

Université de Montréal

**INFLUENCE DE L'ASPHÉRICITÉ ANTÉRIEURE D'UNE LENTILLE SCLÉRALE SUR L'ACUITÉ VISUELLE ET LES
ABERRATIONS D'ORDRES SUPÉRIEURS**

Par

Alexandre Poirier-Lavallée, OD

École d'optométrie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Maîtrise en Science de la vision
en option Sciences fondamentales appliquées/cliniques

30 avril 2023

© Alexandre Poirier-Lavallée, 2023

Université de Montréal

École d'optométrie

Ce mémoire (ou cette thèse) intitulé(e)

**INFLUENCE DE L'ASPHÉRICITÉ ANTÉRIEURE D'UNE LENTILLE SCLÉRALE SUR L'ACUITÉ VISUELLE ET LES
ABERRATIONS D'ORDRES SUPÉRIEURS**

Présenté par

Alexandre Poirier-Lavallée, OD

A été évalué(e) par un jury composé des personnes suivantes

Jean-Marie Hanssens MSC, OD, PhD

Président-rapporteur

Langis Michaud OD, MSc

Directeur de recherche

Benoit Tousignant OD, MSc, MPH

Membre du jury

Résumé

L'amélioration des matériaux et des technologies de lentilles de contact a permis le recours de plus en plus fréquent à un type de lentille de contact à grand diamètre reposant sur la sclère : la lentille sclérale (SL). Celle-ci est majoritairement utilisée pour la réadaptation visuelle de patient vivant avec divers types de déformations cornéennes, mais également pour le traitement de maladie de surface oculaire et la correction optique de la simple erreur de réfraction lorsque les autres modalités de lentilles ne peuvent être tolérées.

Ce mémoire a pour objectif d'évaluer l'influence de l'asphéricité des surfaces antérieure (ASA) et postérieure (ASP) sur la performance visuelle d'un porteur de SL chez deux groupes distincts : une cohorte de 12 participants sans anomalie cornéenne et une cohorte de 9 participants ayant un diagnostic de kératocône (KC). Lors de l'expérience, quatre différentes SL ayant différents profils d'asphéricité ont été étudiées sur l'œil droit seulement. Pour chaque SL, les mesures d'acuité visuelle à haut contraste (AVHC), l'acuité visuelle à bas contraste (AVHC) et les valeurs moyennes quadratiques (root-mean-square ou RMS) des différents coefficients d'aberrations d'ordres supérieurs (AOS) ont été compilées pour chacun de ces designs aux diamètres pupillaires 3, 4, 5 et 6 mm.

Les résultats obtenus suggèrent que l'augmentation de l'ASA d'une SL portée à l'œil droit génère une augmentation de l'aberration sphérique négative, de la coma verticale et horizontale négative chez les deux groupes. L'augmentation de l'ASA entraîne toutefois une augmentation de l'AOS totale et du trèfle total chez les participants sans anomalie cornéenne. Chez le groupe de participants atteint de KC, l'augmentation de l'ASA entraîne une diminution non significative des AOS totales et une augmentation non significative de l'aberration trèfle total. Bien que des études supplémentaires soient nécessaires pour bien comprendre l'influence de l'asphéricité sur les AOS chez les participants atteints de KC, la manipulation de celle-ci permettrait de réduire l'amplitude de certains types d'AOS dans certains cas particuliers.

Mots clés : aberrations d'ordres supérieurs, lentilles sclérales, asphéricité, excentricité, performance visuelle

Abstract

Improvements in materials and technology have led to the increased use of a large diameter contact lens that rests on the sclera: the scleral lens (SL). These lenses are mainly used for visual rehabilitation of patients with various types of corneal ectasia, for the treatment of ocular surface disease and also for the optical correction of simple refractive error when other lens modalities are not tolerated.

The purpose of this dissertation is to evaluate the influence of anterior surface asphericity (ASA) and posterior surface asphericity (ASP) on the visual performance of a SL wearer in two distinct groups: a cohort of 12 participants with no corneal abnormalities and a cohort of 9 participants with a diagnosis of keratoconus (KC). Four different SLs with different aspheric profiles were studied on the right eye only. For each SL, high-contrast visual acuity (HCVA), low contrast visual acuity (LCVA) measurements were measured. The root-mean-square (RMS) values of the higher-order aberration (HOA) Zernike coefficients were also measured for each of these designs for a pupil diameter of 3, 4, 5 and 6 mm.

The results of this study suggest that increasing the anterior asphericity of a SL worn on the right eye generates an increase in negative spherical aberration, negative vertical and horizontal coma in both groups. Increasing anterior asphericity leads to an increase in total HOA and total trefoil in participants without corneal anomalies. In the group of participants with KC, increasing asphericity results in a non-significant decrease in total HOA and a non-significant increase in total trefoil aberration. Although additional studies are needed to understand the influence of asphericity on HOA in participants with KC, the manipulation of the anterior asphericity could reduce the amplitude of some types of HOA in some cases.

Keywords : higher-order aberrations, scleral lens, asphericity, eccentricity, visual performance

Table des matières

Résumé.....	v
Abstract	vii
Table des matières	ix
Liste des tableaux.....	xiii
Liste des figures.....	xxi
Liste des sigles et abréviations.....	xxiii
Remerciements	xxv
Chapitre 1 - Revue de littérature sur les lentilles sclérales, ses applications et les aberrations d'ordres supérieurs	1
1.1 Introduction et définition d'une lentille sclérale	1
1.2 Concepts optiques en lien avec les aberrations oculaires	2
1.2.1 Astigmatisme irrégulier chez le patient atteint de kératocône	2
1.2.2 Les différents types d'aberrations optiques	3
1.2.3 Amplitudes des AOS chez une population normale.....	6
1.2.4 Les AOS chez le patient atteint de kératocône	7
1.2.5 Impact visuel des AOS	2
1.2.6 Ratio visuel de Strehl.....	4
1.3 L'impact des lentilles cornéennes sur les AOS.....	5
1.3.1 Impact des différents types de corrections ophtalmiques	5
1.3.2 Survol des limites de la correction des AOS par les LCR PAG et les SL	6
1.4 Pistes de solutions pour optimiser la qualité optique d'une lentille sclérale.....	8

1.4.1 Amélioration de la centration d'une lentille à l'aide de périphérie torique ou par périphérie ajustée quadrant	8
1.4.2 Utilisation d'optique décentrée	8
1.4.3 Utilisation d'une surface avant torique	9
1.4.4 Correction du patron d'aberration (front d'onde) à l'aide de lentilles sclérales.....	9
1.5 L'impact de l'asphéricité sur la qualité optique d'une lentille sclérale et les aberrations ..	10
1.5.1 Définition de l'asphéricité	10
1.5.2 Lien entre l'asphéricité d'un plan optique, la centration de celui-ci et les aberrations oculaires	11
1.5.3 Asphéricité antérieure optimale théorique d'une lentille sclérale.....	12
1.5.4 Application de l'asphéricité antérieure sur des lentilles rigides et sclérales.....	13
1.5.5 Impact de l'asphéricité postérieure	15
1.5.6 Analyse de l'influence de l'asphéricité d'une lentille sclérale sur les aberrations d'ordres supérieurs.....	15
Chapitre 2 – Objectifs et méthodologie	16
2.1 Introduction.....	16
2.1.1 Objectif	16
2.1.2 Hypothèse	16
2.2 Matériel et méthodes	16
2.2.1 Design expérimental	16
2.2.2 Mesures préliminaires.....	17
2.2.3 Ajustement de la lentille sclérale et sélection des lentilles	18
2.2.4 Mesures comparatives entre les quatre SL.....	18
2.3. Analyses statistiques	20
Chapitre 3 – Résultats	23

3.1 Analyse de l'influence du groupe sur les valeurs RMS de différents coefficients de Zernike lors du port d'une SL sans asphéricité	25
3.2 Analyse de l'impact du profil d'asphéricité des SL et du groupe sur l'acuité visuelle à haut et à bas contraste	27
3.3 Groupe 1- Impact du profil d'asphéricité et du diamètre pupillaire sur la valeur RMS des différents coefficients de Zernike	30
3.4 Groupe 2- Impact du type de lentille et du diamètre pupillaire sur la valeur RMS des différents coefficients de Zernike	51
3.5 Ratio visuel de Strehl (VSX) et logVSX	69
3.6 Décentrement des SL mesuré par la topographie de Medmont	77
3.7 Corrélation entre le décentrement des SL et l'amplitude des AOS	80
Chapitre 4 – Discussion	83
4.1 Impact du profil d'asphéricité sur l'acuité visuelle à haut contraste et l'acuité visuelle à bas contraste	83
4.2 Impact du profil d'asphéricité et du diamètre pupillaire sur les aberrations d'ordres supérieurs.....	85
4.2.1 Impact du diamètre pupillaire sur l'amplitude des aberrations d'ordres supérieurs des différents coefficients	85
4.2.2 Impact du profil d'asphéricité sur l'amplitude des aberrations d'ordres supérieurs des différents coefficients	88
4.3 VSX et de son logarithme logVSX	95
4.4 Fiabilité des mesures de décentrement des SL.....	97
4.5 Influence du décentrement l'amplitude des AOS	99
4.6 Limitations de l'étude.....	99
4.7 Implications cliniques	101
Chapitre 5. Conclusion	107

Références bibliographiques.....	108
Annexes	115
A. Tableaux de statistiques descriptives – Valeurs RMS des coefficients d’AOS en fonction de la LC et du \emptyset_{pup} chez le groupe 1 (normal).....	115
B. Tableaux de statistiques descriptives – Valeurs RMS des coefficients d’AOS en fonction de la LC et du \emptyset_{pup} chez le groupe 2 (KC).....	121
C. Tableaux de statistiques descriptives – Valeur de VSX et logVSX.....	127

Liste des tableaux

Tableau 1. – Amplitudes en valeur absolue des différents coefficients d'AOS chez une population normale selon l'étude de Salmon et collab. (2006). Celles-ci sont indiquées en valeurs RMS \pm écart type ⁽³¹⁾	7
Tableau 2. – Description des caractéristiques des participants de chaque groupe	23
Tableau 3. – Résumé des résultats du test U de Mann-Whitney concernant les valeurs RMS des AOS (comparaison entre le groupe 1 et le groupe 2)	25
Tableau 4. – Statistiques descriptives concernant les valeurs d'acuité visuelle à haut contraste (AVHC) à gauche et d'acuité visuelle à bas contraste (AVBC) à droite en fonction du groupe et du type de lentille (LC)	27
Tableau 5. – Résumé de l'analyse des effets fixes de l'ANOVA à mesures répétées pour l'acuité visuelle à bas contraste	29
Tableau 6. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes concernant l'acuité visuelle à bas contraste (Effet «lentille» (LC) en isolant le groupe 2 seul)	29
Tableau 7. – Résumé des résultats des ANOVA à mesures répétées chez le groupe 1 (n = 12) pour les valeurs RMS des différents coefficients d'AOS.	31
Tableau 8. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives de coma verticale (Z_3^{-1})	33
Tableau 9. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma verticale Z_3^{-1} lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A, LC C et LC D).	33
Tableau 10. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma verticale Z_3^{-1} lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 4, 5 et 6 mm)	34
Tableau 11. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives de coma horizontale (Z_3^{+1})	35
Tableau 12. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma horizontale Z_3^{+1} lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A, LC C et LC D)	36

Tableau 13. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma horizontale Z_3^{+1} lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 4, 5 et 6 mm)	36
Tableau 14. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes d'amplitude de trèfle Z_3^{+3} (Effet \emptyset_{pup})	38
Tableau 15. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes d'amplitude de tetrafoil Z_4^{-4} (Effet \emptyset_{pup})	38
Tableau 16. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives d'aberration sphérique (Z_4^0)	40
Tableau 17. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour l'aberration sphérique Z_4^0 lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC B, LC C et LC D)	41
Tableau 18. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour l'aberration sphérique Z_4^0 lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 5 et 6 mm)	41
Tableau 19. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes d'amplitude de tetrafoil Z_4^{+4} (Effet \emptyset_{pup})	42
Tableau 20. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives d'amplitude des aberrations d'ordres supérieures totales	44
Tableau 21. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour les aberrations d'ordres supérieures totales lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A, LC B, LC C et LC D)	44
Tableau 22. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour les aberrations d'ordres supérieures totales lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 5 et 6 mm)	45
Tableau 23. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives de coma totale	46

Tableau 24. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma totale lors de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A, LC B, LC C et LC D)	47
Tableau 25. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma totale lors de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 5 et 6 mm)	48
Tableau 26. – Résumé de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives de trèfle total	49
Tableau 27. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour le trèfle total lors de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A, LC B, LC C et LC D)	50
Tableau 28. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour le trèfle total lors de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 5 et 6 mm) .	50
Tableau 29. – Résumé des résultats des ANOVA à mesures répétées chez le groupe 2 (n = 9) pour les valeurs RMS des différents coefficients d’AOS.	52
Tableau 30. – Résumé de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes d’amplitude de trèfle Z_3^{-3} (Effet \emptyset_{pup})	53
Tableau 31. – Résumé de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives de coma verticale (Z_3^{-1})	55
Tableau 32. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma verticale Z_3^{-1} lors de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A et LC D)	55
Tableau 33. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma verticale Z_3^{-1} lors de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer(Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 5 et 6 mm)	56
Tableau 34. – Résumé de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives de coma horizontale (Z_3^{+1})	57
Tableau 35. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour Z_3^{+1} lors de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A et LC D)	58

