédure SPSS:

On transforme les valeurs décrites en chaines de caractère par des valeurs binaire.Par exemple on remplace Yes par 1.

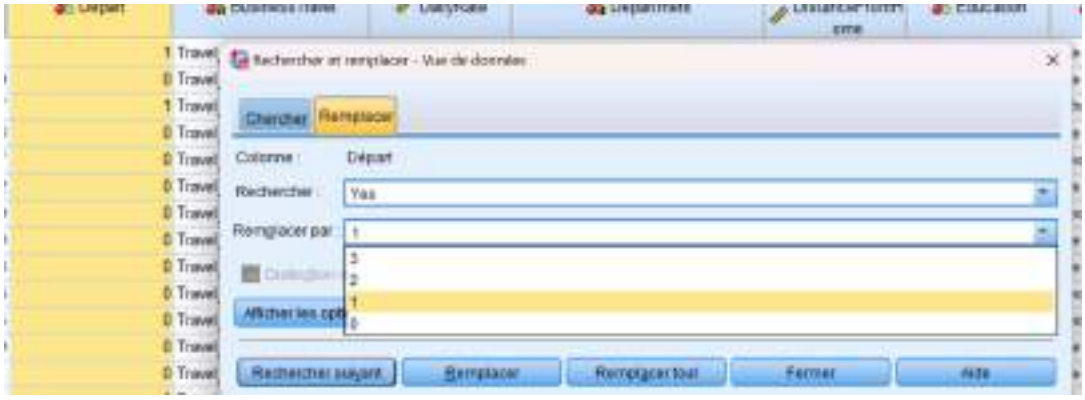


Figure 166: Choix de la valeur de remplacement

On choisit l'étude régression dans la rubrique Analyse.

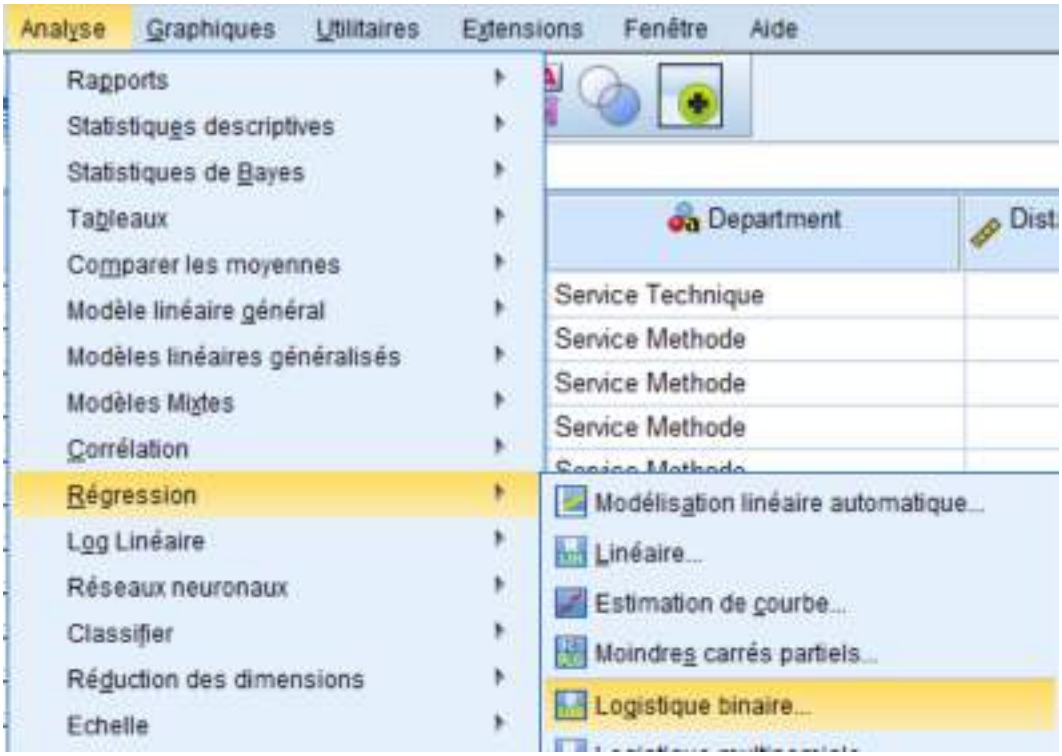
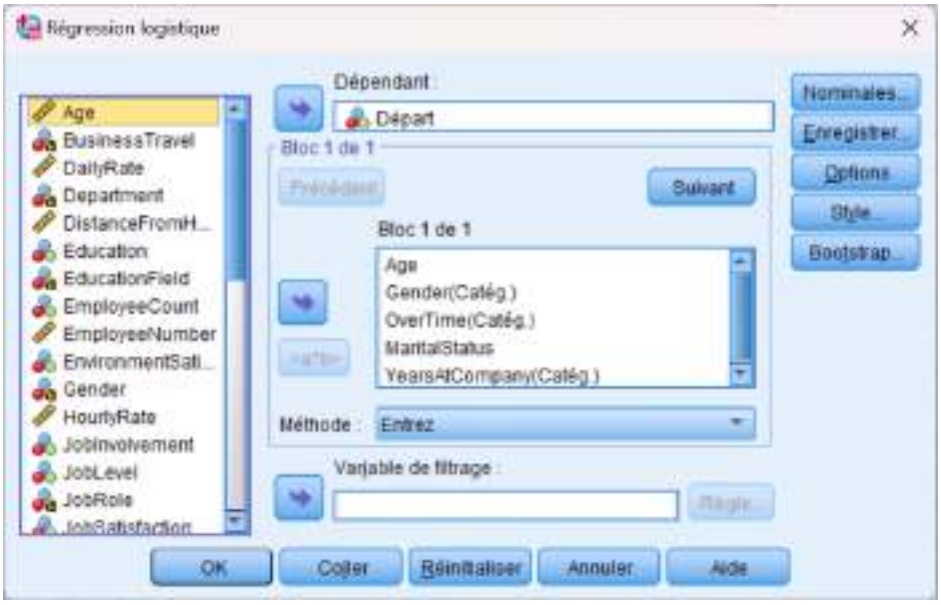
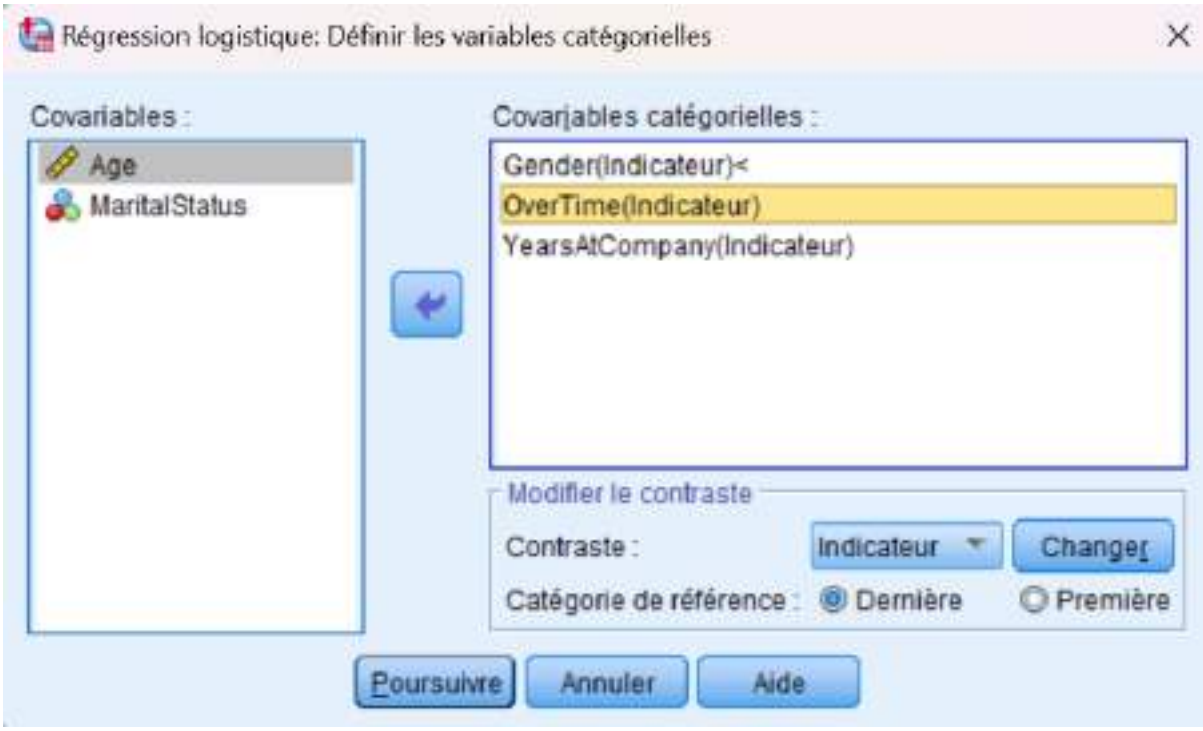