Tableau 36. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma horizontale Z_3^{+1} lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 4, 5 et 6 mm)	58
Tableau 37. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes d'amplitude d'astigmatisme secondaire Z_4^{-2} (Effet \emptyset_{pup}).....	60
Tableau 38. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives d'aberration sphérique (Z_4^0)	61
Tableau 39. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour l'aberration sphérique Z_4^0 lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A, LC C et LC D)	62
Tableau 40. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour l'aberration sphérique Z_4^0 lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 4, 5 et 6 mm).....	62
Tableau 41. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes d'amplitude des aberrations d'ordres supérieurs totales (Effet \emptyset_{pup} et effet LC)	64
Tableau 42. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives de coma totale	65
Tableau 43. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma totale lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A, LC B, LC C et LC D)	66
Tableau 44. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma totale lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 5 et 6 mm)	67
Tableau 45. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes d'amplitude de trèfle total (Effet \emptyset_{pup})	68
Tableau 46. – Résumé des résultats des ANOVA à mesures répétées chez le groupe 1 (n = 12) pour les valeurs du ratio visuel de Strehl (VSX et logVSX)	69
Tableau 47. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives de valeur du ratio visuel de Strehl chez le groupe 1 (VSX)	70

Tableau 48. – Résumé des différences moyennes significatives de valeur de VSX lors de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer chez le groupe 1 (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A, LC B, LC C et LC D)	71
Tableau 49. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs de VSX lors de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer chez le groupe 1 (Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 3 et 4 mm)	71
Tableau 50. – Résumé de l’analyse post-hoc (Tukey-Kramer) et des différences moyennes de logVSX pour l’effet du facteur \emptyset_{pup} et du facteur LC.....	72
Tableau 51. – Résumé des résultats des ANOVA à mesures répétées chez le groupe 2 (n = 9) pour les valeurs du ratio visuel de Strehl (VSX et logVSX)	74
Tableau 52. – Résumé de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes de valeur de VSX pour l’effet du facteur \emptyset_{pup} et du facteur LC chez le groupe 2.....	75
Tableau 53. – Résumé de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes de valeur de logVSX pour l’effet du facteur \emptyset_{pup} et du facteur LC chez le groupe 2	76
Tableau 54. – Coefficients de corrélation intra classe (ICC) et intervalle de confiance (95%) pour deux observateurs en fonction du type de lentille (LC) et l’orientation du décentrement analysé	77
Tableau 55. – Statistiques descriptives concernant les valeurs de décentremments verticaux des lentilles sclérales.....	78
Tableau 56. – Statistiques descriptives concernant les valeurs de décentremments horizontaux des lentilles sclérales.....	78
Tableau 57. – Résumé des résultats de l’ANOVA à mesures répétées concernant les valeurs de décentremments verticaux et décentremments horizontaux des lentilles sclérales	78
Tableau 58. – Résumé de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes de valeur de décentremments verticaux pour l’effet lentille (LC).....	79
Tableau 59. – Résumé des effets statistiques concernant l’influence du \emptyset_{pup} sur l’augmentation de la valeur RMS absolue pour les différents coefficients de Zernike	86

Tableau 60. – Augmentation moyenne de la valeur RMS absolue en passant d'un \emptyset_{pup} de 3 mm à un \emptyset_{pup} de 6 mm. Les données sont classées en fonction du groupe, du coefficient de Zernike impliquée et du type de LC	87
Tableau 61. – Ratio d'augmentation des valeurs RMS des différents coefficients de Zernike en fonction du changement de diamètre pupillaire selon Yang et collab. (2003) ⁽⁸⁹⁾	88
Tableau 62. – Choix du profil d'asphéricité idéal pour réduire la valeur RMS des différents types d'AOS en fonction des résultats obtenus lors de cette expérience	104
Tableau 63. – Choix du profil d'asphéricité idéal permettant d'optimiser la performance visuelle selon les indices VSX et logVSX en fonction des résultats obtenus lors de cette expérience	104
Tableau 64. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS de trèfle Z_3^{-3} et Z_3^{+3} en fonction de type de LC et du \emptyset_{pup} pour le groupe 1	115
Tableau 65. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS de coma verticale Z_3^{-1} et horizontale Z_3^{+1} en fonction de type de LC et et du \emptyset_{pup} pour le groupe 1	116
Tableau 66. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS de tetrafoil Z_4^{-4} et horizontale Z_4^{+4} chez en fonction de type de LC et et du \emptyset_{pup} pour le groupe 1	117
Tableau 67. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS d'astigmatisme secondaire Z_4^{-2} et Z_4^{+2} en fonction de type de LC et et du \emptyset_{pup} pour le groupe 1	118
Tableau 68. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS aberration sphérique Z_4^0 à gauche et d'aberrations d'ordres supérieures totale (AOS totale) à droite en fonction de type de LC et et du \emptyset_{pup} pour le groupe 1	119
Tableau 69. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS de coma totale à gauche et trèfle totale à droite en fonction de type de LC et et du \emptyset_{pup} pour le groupe 1	120
Tableau 70. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS de trèfle Z_3^{-1} et horizontale Z_3^{+1} en fonction de type de LC et du \emptyset_{pup} pour le groupe 2	121
Tableau 71. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS de coma verticale Z_3^{-1} et horizontale Z_3^{+1} en fonction de type de LC et du \emptyset_{pup} pour le groupe 2	122
Tableau 72. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS de tetrafoil Z_4^{-4} et Z_4^{+4} chez en fonction de type de LC et du \emptyset_{pup} pour le groupe 2	123

Tableau 73. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS d’astigmatisme secondaire Z_4^{-2} et Z_4^{+2} en fonction de type de LC et du \emptyset_{pup} pour le groupe 2	124
Tableau 74. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS aberration sphérique Z_4^0 à gauche et d’aberrations d’ordres supérieures totale (AOS totale) à droite en fonction de type de LC et du \emptyset_{pup} pour le groupe 2	125
Tableau 75. – Statistiques descriptives concernant les valeurs valeurs de coma totale à gauche et trèfle totale à droite en fonction de type de LC et du \emptyset_{pup} pour le groupe 2.....	126
Tableau 76. – Statistiques descriptives concernant les valeurs de VSX à gauche et logVSX à droite en fonction de type de LC et du \emptyset_{pup} pour le groupe 1.....	127
Tableau 77. – Statistiques descriptives concernant les valeurs de VSX à gauche et logVSX à droite en fonction de type de LC et du \emptyset_{pup} pour le groupe 2.....	128

Liste des figures

Figure 1. – Représentation de la pyramide de Zernike du deuxième ordre au quatrième ordre. L'image à gauche représente le patron des aberrations (front d'onde) pour les différents coefficients de Zernike	5
Figure 2. – Valeurs RMS des différents types d'AOS en fonction du groupe lors du port d'une LC A à un diamètre pupillaire de 4 mm. Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type ...	26
Figure 3. – Valeurs moyennes d'acuité visuelle à haut contraste (\pm erreur type) en fonction du groupe et du type de lentille (LC).....	28
Figure 4. – Valeurs moyennes d'acuité visuelle à bas contraste (\pm erreur type) en fonction du groupe et le type de lentille (LC).....	29
Figure 5. – Amplitude de la coma verticale (Z_3^{-1}) en fonction du \emptyset_{pup} et du type de LC chez le groupe 1 (normal). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type	32
Figure 6. – Amplitude de la coma horizontale (Z_3^{+1}) en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type	35
Figure 7. – Amplitude du trèfle Z_3^{+3} en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal). Celle-ci est indiquée en valeur RMS \pm erreur type.....	37
Figure 8. – Amplitude de la tetrafoil Z_4^{-4} en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type	39
Figure 9. – Amplitude de l'aberration sphérique Z_4^0 en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez les participants normaux. Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type	40
Figure 10. – Amplitude de la tetrafoil Z_4^{+4} en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal). Celle-ci est indiquée en valeur RMS \pm erreur type.....	42
Figure 11. – Amplitude des AOS totales en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type	43
Figure 12. – Amplitude de coma totale en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type	46
Figure 13. – Amplitude de trèfle total en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type	49

Figure 14. – Amplitude de trèfle Z_3^{-3} en fonction du \emptyset_{pup} et du type de LC chez le groupe 2 (KC). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type	53
Figure 15. – Amplitude de la coma verticale (Z_3^{-1}) en fonction \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 2 (KC). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type	54
Figure 16. – Amplitude de la coma horizontale (Z_3^{+1}) en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 2 (KC). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type.....	57
Figure 17. – Amplitude de l’astigmatisme secondaire Z_4^{-2} en fonction du \emptyset_{pup} et le type de chez le groupe 2 (KC). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type.....	59
Figure 18. – Amplitude de l’aberration sphérique Z_4^0 en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 2 (KC). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type.....	61
Figure 19. – Amplitude des AOS totales en fonction du \emptyset_{pup} et le type de chez le groupe 2 (KC). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type	63
Figure 20. – Amplitude de la coma totale en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 2 (KC). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type.....	65
Figure 21. – Amplitude du trèfle total en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 2 (KC). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type.....	68
Figure 22. – Valeurs moyennes du ratio visuel de Strehl (VSX) (\pm erreur type) en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal).....	70
Figure 23. – Valeurs moyennes de logVSX (\pm erreur type) en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal)	73
Figure 24. – Valeurs moyennes du ratio visuel de Strehl (VSX) (\pm erreur type) en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 2 (KC)	75
Figure 25. – Valeurs moyennes de logVSX (\pm erreur type) en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 2 (KC).....	76

Liste des sigles et abréviations

ANOVA : analyse de la variance

AOI : aberrations d'ordres inférieurs

AOS : aberrations d'ordres supérieurs

ASA : asphéricité de la surface antérieure

ASP : asphéricité de la surface postérieure

AVBC : acuité visuelle de type logMAR à bas contraste

AVHC : acuité visuelle de type logMAR à haut contraste

CI : intervalle de confiance (confidence interval)

D : dioptries

e : valeur d'excentricité

ESP : profilomètre de la surface oculaire (Eye Surface Profilometer)

Inf : inférieur

KC : kératocône

ICC : corrélation intraclasse ou «intraclass correlation»

LC : lentille de contact

LCR PAG : lentilles cornéennes rigides perméables aux gaz à petit diamètre

LIO : lentille intraoculaire

logVSX : logarithme du ratio visuel de Strehl

Min : minimum

Max : maximum

mm : millimètre

NS : non significatif

P_{tukey} : Valeur P ajustée en fonction du critère d'ajustement de Tukey-Kramer

Q : valeur d'asphéricité

RMS : root-mean-squared (valeur moyenne quadratique)

SAG : sagittale de la lentille sclérale

SL : lentille sclérale (scleral lens)

Sup : supérieur

μm : microns

VSX : ratio visuel de Strehl

Z_2^0 : terme de Zernike correspondant à la défocalisation

Z_2^{-2} et Z_2^{+2} : termes de Zernike correspondant à l'astigmatisme primaire

Z_3^{-1} et Z_3^{+1} : terme de Zernike correspondant à la coma

Z_3^{-3} et Z_3^{+3} : terme de Zernike correspondant au trèfle

Z_4^{-2} et Z_4^{+2} : terme de Zernike correspondant à l'astigmatisme secondaire

Z_4^{-4} et Z_4^{+4} : terme de Zernike correspondant à la tetrafoil

\emptyset_{pup} : diamètre pupillaire analysé

Remerciements

Avant tout, je tiens à remercier Langis Michaud, directeur de recherche et professeur titulaire à l'École d'optométrie de l'Université de Montréal qui a su me guider et mettre à disposition les ressources nécessaires afin de me supporter dans la planification et la rédaction de ce travail de recherche. Malgré les embûches et les délais qui se sont accumulés lors de cette expérience, Langis a su guider mon travail de recherche tout en respectant mon rythme d'apprentissage et de rédaction.

Je tiens aussi à remercier l'équipe de chargé de clinique du département de lentilles cornéennes à la clinique universitaire de la vision qui ont chacun à leur manière, contribuer au recrutement ont contribué à cette expérience par leur avis ou leurs précieux conseils. Je tiens particulièrement à remercier Remy Marcotte-Collard et Daniel Brazeau qui ont contribué de manière essentielle à ce projet depuis le tout début. Grâce à leurs conseils et à leurs implications, nous avons pu mettre sur pied et compléter cet ambitieux projet.

Il est important de souligner la contribution de l'entreprise BlanchardLab, une division de Cooper Vision, qui a mis à disposition les ressources de leur laboratoire pour permettre la fabrication des lentilles diagnostiques sur mesure. Également, il importe de souligner la contribution financière de l'entreprise qui a permis à l'équipe de recherche d'obtenir le matériel nécessaire au déroulement de l'expérience.

Enfin, je souhaite remercier les membres de ma famille, ma femme Sabrina et mon garçon Marc-Aurèle, pour leur soutien tout au long de ce projet qui a nécessité beaucoup plus de temps et de ressources que nous l'avions prévu au départ.