Figure 167: Choix de l'analyse sur SPSS


Régression logistique
Age
BusinessTravel
DailyRate
Department
DistanceFromH...
Education
EducationField
EmployeeCount
EmployeeNumber
EnvironmentSati...
Gender
HourlyRate
JobInvolvement
JobLevel
JobRole
JobSatisfaction
Dépendant :
Départ
Bloc 1 de 1
Précédent
Suivant
Bloc 1 de 1
Age
Gender(Catég.)
OverTime(Catég.)
MaritalStatus
YearsAtCompany(Catég.)
Méthode :
Entrez
Variable de filtrage :
Règle...
Nominales...
Enregistrer...
Options...
Style...
Bootstrap...
OK
Coller
Réinitialiser
Annuler
Aide


Régression logistique: Définir les variables catégorielles
Covariables :
Age
MaritalStatus
Covariables catégorielles :
Gender(Indicateur)<
OverTime(Indicateur)
YearsAtCompany(Indicateur)
Modifier le contraste
Contraste :
Indicateur
Changer
Catégorie de référence :
Dernière
Première
Poursuivre
Annuler
Aide

On insère la variable dépendante dichotomique dans la boîte Dépendant et les variables prédictrices dans la boîte Covariables.

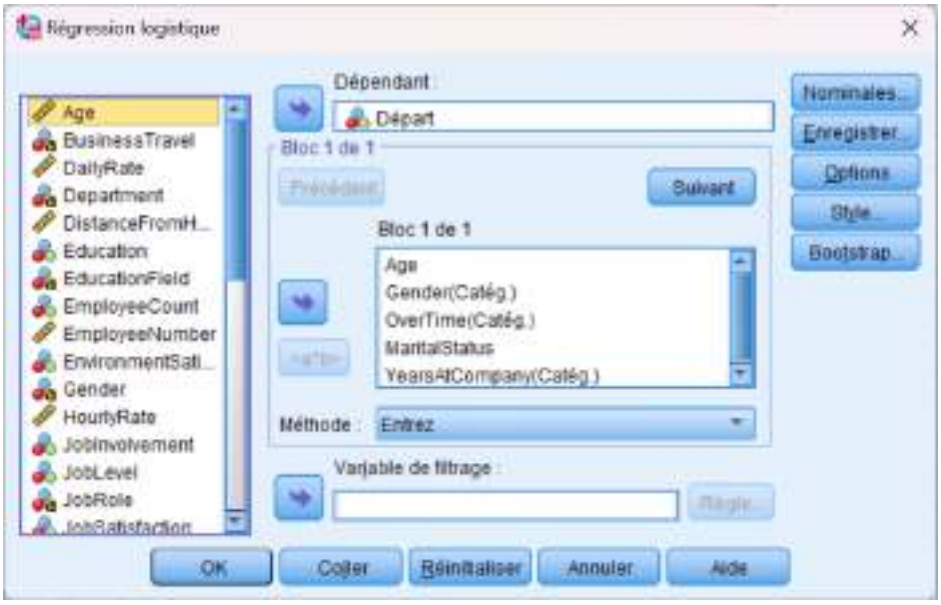


Figure 168: Boite de choix des variables

On insère un terme d'interaction entre deux prédicteurs.