Chapitre 1 - Revue de littérature sur les lentilles sclérales, ses applications et les aberrations d'ordres supérieurs

1.1 Introduction et définition d'une lentille sclérale

Une lentille de contact sclérale (SL) est une lentille rigide perméable au gaz à grand diamètre permettant la correction de différents types d'amétropies. Ces lentilles sont généralement utilisées pour la réadaptation de patient vivant avec divers types d'irrégularités cornéennes (kératocône, cicatrice cornéenne, greffe cornéenne). Cependant, elles peuvent aussi être utilisées pour le traitement de maladie de surface oculaire ou la correction de l'erreur de réfraction classique (myopie, astigmatisme, hypermétropie) lorsque les autres modalités de lentilles (lentilles cornéennes souples, lentilles cornéennes rigides à petit diamètre) ne peuvent être tolérées.

Le recours de plus en plus fréquent aux SL est rendu possible par l'amélioration des matériaux et des technologies de fabrications de lentilles de contact, ce qui permet aux fabricants d'augmenter la perméabilité à l'oxygène de celles-ci et de créer des designs plus avancés et complexes.⁽¹⁾

Les principes optiques d'une SL reposent sur différents éléments. Tout d'abord, la lentille elle-même comporte une courbure de base qui s'étend sur une zone optique qui varie entre 8 et 9 mm. Cette courbure de base est déterminée en fonction de l'erreur réfractive de l'œil à corriger et peut être modulée en fonction du dégagement souhaité par rapport à la cornée. En fonction de ces paramètres, l'optique de la SL se rapproche de celle d'une lentille cornéenne rigide à petit diamètre perméable au gaz (LCR PAG). Toutefois, contrairement à la LCR PAG, l'espace entre la SL et la cornée est comblé par une couche de fluide (réservoir lacrymal) dont l'épaisseur est d'au moins 150 à 200 μm . De même, l'épaisseur et la forme du réservoir lacrymal sont influencées autant par les courbures postérieures de la SL que par la relation entre la position du centre optique de celle-ci par rapport à l'axe visuel de la cornée (appelé décentrement). Ces facteurs influencent par le fait même le système optique produit par le complexe SL-œil. Parmi ces facteurs, l'épaisseur de la SL, d'au moins 300 μm , doit également être prise en compte. Enfin, il

ne faut pas négliger l'impact des changements d'indices de réfraction entre les différentes interfaces du système optique incluant:

- L'interface entre l'air et le film lacrymal
- L'interface entre le film lacrymal et la face avant de la lentille
- L'interface entre la face arrière de la lentille et la couche antérieure du réservoir lacrymal
- L'interface entre la couche postérieure du réservoir lacrymal et la cornée antérieure
- L'interface entre la cornée postérieure et l'humeur aqueuse.

Ces changements d'indices seront de première importance lors des discussions sur les aberrations optiques.⁽²⁾

Le système optique associé aux SL est donc complexe. Il n'est donc pas étonnant que, dans certains cas, certaines limitations nuisent à la performance visuelle et la qualité optique obtenue par le port de SL, notamment en raison de l'augmentation des aberrations optiques. Ces limitations pourraient devenir nuisibles au plan visuel.⁽³⁾

1.2 Concepts optiques en lien avec les aberrations oculaires

1.2.1 Astigmatisme irrégulier chez le patient atteint de kératocône

Le kératocône (KC) est une ectasie de la cornée qui survient en présence d'une anomalie des fibres de collagène du tissu cornéen. La biomécanique cornéenne des patients atteints de KC favorise l'apparition d'une déformation progressive de la cornée. Celle-ci est généralement bilatérale et asymétrique.^(4, 5) Cette déformation cornéenne associée à la présence d'un KC entraîne un astigmatisme irrégulier. L'astigmatisme irrégulier peut être décrit comme un état où la réfraction varie selon plusieurs différents méridiens sans respecter de plan géométrique ou plan de symétrie particulier. Au plan optique, la forme irrégulière de la cornée (antérieure et postérieure) associée au KC, de même que les tentatives d'adaptation du cristallin pour compenser ces anomalies contribueront à la création d'images floues et étirées: ces images sont caractérisées par la présence d'aberrations dites d'ordre supérieur (AOS).^(4, 6) Par contraste, un astigmatisme régulier correspond à un degré de réfraction qui varie en fonction de deux

méridiens positionnés de manière perpendiculaire par rapport à l'autre. La lumière entrant dans l'œil focalise ainsi à deux points focaux différents. Cet état réfractif respecte une certaine symétrie, suit un plan géométrique précis et peut être corrigé à l'aide de lunettes ou de lentilles cornéennes standards.⁽⁷⁾ A contrario, la correction de l'astigmatisme irrégulier requiert une compensation de la surface irrégulière de l'œil qui nécessite plutôt une correction à l'aide de lentilles de contact spécialisées, soit avec une LCR PAG (de forme standard ou hybride) ou en SL.^(4, 6)

1.2.2 Les différents types d'aberrations optiques

Au plan optique, une cornée irrégulière génère des effets qui nuisent à la vision. Au-delà de l'astigmatisme irrégulier, on dénote la présence d'aberrations optiques. Ces dernières sont caractérisées par une composante antérieure (cornée antérieure) et composante postérieure (optique interne comprenant la face postérieure de la cornée et le cristallin). En cherchant à maintenir un équilibre, la composante postérieure compenserait pour la présence d'AOS créées par la surface antérieure.^(8, 9) Ceci est d'autant vrai chez les personnes plus jeunes, sachant que le cristallin change sa compensation des aberrations et maintient moins efficacement cet équilibre avec l'âge.⁽¹⁰⁾

Les aberrations optiques sont décrites à l'aide de modèles mathématiques comme celui de l'équation de Zernike. Cette représentation peut contenir de nombreux termes (aussi appelés modes ou coefficients) qui déterminent le classement de ces aberrations. Les étages représentent les ordres et l'exposant représente la fréquence angulaire (orientation) du mode. Les deux premiers ordres (0 et 1) n'ont aucun impact sur la qualité de l'image. L'ordre 2 correspond aux aberrations reliées aux problèmes réfractifs courants comme la défocalisation: (Z_2^0) et l'astigmatisme (Z_2^{-2} / Z_2^{+2}). Les aberrations représentées par ces termes peuvent être corrigées à l'aide de lentilles ophtalmiques régulières et sont associées aux amétropies courantes : myopie, hypermétropie, astigmatisme, presbytie. Ces premiers ordres appartiennent aux aberrations d'ordres inférieurs (AOI). À l'inverse, le troisième, le quatrième et les ordres suivants représenteront les aberrations dites d'ordre supérieur (AOS). Ainsi, la coma (Z_3^{-1} / Z_3^{+1}) et le trèfle (Z_3^{-3} / Z_3^{+3}) sont représentés au troisième ordre de la pyramide tandis que l'aberration sphérique (Z_4^0) , l'astigmatisme secondaire (Z_4^{-2} / Z_4^{+2}) et la tétrofoil (Z_4^{-4} / Z_4^{+4}) sont représentés au

quatrième ordre de la pyramide.⁽¹¹⁾ Du point de vue de la performance visuelle, les termes les plus au centre de la pyramide, tel que l'aberration sphérique et la coma seront le plus nuisible pour la qualité de l'image. L'aberration sphérique positive est générée lorsque les rayons marginaux (périphériques) d'une lentille ou d'un système optique sont réfractés par une puissance plus positive que les rayons paraxiaux (centraux). Celle-ci est négative lorsque les rayons marginaux sont réfractés par une puissance plus négative que les rayons paraxiaux.⁽¹²⁾ Lorsque les rayons périphériques passant par une extrémité de la pupille sont à foyer à un point différent que les rayons de l'extrémité opposée, une aberration de type coma est produite. La présence de coma entraîne la perception d'une traînée prenant une forme similaire à une traînée de comète ou à une goutte d'eau.⁽¹³⁾ Cette coma est généralement produite par le décentrement d'une zone optique possédant une certaine amplitude d'aberration sphérique, comme dans le cas d'un décentrement de la zone de traitement lors d'une chirurgie réfractive au laser^{(14) (15) (16-18)} ou dans le cas du décentrement d'une ectasie cornéenne similaire à celui retrouvé chez les patients atteints de KC.^(19, 20) Ces aberrations contribuent à la dégradation de la qualité de l'image perçue et elles ne peuvent être corrigées par les méthodes classiques de correction visuelle. D'ailleurs, il existe d'autres niveaux d'aberrations, mais ceux qui sont supérieurs au quatrième ordre et ont un impact négligeable au niveau de la qualité optique perçue par l'être humain.⁽²¹⁾

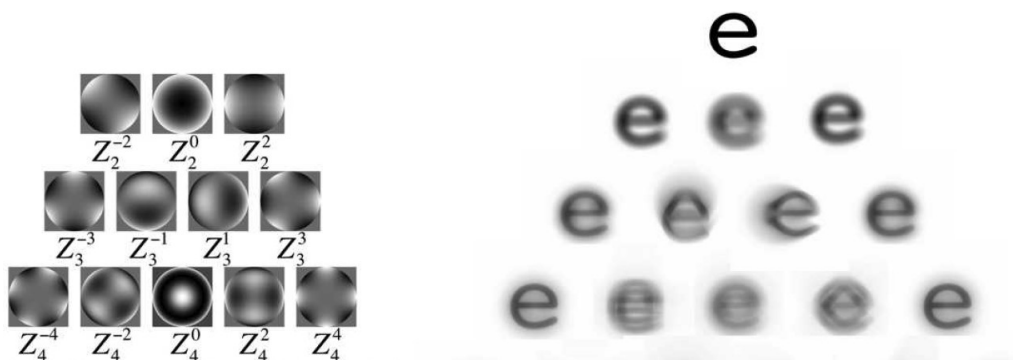
Un terme quantitatif collectif est utilisé pour représenter le niveau total des aberrations d'un œil. Il s'agit de l'erreur moyenne quadratique du front d'onde ou «root-mean-squared error» (RMS). Ce terme est défini comme la racine carrée de la moyenne des différences au carré entre l'erreur du front d'onde (aberration) en chaque point de la pupille, et l'erreur moyenne sur l'ensemble de la pupille pour tous les niveaux de Zernike. Concrètement, la valeur RMS du front d'onde décrit la différence entre le plan d'aberration généré par le système optique réel et le système optique théorique formé sans aberration. L'écart entre ce plan optique parfait et le plan « aberrant » est mesuré en microns. L'orientation de l'écart est décrite par un signe (positif ou négatif) et par le terme (par exemple, la coma en direction verticale Z_3^{-1} ou en direction horizontale Z_3^{+1}). La magnitude de cette aberration peut être décrite par la valeur RMS en microns.⁽²²⁾ Par ailleurs, ces écarts par rapport au plan optique idéal peuvent être représentés graphiquement : les couleurs chaudes sont associées à un front d'onde aberrant qui se trouve

devant le plan idéal, tandis qu'une couleur froide signifie que le front d'onde aberrant se trouve derrière le plan idéal.⁽²³⁾

Bien que la valeur de l'erreur RMS (en microns) du front d'onde permet une brève comparaison de la qualité optique de deux systèmes visuels différents, cette donnée comporte certaines limites. En fait, les différents termes d'aberrations n'impacteront pas la performance visuelle de la même manière pour une même valeur d'erreur RMS. À ce sujet, Applegate et collab. ont rapporté que les aberrations ayant une fréquence angulaire se rapprochant de zéro ont un impact plus important sur la qualité d'image en comparaison aux autres aberrations. Par exemple, pour le 3^e ordre, la coma (Z_3^{-1} et Z_3^{+1}) aura plus d'impact que le trèfle (Z_3^{-3} et Z_3^{+3}). Ensuite, pour le quatrième ordre, l'aberration sphérique (Z_4^0) aura plus d'impact que l'astigmatisme secondaire (Z_4^{-2} et Z_4^{+2}). L'astigmatisme secondaire aura, lui, plus d'impact que la tetrafoil (Z_4^{-4} et Z_4^{+4}).⁽²⁴⁾ Bien que la valeur RMS permet d'estimer l'amplitude des AOS, ce nombre ne permet pas de représenter l'effet réel des différentes aberrations sur la fonction d'étalement du point ou «*point-spread-function*» et n'est pas directement lié à la qualité de l'image rétinienne de l'œil considéré.⁽²⁵⁾

Figure 1. – Représentation de la pyramide de Zernike du deuxième ordre au quatrième ordre.

L'image à gauche représente le patron des aberrations (front d'onde) pour les différents coefficients de Zernike



L'image à droite représente l'impact visuel d'une valeur RMS de 0,6 μm pour les différents termes de Zernike. Illustration extraite de l'article de Young et collab. (2013)⁽¹¹⁾

1.2.3 Amplitudes des AOS chez une population normale

Les aberrations optiques, chez une population sans anomalie cornéenne, sont principalement d'ordres inférieurs. En effet, les AOS ne comptent que pour 10% des aberrations totales de l'œil. Néanmoins, les aberrations augmentent avec les années puisque le cristallin change de conformation. Par exemple, chez un sujet jeune, la cornée produira de l'aberration sphérique positive alors que le cristallin produira cette même aberration en direction plutôt négative. Avec le temps, la valeur totale de l'aberration sphérique du système migre vers le positif, ce qui tendrait à compenser la perte d'accommodation avec le temps. Ainsi, les AOS sont en général en équilibre dans le système visuel des sujets normaux. ^(26, 27)

À ce sujet, les causes sous-jacentes de la dégradation de la qualité de l'image rétinienne par les aberrations optiques dépendent de la nature de celles-ci, de ses interactions avec d'autres aberrations ainsi que de la composition du stimulus. Des études récentes révèlent que l'œil se recalibre rapidement à de nouveaux schémas d'astigmatisme ou d'AOS (induits ou corrigés), bien que la question de savoir si ces formes d'adaptation ont un impact à long terme sur la performance visuelle soit encore à l'étude. ^(28, 29) Jusqu'à présent, l'impact des aberrations oculaires peut fluctuer en fonction des caractéristiques individuelles des patients. Il faut prendre en compte, par exemple, l'impact de taille de la pupille et utilisation de l'accommodation par les jeunes patients sur la perception des aberrations. De plus, la mesure des aberrations est seulement une parmi plusieurs caractéristiques à considérer pour déterminer la performance visuelle. Finalement, il semble même que des mécanismes neuraux propres à chaque individu ont, eux aussi, un impact sur la performance visuelle. ⁽³⁰⁾

À des fins de références, le tableau suivant (tableau 1), tiré d'un article de Salmon et collab. (2006), est rapporté pour résumer les moyennes de RMS en fonction de l'ordre de Zernike chez une population normale. Il importe de noter que plus la pupille est grande, plus le montant d'aberration sera élevé. Considérant que 96% des valeurs normales se retrouvent à ± 2 écarts-types de la moyenne, il est supposé qu'une valeur RMS d'aberration (AOS totale) devient suspecte d'une anomalie dans le système visuel (pathologique ou non) à partir d'une valeur RMS d'une valeur RMS de 0,587 pour une pupille de 6 mm, 0,342 pour une pupille de 5 mm, 0,188 pour une

pupille de 4 mm et 0,087 pour une pupille de 3 mm. Il y a donc une grande corrélation entre la quantité d'aberrations cliniquement suspecte et le diamètre pupillaire ($r=0.98$).⁽³¹⁾

Tableau 1. – Amplitudes en valeur absolue des différents coefficients d'AOS chez une population normale selon l'étude de Salmon et collab. (2006). Celles-ci sont indiquées en valeurs RMS \pm écart type⁽³¹⁾

Coefficient de Zernike	Diamètre pupillaire (en mm)			
	6,0 N = 2205	5,0 N = 2560	4,0 N = 2560	3,0 N = 2560
Z_3^{-3}	0,106 \pm 0,088	0,069 \pm 0,056	0,040 \pm 0,033	0,019 \pm 0,016
Z_3^{-1}	0,143 \pm 0,118	0,082 \pm 0,069	0,045 \pm 0,038	0,021 \pm 0,018
Z_3^{+1}	0,090 \pm 0,076	0,056 \pm 0,047	0,033 \pm 0,027	0,015 \pm 0,013
Z_3^{+3}	0,081 \pm 0,066	0,052 \pm 0,043	0,030 \pm 0,026	0,014 \pm 0,013
Z_4^{-4}	0,038 \pm 0,033	0,023 \pm 0,020	0,012 \pm 0,011	0,005 \pm 0,004
Z_4^{-2}	0,027 \pm 0,023	0,017 \pm 0,015	0,009 \pm 0,008	0,003 \pm 0,003
Z_4^0	0,128 \pm 0,096	0,064 \pm 0,049	0,028 \pm 0,022	0,010 \pm 0,008
Z_4^{+2}	0,048 \pm 0,039	0,025 \pm 0,022	0,013 \pm 0,012	0,005 \pm 0,005
Z_4^{+4}	0,043 \pm 0,038	0,025 \pm 0,022	0,013 \pm 0,012	0,005 \pm 0,005
Z_3	0,251 \pm 0,123	0,153 \pm 0,075	0,087 \pm 0,043	0,041 \pm 0,021
Z_4	0,169 \pm 0,090	0,090 \pm 0,046	0,043 \pm 0,022	0,016 \pm 0,008
Z_5	0,067 \pm 0,034	0,030 \pm 0,016	0,010 \pm 0,005	0,002 \pm 0,001
AOS totale	0,327 \pm 0,130	0,186 \pm 0,078	0,100 \pm 0,044	0,045 \pm 0,021

Z_3^{-3} et Z_3^{+3} : Aberration de type trèfle ;
 Z_3^{-1} et Z_3^{+1} : aberration de type coma ;
 Z_4^{-4} et Z_4^{+4} : aberration de type tetrafoil ;
 Z_4^0 : aberration de type aberration sphérique ;
 Z_4^{-2} et Z_4^{+2} : aberration de type astigmatisme
secondaire

Z_3 , Z_4 et Z_5 : total des aberrations correspondant
respectivement au troisième, quatrième et
cinquième ordre de la pyramide
AOS : aberrations d'ordres supérieurs

1.2.4 Les AOS chez le patient atteint de kératocône

Comme mentionné précédemment, les AOS du système optique sont généralement en équilibre afin de réduire l'impact sur la fonction visuelle.⁽³²⁾ Or, dans le cas d'une personne atteinte de KC, cet équilibre est modifié : l'amincissement de la cornée provoque des changements marqués de la forme de la cornée augmentant considérablement la quantité d'AOS par rapport à un œil sans anomalie cornéenne.^(33, 34) Dans ce cas, les AOS provenant de la cornée antérieure augmentent à un point où les composantes internes ne peuvent plus les compenser.

Chen et collab.⁽⁸⁾ ont rapporté que les AOS de la cornée postérieure (optique interne) compenseraient en moyenne 22% des AOS de la cornée antérieure chez les KC avancés. Cette

compensation est de 24% chez les KC modérés et de 14% chez les KC légers. L'importance de cette compensation tend à augmenter avec la sévérité du KC. Plus spécifiquement, la valeur RMS de la coma postérieure était en moyenne de $(0,93 \pm 0,35)$ en cas de KC sévère, de $(0,46 \pm 0,23)$ chez les KC modérés, de $(0,12 \pm 0,06)$ chez les KC légers et de $(0,09 \pm 0,06)$ chez les cornées saines. La cornée postérieure neutralise aussi l'astigmatisme antérieur à différents niveaux : celle-ci est en moyenne de 19% pour le KC sévère, 20% pour les KC modérées, 17% pour les KC légers et 21% pour les cornées saines. Cette compensation effectuée par la cornée postérieure devra être prise en compte lorsqu'une correction des AOS est tentée à l'aide de lentilles rigides puisque l'équilibre antérieur/postérieur est affecté par l'effet de compensation des lentilles sur la surface antérieure.

Chez le patient atteint de KC, le déséquilibre antérieur/postérieur entraîne une réduction de l'acuité visuelle corrigée.⁽³⁵⁾ Plus le stade de la pathologie est avancé, plus le montant d'AOS sera élevé.⁽³⁶⁾ De façon plus spécifique, la « coma » domine par rapport aux autres types d'AOS.⁽³⁷⁾

Cette dominance de la coma s'explique par le décentrement inférieur de l'apex de l'ectasie cornéenne (kératocône) par rapport à l'axe pupillaire. Maeda et collab. (2002) ont rapporté que la coma tend à être de 2,32 fois plus élevée que les aberrations sphériques chez les personnes atteintes de KC.^(19, 20) Dans l'étude de Okamoto et collab. (2008), les AOS de 3^e ordre (coma) sont 6,29 fois plus élevées chez les participants KC que le groupe sain. Ces AOS de 3^e ordre seraient 3,25 fois plus élevés que les AOS de 4^e ordre chez le participant atteint de KC.⁽²⁰⁾ Outre la coma, la cornée d'un patient atteint de KC se caractérise par la présence de trèfle et la cambrure du cône induit des aberrations sphériques importantes.⁽³⁴⁾

1.2.5 Impact visuel des AOS

Il est reconnu qu'une augmentation des AOS peut être associée à une dégradation de la qualité de l'image.⁽³⁸⁾ Tout d'abord, la présence d'AOS non corrigés peut mener à la perception de halos et d'éclat d'étoiles (*starburst*), une augmentation de l'éblouissement, et de diplopie monoculaire. Ensuite, la présence de coma est généralement associée à une perception de diplopie monoculaire ou d'image fantôme, tandis que l'aberration sphérique est plutôt associée à des symptômes de halos et d'éblouissement.⁽³⁹⁾ De plus, ces AOS tendent à diminuer l'acuité visuelle à bas contraste et la sensibilité aux contrastes. Pour certains patients, l'acuité visuelle à haut contraste peut, elle aussi, être impactée. Dans ces circonstances, la correction des AOS

permet, de manière relative à chaque patient, une amélioration de l'acuité visuelle à haut contraste et à bas contraste et une amélioration de la sensibilité au contraste. ^(40, 41)

Différentes études ont cherché à qualifier l'impact des AOS sur la dégradation de la qualité de l'image. Parmi les études à souligner, il faut prendre en compte celle de Legras et collab. (2004) qui ont évalué quelle est la plus petite différence d'aberration détectable par trois différents observateurs pour différents types d'aberrations, dont l'aberration sphérique, la défocalisation et l'astigmatisme pour une pupille ayant un diamètre de 6 mm. Ceux-ci ont rapporté qu'un changement de valeur RMS de 0,039 μm d'aberration sphérique peut entraîner une perception de dégradation de l'image. ⁽⁴²⁾

Parallèlement, Applegate et collab. (2002) ont remarqué par simulation sur une échelle d'acuité de type logMAR incorporant la présence d'aberration optique que les différents types d'AOS n'auront pas le même impact sur l'acuité visuelle. Les coefficients au centre de la pyramide tendent à affecter plus rapidement l'acuité visuelle des patients : la coma (Z_3^{-1} et Z_3^{+1}) est plus dérangeante que le trèfle (Z_3^{-3} et Z_3^{+3}). L'aberration sphérique (Z_4^0) et l'astigmatisme secondaire (Z_4^{-2} et Z_4^{+2}) sont plus dérangeants que la tetafoil (Z_4^{-4} et Z_4^{+4}). ⁽²⁴⁾

D'autre part, Wang et collab. (2011) ⁽⁴³⁾ rapportent une corrélation entre l'acuité visuelle à bas contraste et la quantité d'aberrations sphérique chez l'œil myope : ce type d'acuité visuelle tend à diminuer avec l'augmentation de l'aberration sphérique. Ils retrouvent peu de corrélation entre l'AV à bas contraste et les autres types d'AOS, tels que la coma, chez l'œil myope. ⁽⁴³⁾ D'un autre point de vue, Okamoto et collab. (2008) a comparé l'effet des AOS sur la sensibilité au contraste chez les KC et les yeux sains. Auprès des yeux KC, une corrélation est présente entre le niveau de AOS (3^e ordre $r = 0,736$ / 4^e ordre $r = 0,464$) et la sensibilité au contraste. Cette corrélation est plus marquée lorsqu'on considère les AOS de 3^e ordre (coma) que les AOS de 4^e ordre (aberration sphérique). Cette corrélation est nettement moins élevée auprès des yeux normaux, ceux-ci ayant généralement une sensibilité au contraste plus élevée que les participants KC. ⁽²⁰⁾

Puisque les AOS peuvent exercer une influence sur plusieurs aspects de la performance visuelle, celles-ci doivent être prises en considération dans la correction optique de type lentilles cornéennes chez les participants atteints de KC.

1.2.6 Ratio visuel de Strehl

À première vue, la valeur de l'erreur RMS (en microns) du front d'onde permet une brève comparaison de la performance visuelle de différents systèmes optiques. En revanche, cette donnée ne permet pas de représenter l'effet réel des différentes aberrations et ne tient pas compte de l'interaction entre les différents types d'aberrations sur la fonction d'étalement du point (*point-spread-function*).⁽³⁰⁾ Par conséquent, même si l'augmentation de la valeur RMS des différents coefficients de Zernike est habituellement associée à une diminution de la performance visuelle, celle-ci n'est pas directement liée à la qualité de l'image rétinienne de l'œil considéré.⁽²⁵⁾

Pour tenir compte de cet aspect, l'indice du ratio visuel de Strehl (VSX) a été développé pour évaluer la performance optique d'un système visuel. Ce ratio compare le pic de la fonction d'étalement du point d'un système visuel réel à celui d'un système visuel fictif sans aberrations oculaires. Plus précisément, cet indice est le ratio de la valeur de la fonction de transfert optique (OTF) prenant compte de la sensibilité au contraste (VSOTF) d'un système optique réel divisé par la valeur OTF d'un système avec diffraction optique limitée.⁽⁴⁴⁾ Plus la valeur de ce ratio se rapproche de 1, plus le système visuel serait performant. De plus, son logarithme ($\log VSX$) a démontré un haut niveau de corrélation avec l'AVHC, ce qui suggère que cette donnée pourrait prédire la performance d'un système visuel. Dans le cas de $\log VSX$, les valeurs se rapprochant le plus de zéro seraient associées à une meilleure performance du système visuel.^(45, 46)

En résumé, ce ratio permet, dans une expérience comme celle présentée aujourd'hui, une estimation rapide de la qualité optique fournie par une SL pour les différents profils d'asphéricité et les différents diamètres pupillaires analysés. C'est pourquoi cette donnée a été prise en compte dans cette expérience. Toutefois, malgré ces bénéfices, il faut prendre en compte que le ratio VSX comporte certaines limites en termes de sa précision puisque le prisme résiduel présent dans la mesure des aberrations oculaires peut influencer et biaiser la mesure de VSX obtenue.⁽⁴⁷⁾