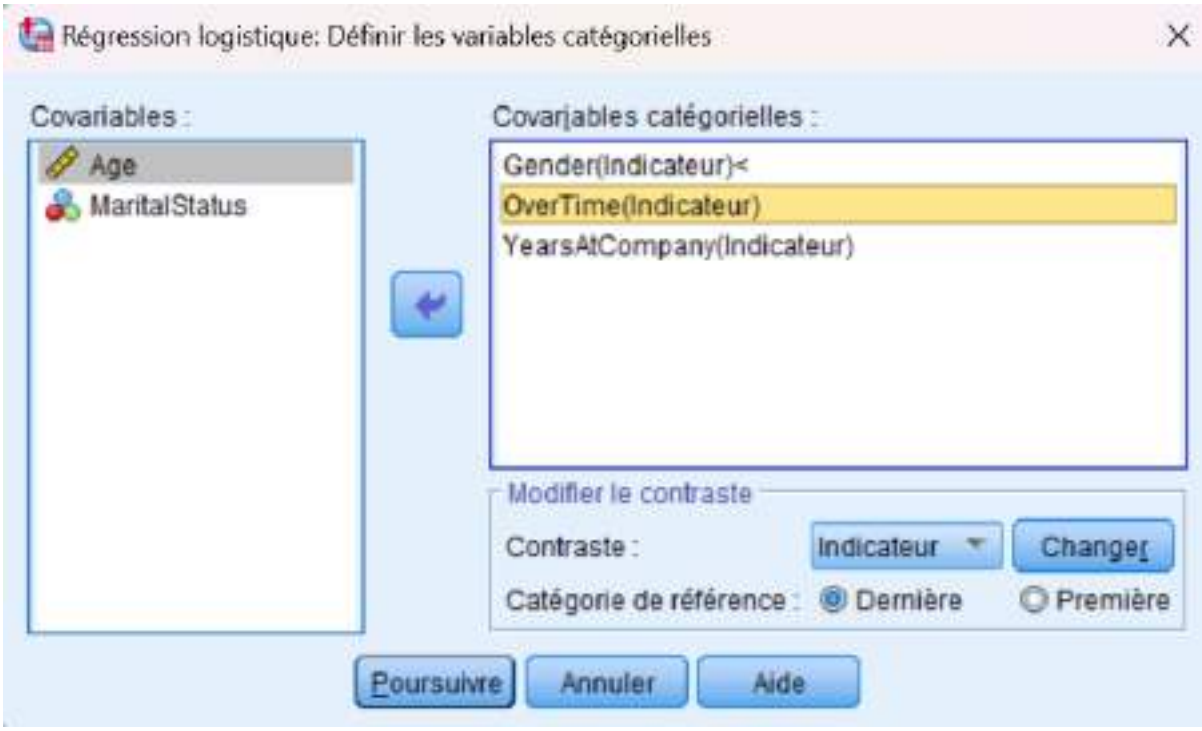
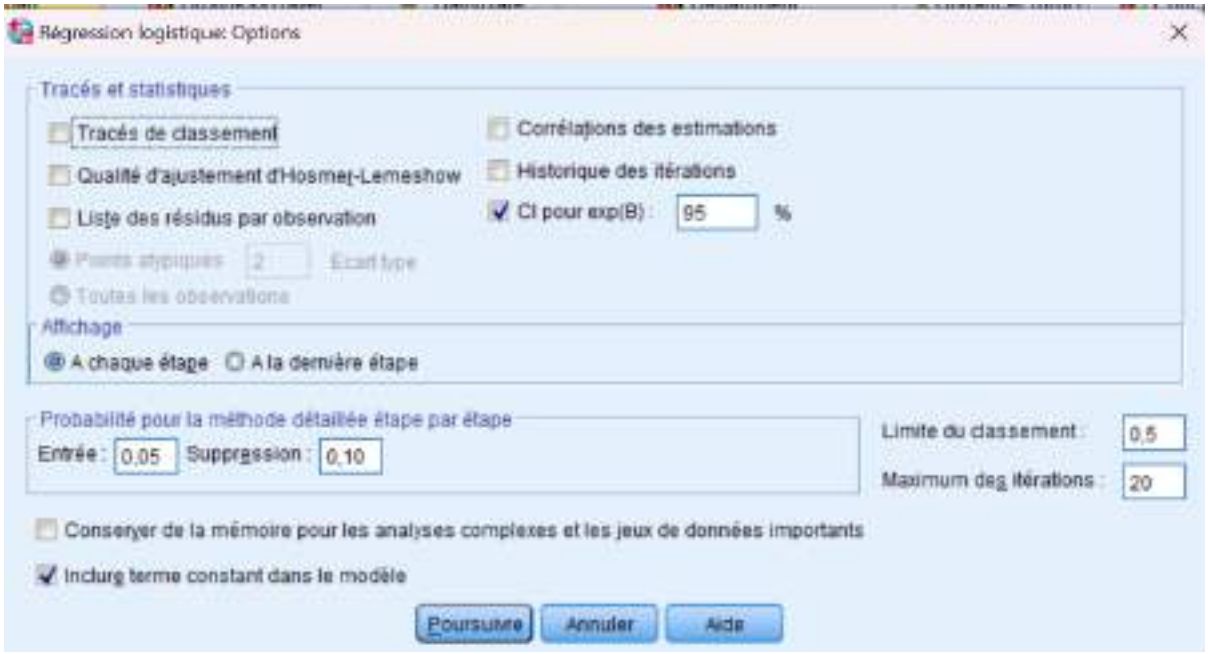
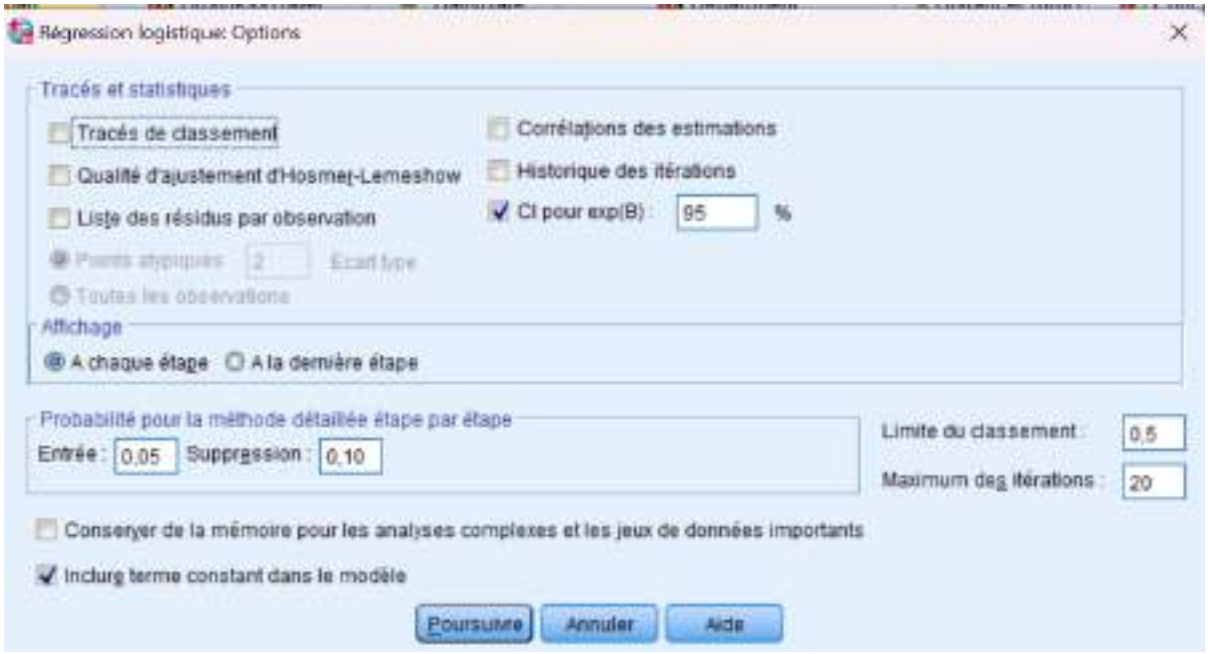