1.3 L'impact des lentilles cornéennes sur les AOS

1.3.1 Impact des différents types de corrections ophtalmiques

Les différentes méthodes de correction ophtalmiques influencent la correction et donc la perception des AOI et des AOS. Les lunettes et les lentilles souples classiques permettent la correction de l'embrouillement (ou défocalisation) et de l'astigmatisme : ces deux termes correspondent aux AOI (ordre 2). Or, ces méthodes traditionnelles n'ont pas d'impact significatif sur la correction des AOS. Néanmoins, dans le cas des lentilles souples multifocales, de l'aberration sphérique peut être générée. De même, un décentrement de ces lentilles souples multifocales peut produire une certaine quantité de coma.⁽⁴⁸⁾

L'utilisation de lentilles cornéennes souples sur mesure avec correction des AOS a été rapportée par des études passées : le port de celle-ci a permis une diminution des aberrations générées par le KC.⁽⁴⁹⁾ Par contre, le mouvement de la lentille cornéenne souple (translation de la lentille par un mouvement de haut en bas / rotation de la lentille au clignement) limite généralement l'efficacité de ce produit quant à l'amélioration de la qualité visuelle, la correction devenant instable.⁽⁵⁰⁾

Il est reconnu que les LCR PAG neutralisent la majorité de l'astigmatisme cornéen antérieur (régulier) grâce au réservoir lacrymal généré par l'espace entre la lentille et l'œil. Le même principe s'applique quant à l'astigmatisme irrégulier engendré par une déformation ou une ectasie cornéenne tel que le KC.⁽⁵¹⁾ Ces lentilles agissent en remplaçant la surface cornéenne irrégulière par une surface réfractive régulière (lentille) et grâce à la présence de la lentille lacrymale, constituée par l'espace situé entre la face postérieure de la lentille et la cornée antérieure. Cette correction par la lentille lacrymale n'existe pas en lentilles cornéennes souples (espace trop restreint pour créer une lentille lacrymale ayant une épaisseur significative) ou lorsque la personne est corrigée en lunettes. Ainsi, les LCR PAG et les SL permettent d'obtenir une meilleure correction de l'astigmatisme cornéen irrégulier et des AOS associées, ce qui permet alors une meilleure performance visuelle chez les personnes atteintes de KC. ^(50, 52-54)

S'il est vrai que l'astigmatisme de la cornée est bien compensé en LCR PAG ou en SL, il est possible que certains niveaux d'AOS demeurent. À vrai dire, le port de ces lentilles ne modifie pas les AOS engendrées par une surface irrégulière en cornée postérieure, comme dans le cas du KC,

ou encore celles provenant du cristallin.⁽⁸⁾ Il faut ajouter, dans le cas des SL, que l'effet du changement des indices de réfraction entre les surfaces (air, larmes, lentilles, réservoir de larmes, cornée, humeur aqueuse, cristallin) peut influencer lui aussi le profil des AOS résiduelles.⁽²⁾ Par conséquent, la perception des aberrations peut être alors modifiée, notamment si la lentille portée est décentrée.

1.3.2 Survol des limites de la correction des AOS par les LCR PAG et les SL

D'autres facteurs tendent à limiter l'amélioration de la qualité optique des différentes modalités de correction. À cet égard, certains patients ayant un diagnostic de KC rapportent une qualité optique plus faible lors du port de SL en comparaison aux LCR PAG. Par exemple, Pullum et collab. (1997) ont remarqué cet aspect lors d'une étude rétrospective sur 530 participants ayant effectué un passage entre les LCR PAG et les SL où certains observateurs critiques remarquaient une vision plus faible en SL. Les auteurs attribuent cette différence de vision subjective à l'aplatissement du cône par la LCR PAG (selon la méthode d'adaptation de l'époque). Cet aplatissement ne survient pas en SL.⁽⁵⁵⁾ De même, le groupe de Jinabhai et collab. (2010) a rapporté un cas où l'aplatissement cornéen par le port de la LCR PAG procure une amélioration de la performance visuelle et une réduction de l'AOS de troisième et quatrième ordre chez un participant atteint de KC. L'amélioration de l'acuité visuelle est liée à cette réduction de l'AOS.⁽⁵⁶⁾ Enfin, il est nécessaire de rappeler qu'un porteur de LCR PAG n'ayant pas d'anomalie cornéenne obtient généralement une meilleure performance visuelle qu'un porteur atteint de KC. Cette différence de performance est généralement reliée aux AOS résiduelles de la cornée postérieure et du cristallin.⁽⁵⁷⁾

Comme mentionné plus tôt, la surface cornéenne postérieure tend à compenser les aberrations de la surface cornéenne antérieure. Dans cette situation, les lentilles rigides (LCR PAG ou SL) ne peuvent corriger l'entière des AOS : un montant résiduel d'astigmatisme et d'AOS provenant des composantes internes de l'œil demeure présent et significatif malgré la correction de la portion antérieure par une lentille rigide.⁽⁸⁾ Ces AOS résiduelles provenant de l'optique interne de l'œil en combinaison avec celles produites par le décentrement de la lentille rigide pourraient expliquer la plus faible performance visuelle des participants atteints de KC par rapport à un participant sans anomalie cornéenne malgré le port de lentilles rigides.

L'impact du décentrement en SL

Tout d'abord, les données rapportées à ce jour soulignent que SL tendent à se décentrer en position inférieure et temporale.⁽⁵⁸⁻⁶⁰⁾ De plus, il est présumé que le décentrement de la SL serait influencé par la tension palpébrale, la masse de la lentille et par un appui périphérique inadéquat en fonction de la toricité de la sclère.⁽⁶¹⁾ Par le fait même, l'axe optique de la SL ne correspond plus à l'axe visuel de l'œil. Cet élément doit être pris en compte, puisqu'un décentrement ou une inclinaison d'une lentille rigide tend à induire de l'astigmatisme résiduel et une augmentation des AOS qui ne peuvent être compensées par le réservoir lacrymal.

À ce sujet, Atchison et collab. (1995) ont évalué l'impact théorique du décentrement d'une LCR PAG asphérique lorsque celle-ci est posée sur une cornée sphérique. Ceux-ci ont rapporté que le décentrement entraîne une augmentation de la coma et de l'astigmatisme secondaire. Cette augmentation était plus importante lorsque l'analyse était effectuée sur une lentille asphérique qu'une lentille sphérique.⁽⁶²⁾ Il faut cependant considérer que l'étude prenait en compte une cornée théoriquement sphérique, alors que celle-ci est en réalité asphérique. Ce détail pourrait influencer la validité de ces calculs théoriques. À ce jour, les études publiées n'ont pas évalué l'impact du décentrement des SL sur les AOS. Toutefois, les informations publiées sur les LCR PAG suggèrent que l'impact du décentrement de la SL devrait être pris en considération lors de l'analyse de l'influence de l'asphéricité sur les AOS.

Les AOS perçues en tant qu'astigmatisme résiduel

Certains porteurs de SL peuvent avoir une certaine quantité d'astigmatisme réfractif résiduel pendant le port de SL.⁽⁵¹⁾ Plusieurs causes peuvent être à l'origine de cet astigmatisme résiduel: celui-ci peut être généré par l'optique interne de l'œil (cornée postérieure, cristallin), par une flexion⁽⁶³⁾, par un décentrement (réservoir de larmes devient non uniforme) ou une inclinaison de la lentille.^(3, 64)

Certains auteurs envisagent que la présence d'aberration de type coma pourrait être perçue lors de la réfraction comme de l'astigmatisme résiduel. À ce sujet, Wang et collab. (2019) ont relevé une corrélation entre la quantité de coma après une chirurgie de la cataracte et la quantité d'astigmatisme résiduel, suggérant que, dans certains cas, l'astigmatisme résiduel pourrait être simplement induit par des aberrations non corrigées. Ainsi, des AOS de type coma

orientées à l'axe vertical pourrait être perçues comme une augmentation de l'astigmatisme contre-la-règle.⁽⁶⁵⁾ Zhou et collab. (2016) rapportent, eux aussi, cet aspect dans leur analyse. Ils expliquent que l'astigmatisme réfractif est la somme de deux vecteurs : le premier vecteur correspond à l'astigmatisme réfractif réel, tandis que le deuxième provient des AOS de style coma perçues comme de l'astigmatisme lors de la réfraction subjective.⁽⁶⁶⁾

1.4 Pistes de solutions pour optimiser la qualité optique d'une lentille sclérale

1.4.1 Amélioration de la centration d'une lentille à l'aide de périphérie torique ou par périphérie ajustée quadrant

Considérant que le décentrement d'une SL pourrait influencer la qualité optique, l'astigmatisme résiduel et potentiellement le profil d'AOS, il importe de tenter de maintenir un ajustement centré afin d'aligner l'axe optique de la SL avec l'axe visuel.^(3, 67) L'amélioration de la relation entre la lentille et la surface de la sclère à l'aide de périphéries toriques, spécifiques par quadrant ou sur-mesure peut favoriser un meilleur centrage de la SL. La réduction de la masse de la lentille pourrait en théorie favoriser la centration verticale, la lentille étant moins sujette à la gravité. De cette manière, l'impact de ce décentrement sur la performance visuelle et sur les AOS serait réduit.^(3, 67)

1.4.2 Utilisation d'optique décentrée

Dans les cas où la SL demeure décentrée malgré un ajustement optimal, l'utilisation d'optique décentrée permettrait d'aligner l'axe optique de la lentille et l'axe visuel de l'œil.⁽³⁾ Cette option proposée par différents manufacturiers a été utilisée dans certains cas de SL de type simple vision ou multifocale afin de réduire la quantité d'AOS produite par le décentrement de celles-ci.⁽⁶⁸⁾

1.4.3 Utilisation d'une surface avant torique

L'utilisation d'une surface avant torique permet de corriger un astigmatisme résiduel, c'est-à-dire un astigmatisme réfractif qui n'est pas compensé par le réservoir lacrymal et les courbures internes de la lentille. Lors de l'utilisation d'une surface avant torique, les SL doivent être stabilisées soit par un mécanisme de périphérie torique/sur-mesure, par un mécanisme de prisme ballast dans la portion inférieure ou par un contrôle des épaisseurs de la lentille. Il faut noter que cette option ne corrige pas les AOS résiduelles produites par la cornée postérieure ou celles produites par un décentrement de la SL.

1.4.4 Correction du patron d'aberration (front d'onde) à l'aide de lentilles sclérales

La correction du front d'onde sur mesure à l'aide de SL a été étudiée au cours des dernières années afin de réduire la quantité d'AOS résiduelle et, ainsi, optimiser la performance visuelle des porteurs de SL. Au départ, Marsack et collab. (2006) ont suggéré qu'une correction des aberrations oculaire du 3^e au 5^e ordre du polynôme de Zernike permettrait d'avoir la meilleure amélioration visuelle considérant les limitations des SL.^(21, 50) D'un point de vue pratique, la correction de ces AOS à l'aide de SL effectuant la correction du front d'onde sur mesure a permis une amélioration moyenne de l'acuité visuelle à haut contraste d'environ 1,9 ligne et a amélioré la sensibilité au contraste des participants auprès de la cohorte de Sabesan et collab. (2013).⁽²⁾ Marsack, lors d'une étude de 2014, a observé de son côté une réduction de l'AOS total de l'œil et une amélioration moyenne de l'acuité visuelle à haut contraste de 1,5 ligne chez des participants atteints d'ectasie cornéenne. Or, il rapporte que 3 participants sur 14 ont eu une augmentation du montant des AOS dû à un décentrement de l'optique des lentilles avec l'œil ou l'instabilité de la lentille (rotation).⁽⁶⁹⁾ Ces études soulignent l'impact positif amené par la réduction de la quantité d'AOS résiduelle afin d'améliorer la qualité optique d'une SL.

1.5 L'impact de l'asphéricité sur la qualité optique d'une lentille sclérale et les aberrations

1.5.1 Définition de l'asphéricité

L'asphéricité décrit la variation du rayon de courbure entre le centre et la périphérie d'une surface optique. Selon les publications, la forme de la cornée ou d'une surface optique peut être caractérisée autant par le terme asphéricité (valeur « Q ») que par son équivalent, l'excentricité (valeur « e »). L'équation suivante permet de faire la conversion entre la valeur d'asphéricité Q ou la valeur d'excentricité : $e = \sqrt{-Q}$. Il est connu que la cornée possède un certain profil d'asphéricité.^(70, 71) La face antérieure de la cornée possède un profil d'asphéricité prolate (asphéricité positive : augmentation du rayon de courbure cornéen en s'éloignant vers la périphérie). Cette asphéricité de la face antérieure de la cornée permet de réduire la quantité d'aberrations sphériques de l'œil d'environ la moitié en comparaison à une cornée plutôt sphérique ou oblate. Inversement, une cornée plutôt oblate (asphéricité négative : diminution du rayon de courbure cornéen plus le point mesuré s'éloigne vers la périphérie) aurait tendance à créer une augmentation des aberrations sphériques positives^(70, 71), ce qui peut expliquer une perte de qualité de vision chez certains participants ayant subi une chirurgie réfractive au laser.⁽⁷⁰⁾ L'excentricité (e) cornéenne d'une personne normale varie généralement de e = 0,40 à 0,60, celle-ci diminuant avec l'âge.⁽⁷²⁾ Le patient atteint de KC aura généralement une asphéricité de type e beaucoup plus élevé, la forme de l'œil étant plus prolate. Plus le KC est sévère, plus la valeur e tend à être élevée. À ce propos, Pinero et collab. (2010) ont rapporté une valeur moyenne d'asphéricité Q/e de Q = -0,29 ± 0,09 / e = 0,54 chez un groupe témoin correspondant à la population normale, de Q = -0,33 ± 0,23 / e = 0,57 pour le groupe de KC sous-clinique, de Q = -0,65 ± 0,27 / e = 0,81 pour le groupe atteint de KC de grade 1 et de Q = -1,18 ± 0,32 / e = 1,09 pour le groupe atteint de KC de grade 2.⁽⁷³⁾

1.5.2 Lien entre l'asphéricité d'un plan optique, la centration de celui-ci et les aberrations oculaires

Calossi et collab. (2007) ont modélisé l'impact de la modification de l'asphéricité de la cornée antérieure sur l'aberration sphérique à l'aide de tracé des rayons en appliquant la loi de réfraction de Snell. Ceux-ci ont comparé le tracé des rayons périphériques passant par le bord de la pupille (rayons marginaux) aux rayons passant par l'axe optique (rayons paraxiaux) pour calculer l'aberration sphérique longitudinale théorique. Les calculs de Calossi ont mené aux mesures décrites ci-dessous.

Ainsi, selon les calculs de Calossi, chez une cornée ayant un indice de réfraction de $n = 1,376$, sans asphéricité intégrée ($e = 0$), on peut s'attendre à détecter de l'aberration sphérique longitudinale négative (environ $-0,48$ avec une pupille de 5 mm). Avec une asphéricité de $e = 0,45$, une aberration sphérique longitudinale positive ($+0,84$ à 5 mm) serait plutôt mesurée. Une asphéricité de $e = 0,71$, elle, entraînerait une très faible aberration sphérique longitudinale positive ($+0,07$ à 5 mm).⁽⁷¹⁾

D'un point de vue de la science clinique appliquée, de nombreuses études sur l'impact des aberrations oculaires sur la vision ont été effectuées dans le domaine de la chirurgie réfractive. Il est connu que la modification de la forme cornéenne par la chirurgie laser entraîne une augmentation significative de la coma et de l'aberration sphérique positive.^(16, 74) L'aberration sphérique dans les cas de chirurgie réfractive est générée par la modification de l'asphéricité cornéenne. Dans ce cas, la cornée passe d'une forme prolate (asphéricité positive) à une forme oblate (asphéricité négative). La coma, elle, est générée par un décentrement du volet cornéen (appelée communément flap cornéen) ou un décentrement de l'axe pupillaire par rapport à l'axe visuel. Même un décentrement de la zone de traitement aussi faible que 0,2 mm peut avoir un impact significatif sur quantité d'aberrations de style coma.⁽¹⁵⁻¹⁸⁾ Dans un autre ordre d'idée, les fabricants de lentilles intraoculaires (LIO) ont proposé, quant à eux, d'utiliser une lentille prolate (générant une plus grande quantité d'aberrations sphériques négatives) afin de compenser l'aberration sphérique positive de la cornée. Ainsi, l'aberration sphérique positive était réduite chez les participants ayant une LIO asphérique en comparaison à ceux ayant une LIO sphérique.⁽⁷⁵⁾
⁷⁶⁾ Cependant, de nombreuses études ont rapporté que le décentrement d'une LIO asphérique

peut, comme dans le cas d'un volet cornéen décentré, générer une certaine quantité de coma. (77, 78) Cette quantité de coma augmente avec une augmentation du décentrement de la LIO. Théoriquement, en présence d'un décentrement important, les LIO présentant un profil d'aberration sphérique neutre (LIO ayant un profil d'asphéricité ne générant pas d'aberration sphérique) permettront d'obtenir une meilleure performance visuelle que les LIO sphérique ou les LIO asphériques réduisant l'aberration sphérique inhérente à l'œil. (79, 80) Bien que les systèmes optiques décrits ci-haut diffèrent de celui d'une SL, il est attendu que la modification du profil d'asphéricité d'un plan optique peut influencer la quantité d'aberrations sphériques générées. De même, il importe de noter que le décentrement d'un plan asphérique générant de l'aberration sphérique peut entraîner une augmentation de la quantité de coma.

1.5.3 Asphéricité antérieure optimale théorique d'une lentille sclérale

Compte tenu des données présentées ci-haut, on peut supposer que la modification de l'asphéricité de la courbure antérieure pourrait exercer une influence sur la quantité d'aberrations sphériques (et autres types de AOS si la lentille n'est pas parfaitement centrée). Certains rapports de cas suggèrent qu'une asphéricité supérieure à 0.4, mais inférieure à 0.8, sur la surface antérieure, pourrait réduire la quantité d'aberrations sphériques à un minimum. (54, 81, 82) De plus, le fait de recourir à des périphéries toriques – ou alignées par quadrant- permettrait de limiter l'influence du décentrement de la lentille sur la quantité de la coma générée. Selon notre hypothèse, il serait préférable de limiter les aberrations sphériques et la coma. En évaluant la performance optique de SL ayant des valeurs d'asphéricité « e » se rapprochant de celles citées ci-haut, il sera possible d'évaluer l'impact de l'asphéricité sur le profil d'aberration totale et la performance visuelle pendant le port de la lentille. Les données de l'étude de Calossi et collab. (2007) peuvent être utilisées afin d'estimer l'effet d'un changement d'asphéricité sur la quantité d'aberrations sphériques générée par une SL. Ainsi, en se basant sur ces données, on peut présumer qu'une SL bien centrée avec l'axe visuel du patient et ayant un indice de réfraction se rapprochant de celui de la cornée aura la plus faible quantité d'aberrations sphériques en se rapprochant le plus d'une valeur d'excentricité $e = 0,71$. Pour ce qui est des excentricités de $e = 0$ et de $e = 0,4$, la modification de l'aberration sphérique en combinaison avec le décentrement de la SL pourrait entraîner une augmentation ou une diminution de la coma selon le décentrement

de la SL. Il faut comprendre que le modèle théorique de Calossi ne représente pas parfaitement la réalité du port d'une SL, puisque l'indice de réfraction de celle-ci varie en fonction du matériau de fabrication de celle-ci et que le profil d'AOS mesuré sera affecté par le décentrement de la zone optique. De plus, cette analyse ne prend pas en compte l'impact de l'aberration sphérique provenant des composantes internes de l'œil (cornée postérieure et cristallin). L'équipe de recherche tente par cette étude d'obtenir de l'information sur l'utilisation de ces différents profils d'asphéricité sur le profil d'AOS mesuré lors du port de SL.

1.5.4 Application de l'asphéricité antérieure sur des lentilles rigides et sclérales

Bien que peu d'études aient évalué l'impact de l'asphéricité antérieure d'une lentille rigide sur la performance visuelle, certains auteurs ont rapporté des modifications de la performance visuelle lors de l'utilisation de lentilles asphériques. Tout d'abord, l'équipe de Kern et collab. (1974) a évalué l'impact sur la vision de l'asphéricité de surface antérieure chez participants ayant un astigmatisme résiduel de 0,50D à 1,25D pendant le port conventionnel de LCR PAG. Celui-ci a comparé la vision lors du port d'une lentille sphérique ou asphérique et a remarqué une amélioration de l'acuité visuelle de 6/6 à 6/3,8 chez les jeunes myopes sans pathologie oculaire. Les chercheurs n'ont pas trouvé de changement au niveau de l'astigmatisme résiduel, mais suggèrent que l'amélioration de l'acuité visuelle proviendrait d'une réduction de l'aberration sphérique.⁽⁸³⁾

Ensuite, l'équipe de Gumus et collab. (2011) ont utilisé des SL ayant des excentricités de valeur 0,3, 0,6 et 0,8 afin de tenter d'améliorer l'acuité visuelle et de réduire la quantité d'aberrations sphériques chez des participants ayant une déformation cornéenne. Ceux-ci ont remarqué que la correction des aberrations sphériques était meilleure chez les participants portant une SL ayant une excentricité (réduction de 86%) en comparaison aux SL sans excentricité (réduction des aberrations de 66%), sans toutefois obtenir une différence statistiquement significative.⁽⁵⁴⁾ L'absence de signifiante statistique pourrait être causée par un faible nombre de participants à l'étude.

Un peu plus tard, l'équipe de Hussoin et collab. (2012) ont eux aussi remarqué que l'utilisation de l'asphéricité permettait une amélioration de la qualité visuelle. Ils ont rapporté une amélioration de l'acuité (Snellen, acuité visuelle haut contraste et acuité visuelle bas

contraste) à l'aide d'asphéricité de valeur 0,6 à 0,8 chez des cas ayant des ectasies cornéennes significatives. Ceux-ci rapportent aussi l'impact de cette asphéricité sur la réduction des AOS. Cette réduction était plus marquée au niveau de la coma. Or, l'asphéricité optimale pour permettre une amélioration de l'acuité visuelle varie selon le participant.^(3, 81) Il faut noter que cette étude démontre un résultat non statistiquement significatif, considérant que l'échantillon demeure petit (n = 5). Sur le même sujet, un rapport de cas de Jagadeesh et collab. (2014) signale lui aussi l'impact de l'asphéricité de la surface antérieure sur la qualité visuelle pour l'un de ces cas. Il rapporte lui aussi une amélioration de l'AV optimale avec une asphéricité de la surface antérieure de 0.6.⁽⁸²⁾

Enfin, l'équipe de Gemoules et collab. (2007) a rapporté une réduction de 82% de l'aberration sphérique positive et une réduction de 65% des AOS (tous types confondus) chez certains participants symptomatiques après une chirurgie réfractive lors du port de SL. L'effet de réduction était directement relié à l'amplitude des AOS présentes préalablement au port des SL. Les participants ayant des aberrations plus importantes démontrant les plus grandes améliorations. Les auteurs suggèrent à la suite de l'analyse de ses données qu'une optique asphérique pourrait avoir un impact sur la capacité à réduire les aberrations sphériques positive ou négative sans élaborer cette théorie avec beaucoup de détail. De plus, les auteurs suggèrent que l'interface cornée-lentille doit être prise en compte, celle-ci pouvant influencer le coma résiduel, sans mentionner de détails supplémentaires à cet égard.⁽⁸⁴⁾

Plusieurs hypothèses ont été émises afin d'expliquer comment l'asphéricité optique antérieure pourrait améliorer la vision dans les cas d'ectasies cornéennes. Une première hypothèse suggère que l'asphéricité pourrait compenser les aberrations associées à la cornée postérieure. De plus, cette asphéricité pourrait jouer un rôle au niveau du désalignement des axes optiques de l'œil et de la zone optique de la lentille. Or, aucune de ces hypothèses n'a été testée, à ce jour.⁽⁸¹⁾

1.5.5 Impact de l'asphéricité postérieure

Aucune étude à ce jour n'a évalué l'impact optique de l'application d'une asphéricité sur la face arrière d'une SL. Certaines compagnies mentionnent avoir intégré une asphéricité postérieure afin de respecter la logique appliquée avec des lentilles ayant une surface arrière asphérique, telle que la Boston Envision. Dans ce dernier cas, l'asphéricité postérieure visait davantage à correspondre au profil cornéen afin d'améliorer le confort et la centration de la lentille que d'améliorer la qualité visuelle du sujet.⁽⁸⁵⁾ Cette approche ne peut évidemment pas s'appliquer aux SL puisque leur ajustement ne tient pas compte de l'alignement avec la cornée, puisque l'asphéricité postérieure d'une lentille sera également compensée par le réservoir de larmes. Puisque la valeur de l'indice de réfraction du réservoir lacrymal ($n = 1,33$) se rapproche de celui de la SL [Optimum Extra $n = 1,421$]⁽⁸⁶⁾, l'hypothèse suivante peut être suggérée: l'impact de l'asphéricité postérieure sur les AOS (aberration sphérique et coma) sera beaucoup plus faible que celui de l'asphéricité antérieure. L'interface air-lentille ($n_{\text{air}} = 1,0 / n_{\text{SL}} = 1,421$) aura un impact plus marqué sur la réfraction que l'interface lentille-eau ($n_{\text{SL}} = 1,421 / n_{\text{eau}} = 1,33$)⁽⁸⁷⁾ d'où l'impact plus important de l'asphéricité antérieure.

1.5.6 Analyse de l'influence de l'asphéricité d'une lentille sclérale sur les aberrations d'ordres supérieurs

À ce jour, peu d'études ont évalué l'influence de l'asphéricité antérieure ou postérieure d'une SL sur la performance optique et l'amplitude des AOS. Quelques rapports de cas sur le sujet ont été publiés, mais aucune étude prospective de cohorte n'a analysé l'influence de l'asphéricité sur la performance visuelle d'un porteur de SL. C'est pourquoi ce projet cherche à combler le manque de données sur le sujet et à obtenir des informations préliminaires sur la relation entre l'asphéricité d'une SL et l'amplitude des aberrations pour les différents termes de Zernike.

Chapitre 2 – Objectifs et méthodologie

2.1 Introduction

2.1.1 Objectif

L'objectif principal de cette expérience était de déterminer l'influence de l'asphéricité de la surface antérieure (ASA) et de l'asphéricité de la surface postérieure (ASP) des SL sur l'acuité visuelle et sur les niveaux d'AOS. Cette expérience a cherché à déterminer cet impact autant chez une cohorte de participants ayant une cornée saine sans anomalie cornéenne que chez une cohorte de participants atteints d'un KC léger à modéré.