Figure 169: Boite de définition des variables catégorielles

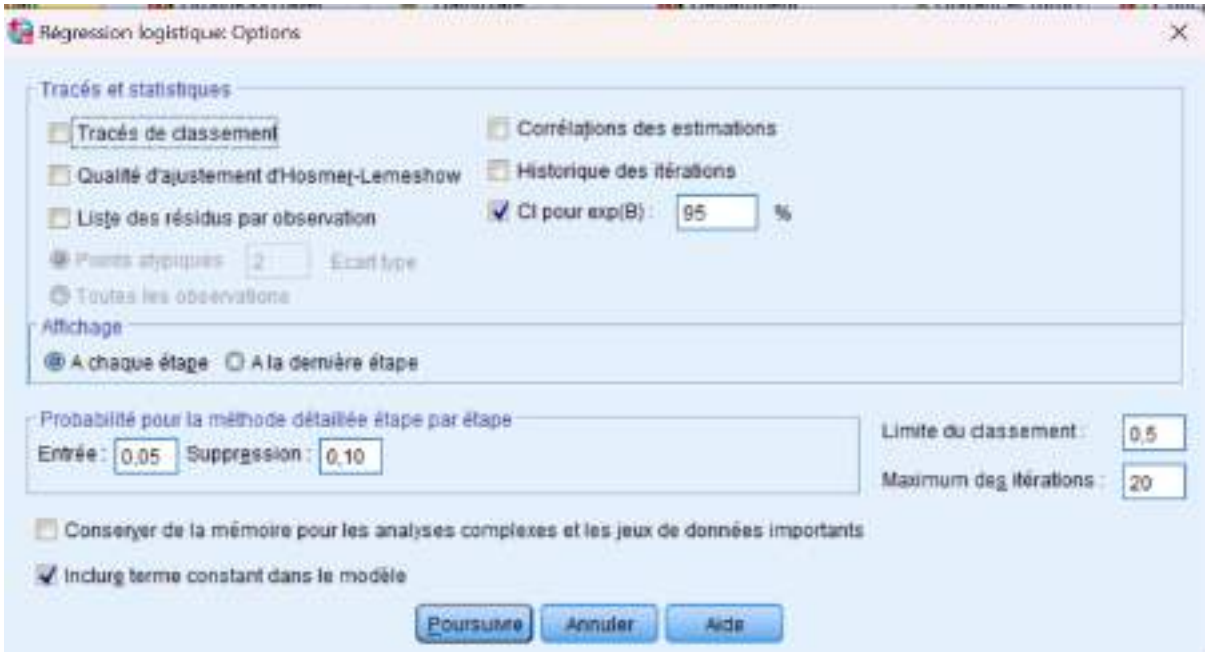
Régression logistique: Enregistrer
Prévisions
Probabilités
Groupe d'affectation
Résidus
Non standardisés
Logit
De Student
Standardisés
Déviance
Influence
Cook
Valeurs influentes
DfBêta(s)
Exporter les informations du modèle dans un fichier XML
Parcourir
Inclure la matrice de covariance
Poursuivre
Annuler
Aide
OK
Coller
Réinitialiser
Annuler
Aide