2.1.2 Hypothèse

Nous avons émis trois hypothèses quant à cette expérience

Hypothèse 1 : L'acuité visuelle à haut et à bas contraste sera différente pour un même participant en fonction du type d'asphéricité utilisée dans la conception de la SL.

Hypothèse 2 : La quantité d'AOS variera en fonction du type d'asphéricité utilisée dans la conception de la SL.

Hypothèse 3 : Une asphéricité antérieure de type prolate plus élevé (paramètre e) sera associée à une meilleure vision, notamment :

- Acuité visuelle améliorée (haut et bas contraste)
- Valeur RMS d'AOS totale réduite
- Valeur RMS d'aberration sphérique réduite
- Valeur RMS d'aberration de type coma réduite

2.2 Matériel et méthodes

2.2.1 Design expérimental

Cette étude prospective a été approuvée par le comité d'éthique de l'Université de Montréal et adhère aux principes de la déclaration de Helsinki.

Cette expérience a été menée auprès de deux groupes différents selon un design à mesures répétées. Le premier groupe (groupe 1) est constitué de participants normaux : ces patients ont une cornée saine et sans ectasie cornéenne. Le deuxième groupe (groupe 2) est

constitué de participants ayant un diagnostic de KC. Tous les participants ont lu et signé le formulaire de consentement relatif à ces deux groupes expliquant les risques et inconvénients associés.

Vingt-et-un participants ont été recrutés pour cette étude prospective, dont 12 patients normaux et 9 patients ayant un diagnostic de KC. Ces participants devaient être âgés entre 18 ans et 55 ans. Pour le groupe de participants atteints de kératocône (KC), le diagnostic devait être confirmé par topographie Medmont ou par topographie Pentacam. Les participants du groupe normal ne devaient pas présenter de déformation cornéenne. L'amétropie des participants normaux devait être limitée aux valeurs suivantes : myopie de moins de 6,00D, une hypermétropie de moins de 6,00D et un astigmatisme de moins de 4,00D.

Les participants ayant une cicatrice cornéenne, ayant subi une chirurgie intraoculaire ou de remplacement de la cornée ou présentant une infection ou une inflammation oculaire active ont été exclus de l'expérience. Les participants ne devaient pas avoir de pathologie oculaire associée au cristallin ou à la rétine centrale pouvant nuire à l'acuité visuelle ou le contraste (dégénérescence maculaire, cataracte). Les porteurs de LCR PAG ont été exclus de l'expérience.

Pour chaque participant, quatre SL de type OnefitMed (BlanchardLab, CooperVision) présentant un profil d'asphéricité différent ont été évaluées tour à tour sur l'œil droit seulement, selon un ordre aléatoire et randomisé.

Les quatre SL évaluées ont été classées en fonction du type d'asphéricité :

- a. Type A : sans asphéricité antérieure et postérieure ($e = 0$)
- b. Type B : asphéricité antérieure ($e = 0,4$)
- c. Type C : asphéricité antérieure ($e = 0,6$)
- d. Type D : asphéricité postérieure sans asphéricité antérieure ($e_{\text{post}} = 0,3$)

2.2.2 Mesures préliminaires

Une analyse des antécédents médicaux, une topographie cornéenne de type Scheimflug (Pentacam, Oculus) et un examen du segment antérieur par lampe à fente ont été effectués pour valider le respect des critères d'inclusion et d'exclusion.

De plus, le diamètre pupillaire a été évalué à l'aide d'un pupillomètre automatisé de type Neuroptic. Cette mesure a été effectuée dans la salle d'examen où les mesures de réfraction

subjective et d'acuité visuelle ont été complétées en conservant les mêmes conditions de luminosité pour les différentes prises de mesures.

2.2.3 Ajustement de la lentille sclérale et sélection des lentilles

Ajustement physique de la lentille

Une caisse de SL de modèle OnefitMed (Laboratoire Blanchard, Sherbrooke) a été préparée sur mesure afin de pouvoir mener l'étude. Les différentes lentilles diagnostiques étaient disponibles pour les quatre différents profils d'asphéricité.

Le profilomètre de surface de type Eaglet Eye a été utilisé pour favoriser la sélection des paramètres des SL à ajuster. Après une pose de fluorescéine sodique dans l'œil du participant et de larmes artificielles (HyloGel), l'appareil est utilisé pour obtenir une mesure de la topographie de la cornée et de la sclère en effectuant un balayage de la surface oculaire au-delà du limbe jusqu'à 20 mm. Ces données ont été utilisées pour sélectionner la SL idéale à l'aide d'un algorithme développé en collaboration avec plusieurs fabricants. L'ajustement des SL a été effectué de sorte à maintenir le plus possible un dégagement central uniforme entre les participants (200 μm à 300 μm). Une observation à la lampe à fente a permis de confirmer la qualité de l'ajustement et la qualité de la surface de la lentille. Les mesures de dégagements centraux entre la cornée et la SL ont été évaluées à l'aide du tomographe à cohérence optique RTVue (Optovue, basé sur le domaine fréquentiel de Fourier). Les quatre SL évaluées possédaient les mêmes paramètres de sagittale et de courbures périphériques pour un même participant.

La SL était remplie de larmes artificielles sans agent de conservation (sodium hyaluronate 0,3%- IMED Pharma). L'ajustement de la SL a été validé et optimisé au besoin à l'aide d'une évaluation à la lampe à fente et à l'aide de la mesure de dégagement central obtenu à l'aide de l'OCT.

2.2.4 Mesures comparatives entre les quatre SL

Pour chaque SL, le protocole suivant a été mené. Une fois la SL posée, en place et stabilisée, une mesure d'autoréfractométrie et d'aberrations a été effectuée à l'aide de l'OPD-Scan. Cet appareil utilise la rétinoscopie dynamique et mesure la distribution de l'erreur réfractive sur l'aire pupillaire complète. Ainsi, une fente de lumière infrarouge balaye la pupille et mesure la différence de temps de retour de la lumière au plan cornéen à l'aide de photodétecteurs en

rotation. Cette fente de lumière tourne sur 180 degrés, couvrant tous les semi-méridiens sur 360 degrés. Cette distribution de l'erreur réfractive est synthétisée sur une carte appelée OPD. Les paramètres du front d'onde sont déterminés et calculés à partir de cette carte. ⁽⁸⁸⁾ Le front d'onde y est décrit à l'aide de la représentation de Zernike. Les valeurs de RMS associées aux différents types d'AOS (terme de l'ordre 3 et 4 de la représentation de Zernike) ont été compilées pour différents diamètres pupillaires (3,0 mm, 4,0 mm, 5,0 mm et 6,0 mm) pour chaque SL.

Ensuite, cinq différentes mesures de topographie Medmont ont été acquises avec la SL en place en différentes positions de regard (haut, bas, gauche, droite, position primaire) selon la méthode «composite-topography». Ces images ont permis de mesurer le décentrement des SL par la méthode de Vincent et collab. (2019) chez des SL ne comportant pas d'asphéricité antérieure. ⁽⁶¹⁾ Pour chaque image topographique combinée, la carte a été évaluée sous l'affichage « carte tangentielle » avec une échelle de puissance standard allant de 35 à 50 dioptries (D). Suite à cela, le cercle délimitant l'aire pupillaire et le centre pupillaire est identifié par l'algorithme du topographe Medmont. Deux observateurs ont délimité manuellement la zone optique de la lentille et son centre géométrique à l'aide d'une ellipse. Un rectangle est dessiné précisément entre le centre pupillaire de l'œil et le centre géométrique de la lentille pour délimiter le vecteur horizontal et le vecteur vertical identifiant le décentrement de la lentille. L'analyse de chaque image a été complétée par deux observateurs distincts afin de valider le degré d'accord lors de l'utilisation de cette méthode de prise de mesure dans les cas où l'asphéricité antérieure est différente que celle évaluée par Vincent et collab. (2019).

De plus, une mesure de surréfraction subjective a été effectuée lors du port de lentilles cornéennes. Enfin, les acuités visuelles de type LogMAR à haut contraste (AVHC) et bas contraste (AVBC) ont été mesurées lors du port de la meilleure correction à l'aide de trois différentes échelles ETDRS à haut contraste et deux échelles ETDRS à bas contraste (contraste de 10%). L'œil gauche était bloqué par cache occlusive. L'ordre de présentation des différentes échelles d'acuité visuelle a été randomisé pour réduire le risque de biais de mémorisation.

2.3. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été complétées à l'aide du logiciel SAS version 9.4 et JASP.0.16.2.

2.3.1 Statistiques descriptives concernant les caractéristiques des participants

Les moyennes et les écarts-types pour les variables «âge», «diamètre pupillaire photopique» et «dégagement central moyen» ont été compilés par groupe (normal ou kératocône). Ensuite, le test T de Student a été mené afin de déterminer si des différences significatives étaient présentes pour ces variables entre les participants de ces deux groupes puisque ces mesures sont rapportées selon une échelle de rapport.

Les moyennes et les écarts-types pour les variables «sagittale de la SL» (SAG), «sagittale basée sur le diamètre fonctionnel de la SL (à 13,6 mm)» et «puissance» ont été compilés par groupe (normal ou kératocône). Toutefois, pour ces variables, c'est plutôt le test Mann-Whitney qui a été exécuté afin de déterminer si des différences significatives étaient présentes pour ces variables entre les participants de ces deux groupes puisqu'une échelle ordinale est utilisée.

La normalité des données a été évaluée à l'aide de diagramme quantile-quantile, tandis que le respect de la prémisse de l'homogénéité de la variance a été vérifié avec le test de Levene.

2.3.2 Comparaison des valeurs RMS entre les participants des deux groupes pour un diamètre pupillaire de 4 mm lors du port d'une lentille sans asphéricité

Les valeurs RMS des deux groupes pour ce qui a trait à la coma totale, au trèfle total, à l'aberration sphérique et à l'AOS totale ont été comparées afin d'illustrer les différences entre les deux cohortes évaluées au cours de l'expérience. Bien que la normalité des données était présente pour chaque groupe distinct, le critère de l'homogénéité de la variance (test de Levene) nécessaire à l'exécution du test T de Student n'était pas respecté. Le test de Mann-Whitney a donc été employé afin de comparer les valeurs RMS des deux groupes. Les données correspondant à un diamètre pupillaire de 4 mm ont été utilisées pour effectuer cette comparaison.

2.3.3 Analyse de l'impact du profil d'asphéricité et du groupe sur l'acuité visuelle à haut et à bas contraste

L'ANOVA à mesure répétée à un facteur intrasujet (type de lentille : A, B, C, D) et un facteur intersujet (groupe : normal ou kératocône) avec modèles mixtes a été effectué afin d'évaluer l'effet de ces facteurs sur les mesures d'AVHC et d'AVBC. En présence d'un effet significatif, les comparaisons deux par deux (test post-hoc avec ajustement de Tukey-Kramer) ont été effectuées.

2.3.4 Impact du profil d'asphéricité et du diamètre pupillaire sur la valeur RMS des différents coefficients de Zernike

L'ANOVA à mesure répétée à deux facteurs intrasujets avec modèles mixtes a été complétée pour évaluer l'effet de la variable catégorielle « lentille (LC) » (LC A, LC B, LC C, LC D) et la variable catégorielle « diamètre pupillaire analysé (\emptyset_{pup}) » (3, 4, 5 et 6 mm) sur les valeurs RMS des différents coefficients d'AOS. Chacune de ces LC est associée à un profil d'asphéricité particulier (les détails concernant les profils testés ont été défini à la section 2.2.1). Cette analyse a été répétée afin de déterminer l'impact de ces deux variables catégorielles sur les valeurs de ratio visuel de Strehl (VSX) et son logarithme ($\log\text{VSX}$). Le groupe normal et le groupe KC ont été séparés lors de ces analyses. Les comparaisons deux par deux ont été effectuées à l'aide du test post-hoc avec ajustement de Tukey-Kramer.

Toutefois, certaines données de valeurs RMS des AOS étaient manquantes pour les mesures associées à un \emptyset_{pup} plus élevé (6 mm). Certains participants avaient une mesure de \emptyset_{pup} plus petite que 6 mm durant l'acquisition des données pour certaines SL, ce qui entraîne la perte aléatoire de certaines variables (MAR – Missing at random). C'est pourquoi les modèles mixtes ont été utilisés afin de permettre la conservation et l'utilisation de toutes les données disponibles dans l'analyse des données.

2.3.5 Analyse de la fiabilité du décentrement des lentilles sclérales à l'aide de la topographie de Medmont en fonction de l'asphéricité antérieure de la SL

Afin de mesurer le degré d'accord entre les observateurs, une analyse des corrélations intraclasse (ICC) avec intervalle de confiance (CI) a été effectuée.

La moyenne entre les mesures de l'observateur 1 et de l'observateur 2 ont été calculées pour effectuer une ANOVA à mesure répétée à un facteur intra sujet (LC: A, B, C, D) et un facteur

inter sujet (groupe : normal ou KC). Des modèles mixtes ont été utilisés. Les variables dépendantes étudiées par cette analyse étaient les suivantes : décentrement vertical et décentrement horizontal. Les comparaisons deux par deux ont été effectuées à l'aide du test post-hoc avec ajustement de Tukey-Kramer.