Régression logistique: Options
Tracés et statistiques
Tracés de classement
Qualité d'ajustement d'Hosmer-Lemeshow
Liste des résidus par observation
Points atypiques
2
Ecart type
Toutes les observations
Corrélations des estimations
Historique des itérations
CI pour exp(B)
95
%
Affichage
A chaque étape
A la dernière étape
Probabilité pour la méthode détaillée étape par étape
Entrée :
0,05
Suppression :
0,10
Limite du classement :
0,5
Maximum des itérations :
20
Conserver de la mémoire pour les analyses complexes et les jeux de données importants
Inclure terme constant dans le modèle
Poursuivre
Annuler
Aide

Régression logistique: Enregistrer
Prévisions
Probabilités
Groupe d'affectation
Résidus
Non standardisés
Logit
De Student
Standardisés
Déviance
Influence
Cook
Valeurs influentes
DfBêta(s)
Exporter les informations du modèle dans un fichier XML
Parcourir
Inclure la matrice de covariance
Poursuivre
Annuler
Aide
OK
Coller
Réinitialiser
Annuler
Aide


Régression logistique: Options
Tracés et statistiques
Tracés de classement
Qualité d'ajustement d'Hosmer-Lemeshow
Liste des résidus par observation
Points atypiques
2
Ecart type
Toutes les observations
Corrélations des estimations
Historique des itérations
CI pour exp(B)
95
%
Affichage
A chaque étape
A la dernière étape
Probabilité pour la méthode détaillée étape par étape
Entrée :
0,05
Suppression :
0,10
Limite du classement :
0,5
Maximum des itérations :
20
Conserver de la mémoire pour les analyses complexes et les jeux de données importants
Inclure terme constant dans le modèle
Poursuivre
Annuler
Aide

Régression logistique: Enregistrer
Prévisions
Probabilités
Groupe d'affectation
Résidus
Non standardisés
Logit
De Student
Standardisés
Déviance
Influence
Cook
Valeurs influentes
DfBêta(s)
Exporter les informations du modèle dans un fichier XML
Parcourir
Inclure la matrice de covariance
Poursuivre
Annuler
Aide
OK
Coller
Réinitialiser
Annuler
Aide


Régression logistique: Options
Tracés et statistiques
Tracés de classement
Qualité d'ajustement d'Hosmer-Lemeshow
Liste des résidus par observation
Points atypiques
2
Ecart type
Toutes les observations
Corrélations des estimations
Historique des itérations
CI pour exp(B)
95
%
Affichage
A chaque étape
A la dernière étape
Probabilité pour la méthode détaillée étape par étape
Entrée :
0,05
Suppression :
0,10
Limite du classement :
0,5
Maximum des itérations :
20
Conserver de la mémoire pour les analyses complexes et les jeux de données importants
Inclure terme constant dans le modèle
Poursuivre
Annuler
Aide

On peut utiliser d'autres paramètres pour obtenir les autres formes de résidus et les statistiques d'influence présentées dans la régression .

Figure 170 : Boite de types d'analyses

On peut utiliser d'autres options qui peuvent peuvent aussi être pertinentes.

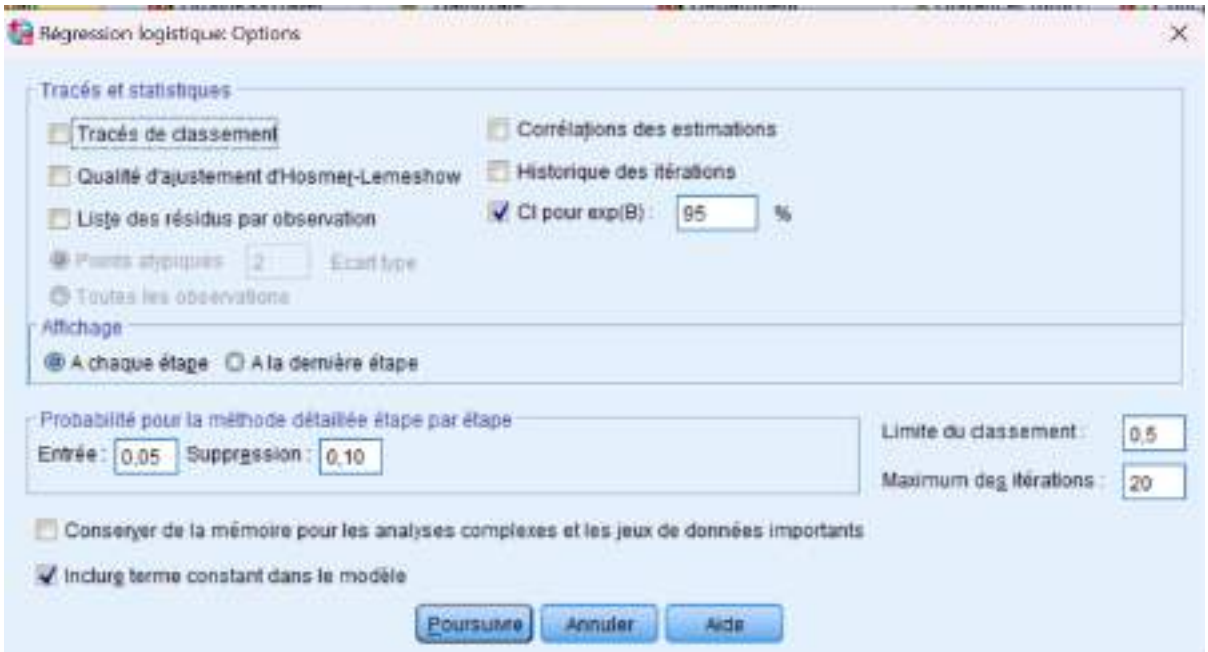


Figure 171: Autres options.

Résultat:

Ce tableau présente les valeurs d'origine codées .

Codage de variable dépendante

Valeur d'origine	Valeur interne
0	0
1	1

Figure 172:Tableau des valeurs en binaire

Ce tableau représente les codages des variables avec les fréquence dans notre échantillon .

Codages des variables catégorielles

		Fréquence	Codage de paramètre (1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
Years/RCoinsure	0	44	1,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	1	171	,000	1,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	2	127	,000	,000	1,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	3	128	,000	,000	,000	1,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	4	118	,000	,000	,000	,000	1,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	5	188	,000	,000	,000	,000	,000	1,000	,000	,000	,000	,000	,000
	6	79	,000	,000	,000	,000	,000	,000	1,000	,000	,000	,000	,000
	7	60	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	1,000	,000	,000	,000
	8	68	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	1,000	,000	,000
	9	82	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	1,000	,000
	10	128	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	1,000
	11	22	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	12	14	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	13	24	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	14	18	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	15	28	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	16	12	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	17	9	,000	,000	,000	,000	,000	[illegible]	[illegible]	,000	,000	,000	,000
	18	13	,000	,000	,000	,000	,000	Double-cliquez pour [illegible]	[illegible]	,000	,000	,000	,000

Figure 173: Tableau de codage des variables

Table pour classifier les prédictions les plus fréquentes .

Table de classification[a,b]

	Observé		Prévisions: Départ 0	Prévisions: Départ 1	Pourcentage correct
Pas 0	Départ	0	1233	0	100,0
		1	237	0	,0
	Pourcentage global				83,9

a. La constante est incluse dans le modèle.

b. La valeur de coupe est ,500

Figure 174: Table de classification

Le tableau des variables de l'équation nous indique la valeur du coefficient b0.

Variables de l'équation

		B	E.S	Wald	ddl	Sig.	Exp(B)
Pas 0	Constante	-1,649	,071	540,645	1	,000	,192

Figure 175:Table de variables de l'équation

Ce tableau fournit les valeurs -2LL pour chaque étape du modèle.

Récapitulatif des modèles

Pas	Log de vraisemblance -2	R-deux de Cox et Snell	R-deux de Nagelkerke
1	1059,546[a]	,150	,256

a. L'estimation s'est arrêtée à l'itération numéro 20, car le nombre d'itérations maximum a été atteint. La solution finale est introuvable.

Figure 176:Tableau de récapitulatif des modèles

Ce tableau nous permet de determiner la signification du modèle.

Tests composites des coefficients du modèle

		Khi-carré	ddl	Sig.
Pas 1	Pas	239,037	40	,000
	Bloc	239,037	40	,000
	Modèle	239,037	40	,000

Figure 177: Tableau des tests des coefficients du modèle 1

Ces deux tableaux représentent les itérations et la classification du modèle 0.

Historique des itérations[a,b,c]

Itération		Log de vraisemblance -2	Coefficients Constante
Pas 0	1	1316,932	-1,355
	2	1298,710	-1,624
	3	1298,583	-1,649
	4	1298,583	-1,649

a. La constante est incluse dans le modèle.

b. Log de vraisemblance -2 initial : 1298,583

c. L'estimation s'est arrêtée à l'itération numéro 4, car le nombre de modifications des estimations du paramètre est inférieur à ,001.

Table de classification[a,b]

	Observé		Prévisions Départ 0	Prévisions Départ 1	Pourcentage correct
Pas 0	Départ	0	1233	0	100,0
		1	237	0	,0
	Pourcentage global				83,9

Figure 178: Tableau des classifications du modèle 0

Ces tableaux représentent Le test et la continguence pour le test Homser et Lemeshow.

Test de Hosmer et Lemeshow

Pas	Khi-carré	ddl	Sig.
1	9,758	8	,282

Tableau de contingence pour le test de Hosmer et Lemeshow

		Départ = 0 Observé	Départ = 0 Attendu	Départ = 1 Observé	Départ = 1 Attendu	Total
Pas 1	1	141	144,615	6	2,385	147
	2	143	141,485	4	5,515	147
	3	138	139,135	9	7,865	147
	4	141	137,430	7	10,570	148
	5	129	132,303	17	13,697	146
	6	128	129,557	19	17,443	147
	7	129	124,920	19	23,080	148
	8	118	115,221	29	31,779	147
	9	100	100,817	47	46,183	147
	10	66	67,517	80	78,483	146

Figure 179: Test de Homser et Lemeshow

Ce graphe représente la distribution des probabilités 0 et 1.

Figure 180: Graphique des probabilités

Ce tableau nous présente la liste des observations ayant une valeur résiduelle standardisée qui doit etre plus élevée que 2.

Liste des observations[a]

Observation	Statut sélectionné[a]	Observé			Variable temporaire		
		Départ	Prévisions	Groupe prévu	Résidus	Résidus standardisés	Résidus de Student
22	R	1**	,104	0	,896	2,942	2,137
46	R	1**	,048	0	,952	4,444	2,527
90	R	1**	,075	0	,925	3,503	2,288
123	R	1**	,083	0	,917	3,317	2,239
137	R	1**	,094	0	,906	3,107	2,186
141	R	1**	,098	0	,902	3,037	2,164
206	R	1**	,097	0	,903	3,048	2,169
211	R	1**	,140	0	,860	2,483	2,059
217	R	1**	,102	0	,898	2,962	2,151
218	R	1**	,132	0	,868	2,563	2,030
237	R	1**	,057	0	,943	4,051	2,402
251	R	1**	,123	0	,877	2,673	2,055
260	R	1**	,126	0	,874	2,628	2,042
318	R	1**	,029	0	,971	5,828	2,673
367	R	1**	,084	0	,916	3,312	2,242
418	R	1**	,057	0	,943	4,065	2,400
422	R	1**	,125	0	,875	2,645	2,048
437	R	1**	,062	0	,938	3,900	2,368
470	R	1**	,115	0	,885	2,778	2,090
483	R	1**	,055	0	,945	4,147	2,415

1022	R	1**	,126	0	,874	2,638	2,046
1032	R	1**	,028	0	,972	5,843	2,674
1040	R	1**	,102	0	,898	2,961	2,142
1057	R	1**	,111	0	,889	2,823	2,103
1058	R	1**	,110	0	,890	2,838	2,108
1059	R	1**	,150	0	,850	2,382	2,106
1084	R	1**	,088	0	,912	3,220	2,212
1086	R	1**	,138	0	,862	2,497	2,006
1087	R	0**	,670	1	-,670	-1,426	-2,008
1107	R	1**	,116	0	,884	2,759	2,084
1112	R	1**	,069	0	,931	3,686	2,432
1113	R	1**	,053	0	,947	4,225	2,428
1163	R	1**	,064	0	,936	3,810	2,384
1205	R	1**	,126	0	,874	2,638	2,055
1247	R	1**	,056	0	,944	4,118	2,411
1280	R	1**	,096	0	,904	3,074	2,175
1291	R	1**	,087	0	,913	3,246	2,222
1299	R	1**	,033	0	,967	5,432	2,622
1334	R	1**	,029	0	,971	5,750	2,663
1355	R	1**	,076	0	,924	3,478	2,279
1391	R	1**	,076	0	,924	3,484	2,278
1445	R	1**	,039	0	,961	4,961	2,553
1453	R	1**	,016	0	,984	7,759	2,873
1462	R	1**	,103	0	,897	2,947	2,142

Figure 181: Liste d'observation des valeurs résiduelles

IV.5.3.Interprétation :

Etape 0:

Le premier tableau CODAGE DE VARIABLE DEPENDANTE indique simplement que SPSS a conservé les mêmes valeurs que celles utilisées pour coder les variables, soit 0 pour les variables dont la valeur leur affecte 0 (sexe=femme , maritalstatut=non , overtime=non, départ=non) et 1 pour l'autre groupes de valeurs (sexe=homme , maritalstatut=oui , overtime=oui, depart=oui).

Le deuxième tableau CODAGES DES VARIABLES CATEGORIELLES illustre les valeurs utilisées pour la variable prédictrice catégorielle.

Le troisième tableau TABLE DE CLASSIFICATION montre pour sa part que la prédiction en se basant sur la catégorie la plus fréquente permet de classifier correctement 83,9% des participants.

Le quatrième tableau VARIABLE DE L'EQUATION nous indique la valeur du coefficient b0. Dans notre cas, il est de – 1,649.

Etape 0:

Le premier tableau CODAGE DE VARIABLE DEPENDANTE indique simplement que SPSS a conservé les mêmes valeurs que celles utilisées pour coder les variables, soit 0 pour les variables dont la valeur leur affecte 0 (sexe=femme , maritalstatut=non , overtime=non, depart=non) et 1 pour l'autre groupes de valeurs (sexe=homme , maritalstatut=oui , overtime=oui, départ=oui).

Le deuxième tableau CODAGES DES VARIABLES CATEGORIELLES illustre les valeurs utilisées pour la variable prédictrice catégorielle.

Etape 1:

Le troisième tableau TABLE DE CLASSIFICATION montre pour sa part que la prédiction en se basant sur la catégorie la plus fréquente permet de classifier correctement 83,9% des participants.

Le quatrième tableau VARIABLE DE L'EQUATION nous indique la valeur du coefficient b0. Dans notre cas, il est de – 1,649.

Le cinquième tableau RECAPITULATIF DU MODELE fournit les valeurs -2LL pour chaque étape du modèle. Nous pouvons déterminer si la probabilité – 2LL de chaque étape du modèle est inférieure à la probabilité – 2LL de base (=1298,583 qui représente la probabilité que nous chercherons à améliorer en ajoutant des variables prédictrices. Dans le tableau HISTORIQUE DES ITERATIONS) et si cette différence est significative, ce qui nous indiquera si les termes de l'équation logistique finale prédisent mieux la probabilité que les employés font leur départ à cause de ces facteurs.
Par exemple, pour l'étape 1, nous pouvons calculer 1298,583 – 1059,54, ce qui donne 239,04. Cette valeur est évaluée dans une distribution $\chi 2$ et sa signification est présentée dans le tableau suivant TEST DES COMPOSITES COEFFICIENTS MODELES . Nous constatons que l'étape et le modèle complet sont significatifs. Bien sûr, à l'étape 1, le modèle ne comprend qu'une variable, donc nécessairement, la valeur $\chi 2$ est identique pour les deux éléments. Nous cherchons à ce qu'à chaque étape, le modèle présente une diminution significative du -2LL.
Si on effectue la même procédure pour l'étape 0 , (Les deux tableaux HISTORIQUE DES ITERATIONS et CLASSIFICATION DES HISTORIQUE) on constate un grand écart =15,349 , nous pouvons dire que le modèle final permet de prédire significativement mieux la probabilité d'éviter le départ des employés en uncluant le modèle constant des variables, la distribution de ces variables agit sur la variable de départ .

On peut calculer la valeur du Pseudo-R2 pour obtenir une estimation de la variabilité expliqué en utilisant la relation suivante:

$$R^2_{logit} = \frac{-2LL_{original} - (-2LL_{modèle})}{-2LL_{original}}$$

$$0{,}1840 = \frac{1298{,}583 - 1059{,}546}{1298{,}583}$$

Donc notre modèle prédit donc 18% de la variance du départ, notre modèle de régression logistique parvient à expliquer environ 18% de la variation de la variable dépendante à l'aide des variables indépendantes incluses dans le modèle. On procèdera avec d'autres études pour voir l'influence de notre modèle choisi .

Dans le tableau HOMSER-LEMEHOW on peut examiner le test de Hosmer-Lemeshow. Celui-ci indique s'il existe un écart important entre les valeurs prédites et observées, la valeur significative = 0,282>0,01.
Dans LE GRAPHIQUE DE PROBABILITES, il faut savoir que si le modèle était parfait, tous les employés qui partent (1) seraient situés vers la droite alors que tous ceux qui ne quittent pas l'entreprise (0) seraient vers la gauche. Idéalement, le moins d'individus possibles doivent être situés près du 0,5, puisque si plusieurs points sont près du centre, la probabilité est de 50/50, soit équivalente au hasard.
Nous constatons que la majorité des 0 sont à gauche, mais que la répartition des 1 est beaucoup plus étendue, ce qui nous confirme les résultats déjà analyses , par conséquent ces facteurs sont significatifs sur le départ des employés.

Dans le tableau de LA LISTE DES OBSERVATIONS, notre objectif est de s'assurer que le modèle statistique est correctement ajusté aux données et qu'il prédit efficacement le groupe d'appartenance des individus. Pour ce faire,pour cela qu'il faut vérifier si les paramètres de la distribution normale sont respectés. En général, on s'attend à ce que :

- Au maximum 5 % des observations se trouvent en dehors des limites de ±1,96 (2 écarts-types).
- Au maximum 1 % des observations se trouvent en dehors des limites de ±2,58 (2,58 écarts-types).
- Une attention particulière est portée aux observations situées à plus de 3 écarts-types.

Dans notre tableau la majorité de nos valeurs sont incluses dans ±2,58 de la valeur résiduelle de student, donc notre modèle statistique semble bien ajusté aux données, car aucune observation n'est considérée comme atypique ou ayant une influence disproportionnée sur l'ajustement du modèle en fonction de ces critères spécifiques. Par conséquent les variables choisies affectent bien le départ des employés.

IV.6. Conclusion:

Après avoir effectué une analyse approfondie des facteurs influents sur le processus de tournage et le départ des employés dans notre service de maintenance, en utilisant le logiciel SPSS, nous avons obtenu des résultats significatifs qui nous ont apporté une meilleure compréhension de ces deux aspects cruciaux de notre entreprise.

Dans le domaine du tournage, notre analyse de régression a identifié des facteurs techniques tels que la vitesse de rotation, la force de rotation et la température du processus de tournage qui jouent un rôle essentiel dans la performance de nos machines. Ces résultats nous permettront d'optimiser nos paramètres de production, de prévenir les défaillances et d'améliorer la qualité des pièces que nous produisons.

Parallèlement, notre analyse de régression sur les facteurs influents du départ des employés dans le service de maintenance a révélé des informations précieuses concernant les aspects liés aux ressources humaines qui ont une influence significative sur la décision des employés de quitter l'entreprise. Des éléments tels que la satisfaction au travail, la rémunération et les opportunités de développement professionnel ont été examinés en détail, nous permettant ainsi d'identifier les liens qui existent avec les départs.

Grâce à l'utilisation de SPSS, nous avons pu quantifier l'importance de chaque facteur et comprendre comment ces variables interagissent pour influencer les départs des employés. Ces informations sont essentielles pour prendre des mesures proactives visant à améliorer la rétention du personnel, à créer un environnement de travail plus satisfaisant et à offrir des perspectives de développement professionnel attrayantes.

En conclusion, nos analyses de régression réalisées avec l'aide de SPSS nous ont fourni des informations précieuses sur les facteurs techniques du processus de tournage et les facteurs des ressources humaines influant sur le départ des employés dans notre service de maintenance. Ces résultats nous donnent des indications précieuses pour améliorer la performance globale de notre entreprise, aussi bien du point de vue de la production que de la gestion des ressources humaines. Nous pourrons ainsi mettre en place des actions ciblées pour optimiser notre processus de tournage, prévenir les défaillances techniques et mettre en œuvre des mesures visant à améliorer la satisfaction au travail, la rémunération et les opportunités de développement professionnel, dans le but de réduire les départs et de favoriser la rétention du personnel au sein de notre service de maintenance.

Conclusion générale

En conclusion, ce rapport nous a permis d'approfondir notre compréhension des facteurs influents dans le service de maintenance de l'entreprise Tournotech en utilisant la puissante plateforme statistique SPSS. Nous avons mené des analyses approfondies sur les ressources humaines, telles que le salaire, la situation familiale et le taux de travail, ainsi que sur les aspects techniques du procédé de tournage, tels que la vitesse de rotation, la force de rotation et la température.

Grâce à l'utilisation de SPSS, nous avons pu créer et gérer efficacement nos variables, explorer les relations entre elles et identifier les facteurs clés qui influent sur la performance du service de maintenance. Nous avons appliqué des techniques statistiques avancées, telles que les tests de comparaison des moyennes et les analyses bi-variées, pour étudier en détail l'impact de ces variables sur les résultats.

Nos résultats ont été significatifs et ont fourni des informations précieuses pour la prise de décisions éclairées. Les analyses réalisées avec SPSS nous ont permis de mettre en évidence l'importance des ressources humaines et des aspects techniques dans le service de maintenance de Tournotech, et d'identifier des opportunités d'amélioration et d'optimisation.

Ce projet de fin de semestre a démontré l'utilité et la pertinence de l'utilisation de SPSS dans les études de maintenance industrielle. L'analyse des données à l'aide de cet outil puissant a permis d'obtenir des résultats robustes et fiables, renforçant ainsi la crédibilité de nos conclusions et recommandations.

En conclusion, ce rapport met en évidence l'importance de l'analyse statistique dans l'étude des facteurs influents sur la performance du service de maintenance. Grâce à l'utilisation de SPSS, nous avons pu fournir des informations précises et détaillées sur les ressources humaines et les aspects techniques, offrant ainsi des bases solides pour l'optimisation des pratiques de maintenance de Tournotech et des organisations similaires.

Bibliographie

Analyse de données avec SPSS / SYNTHEX économie et gestion.
Méthodes statistiques en gestion, Dunod, Paris, 1996Thiétard R. A.
Analyzing Decision Making: Metric Conjoint Analysis, Sage, New York, 1988.
Cas d'analyse conjointe, Broché, Lavoisier 2001.

https://www.ibm.com/fr-fr/products/spss-statistics