2.3.6 Corrélation de Spearman entre la valeur RMS des différents coefficients de Zernike et le décentrement des SL

Des corrélations de Spearman ont été employées pour examiner la relation l'amplitude des AOS (RMS) de chaque SL (variable dépendante) avec les valeurs de décentrement pour l'ensemble des groupes (n = 21), le groupe emmétrope isolé (n = 12) et le groupe KC isolé (n = 9). Ces analyses de corrélation ont été effectuées pour différents types AOS pour chaque profil d'asphéricité (LC A, B, C, D) et pour chaque \varnothing_{pup} (3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm). Ces variables sont détaillées ci-bas :

- Décentrement vertical (SL A et D, profil antérieur sans asphéricité)
- Décentrement horizontal (SL A et D, profil antérieur sans asphéricité)

Puisque la présence d'une asphéricité sur la face antérieure affecte la précision de la mesure du décentrement avec la méthode du topographe Medmont décrite (voir section discussion 4.4), les mesures de décentrement lors du port de la LC B et de la LC C ont été exclues de l'analyse des corrélations.

Chapitre 3 – Résultats

L'expérience a été entamée auprès de vingt-trois participants de deux groupes différents (Groupe 1- Cornée normal et groupe 2- kératocône). Les caractéristiques des participants sont rapportées dans le tableau 2.

Tableau 2. – Description des caractéristiques des participants de chaque groupe

Paramètres (N _{total} = 21)	Moyenne	Écart-type	Min	Max
Groupe 1 n = 12				
Âge (ans)	29,7	6,2	24	43
Diamètre pupillaire photopique (mm)	3,9	0,6	2,9	4,7
Valeur SAG de SL (µm)	4354,2	180,4	4150	4800
Valeur de sagittale mesurée au diamètre fonctionnel de la SL(µm)	3574,2	186,4	3370	4020
Dégagement central entre la cornée et la SL (µm)	209,2	53,8	90	328
Puissance des SL (D)	-1,37	0,95	-4,00	-2,00
Groupe 2 n = 9				
Âge (ans)	38,4	9,2	28	56
Diamètre pupillaire photopique (mm)	3,8	0,4	3,2	4,7
Valeur SAG de SL (µm)	4444,4	144,3	4300	4700
Valeur de sagittale basée sur le diamètre fonctionnel de la SL (µm)	3664,4	151,0	3520	3920
Dégagement central moyen entre la cornée et la SL (µm)	244,9	59,4	122	350
Puissance des SL (D)	-1,83	0,89	-3,50	-1,00

Abréviations : SAG = valeur de sagittale indiquée par le fabricant de la SL. Cette valeur correspond à la sagittale mesurée au diamètre total de la lentille. SL = lentille sclérale, D = en valeur dioptrique.

L'inspection visuelle des données par diagramme quantile-quantile a pu établir que les caractéristiques des participants respectaient une distribution normale. Le test T unilatéral de Student a été utilisé afin de déterminer si des différences existent entre les deux groupes pour les variables « âge », « diamètre pupillaire photopique » et « dégagement central moyen » (échelle de rapport). Le test de Levene a démontré le respect du critère de l'homogénéité de la variance pour ces trois variables. Les participants du groupe 2 sont significativement plus âgés que les patients du groupe 1 avec une différence moyenne de $8,8 \pm 3,4$ ans [T(19) = -2,620 p = 0,017 (CI -

15,8 : -1,8]). On ne détecte pas de différences significatives entre les deux groupes pour les autres caractéristiques.

Le test Mann-Whitney n'a pas décelé de différences significatives entre les deux groupes pour les variables «SAG», «sagittale mesurée au diamètre fonctionnel de la SL» et «puissance». Ce test non paramétrique a été utilisé pour ces deux variables indépendantes, puisque ces données sont consignées sur une échelle ordinale plutôt que continue.

3.1 Analyse de l'influence du groupe sur les valeurs RMS de différents coefficients de Zernike lors du port d'une SL sans asphéricité

Les valeurs RMS pour la coma, l'aberration sphérique, la coma totale, le trèfle total et l'AOS totale ont été comparées entre les deux groupes de participants pour le diamètre pupillaire 4 mm pour une SL sans asphéricité intégrée (LC A) afin d'illustrer les différences entre ceux-ci. Le test de Mann-Whitney (unilatérale) a été mené pour ces variables ci-haut puisque le critère d'homogénéité de variance entre les deux groupes n'est pas respecté selon le test de Levene (voir tableau 3 et figure 2).

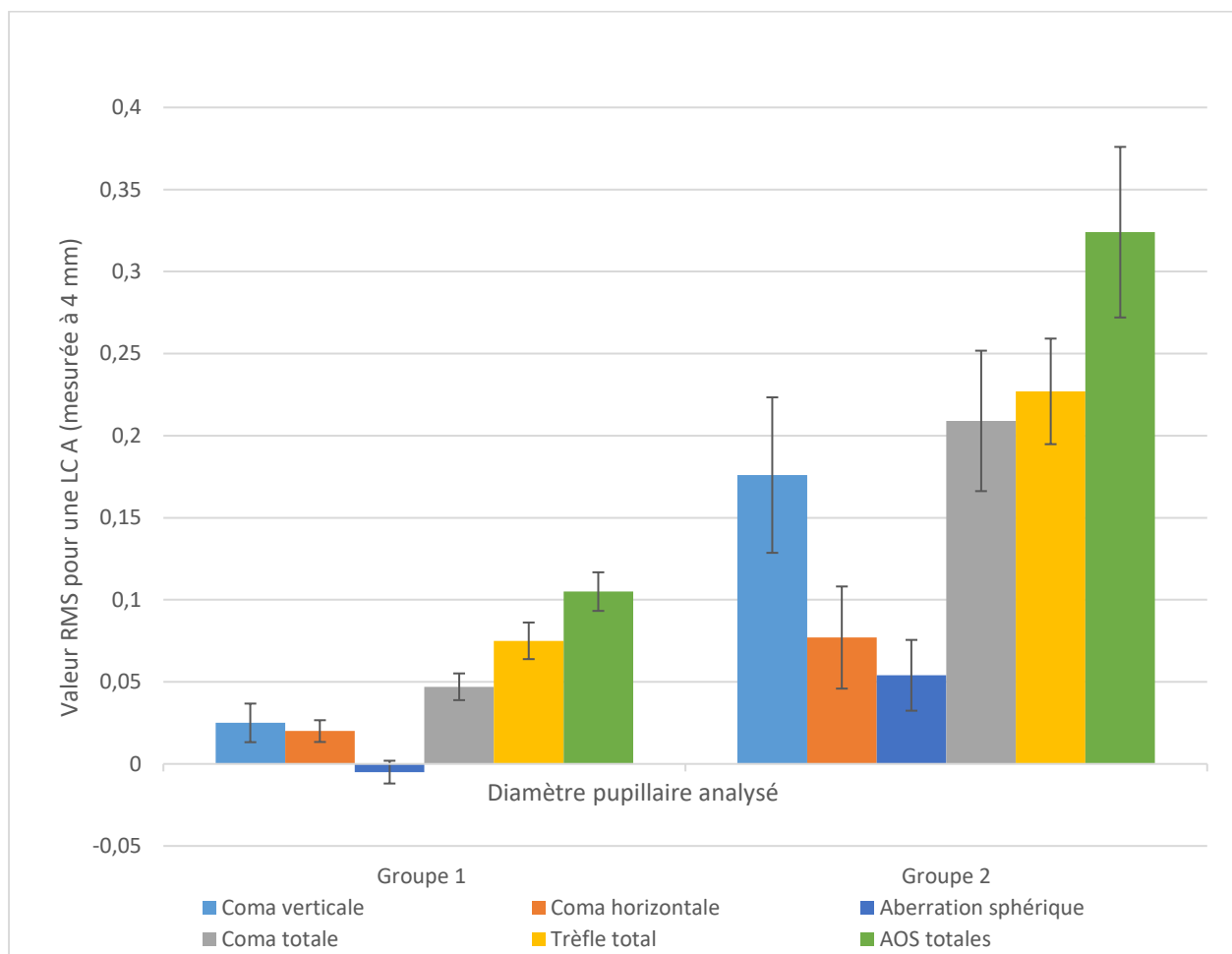
Tableau 3. – Résumé des résultats du test U de Mann-Whitney concernant les valeurs RMS des AOS (comparaison entre le groupe 1 et le groupe 2)

Coefficient de Zernike	Valeur U (Mann-Whitney)	N ₁	N ₂	Valeur P	Taille d'effet r
Coma Z ₃ ⁻¹	92,0	12	9	0,003	0,704
Coma Z ₃ ⁺¹	80,5	12	9	0,032	0,491
Aberration sphérique Z ₄ ⁰	91,5	12	9	0,004	0,694
Coma totale	105,0	12	9	0,001	0,944
Trèfle total	101,5	12	9	0,001	0,880
AOS totale	103,5	12	9	0,001	0,917

Abréviations : Concernant la taille d'effet lors du test U de Mann-Whitney, un effet r inférieur à 0,3 correspond à un petit effet. Un effet entre 0,3 et 0,5 correspond à un effet moyen. Un effet r de plus de 0,5 correspond à un effet important. RMS = root-mean-squared. AOS = Aberrations d'ordres supérieurs.

Comme attendu, les participants du groupe 2 ont des valeurs médianes de RMS significativement plus élevées par rapport au groupe 1 pour tous les types d'aberrations mentionnées.

Figure 2. – Valeurs RMS des différents types d'AOS en fonction du groupe lors du port d'une LC A à un diamètre pupillaire de 4 mm. Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



Abréviations : RMS = root-mean-squared, AOS = Aberrations d'ordres supérieurs, LC = lentille.

Puisque des différences importantes sont présentes entre les deux groupes pour ce qui a trait aux valeurs RMS des différents types d'AOS, l'analyse de l'influence du profil d'asphéricité sur la performance visuelle et sur l'amplitude des différents types d'AOS a été effectuée en séparant ces deux groupes.

3.2 Analyse de l'impact du profil d'asphéricité des SL et du groupe sur l'acuité visuelle à haut et à bas contraste

Une analyse de type ANOVA à mesures répétées à un facteur intra sujet et un facteur inter sujet (modèle mixte) a été menée afin d'examiner l'effet du groupe et de la variable «LC» sur les mesures d'AVHC et d'AVBC. Les statistiques descriptives concernant ces mesures sont compilées dans le tableau 4. La normalité des données a été confirmée par inspection visuelle à l'aide de diagrammes quantile-quantile.

Tableau 4. – Statistiques descriptives concernant les valeurs d'acuité visuelle à haut contraste (AVHC) à gauche et d'acuité visuelle à bas contraste (AVBC) à droite en fonction du groupe et du type de lentille (LC)

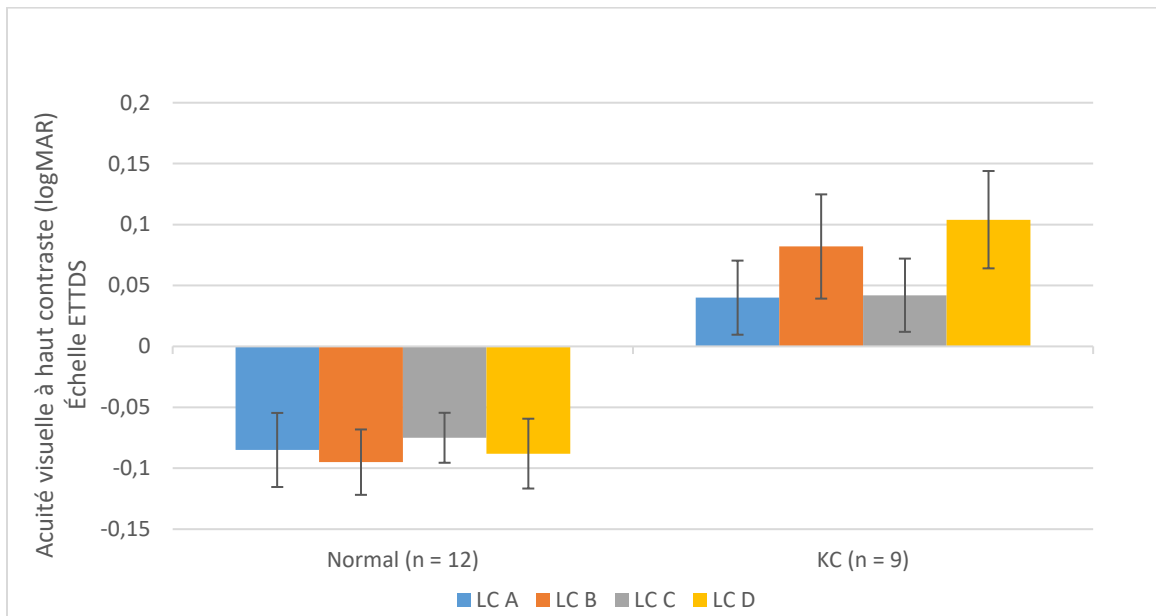
		AVHC				AVBC(Contraste à 10%)			
Lentille	N	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Min	Max
Groupe 1 - Normal									
LC A	12	-0,085	0,099	-0,24	-0,14	0,053	0,068	-0,04	0,18
LC B	12	-0,095	0,089	-0,24	0,08	0,048	0,076	-0,06	0,16
LC C	12	-0,075	0,068	-0,18	0,02	0,098	0,071	0,02	0,22
LC D	12	-0,088	0,095	-0,20	0,06	0,052	0,063	-0,06	0,14
Groupe 2 - KC									
LC A	9	0,040	0,086	-0,06	0,22	0,311	0,230	-0,12	0,6
LC B	9	0,082	0,121	-0,06	0,3	0,264	0,243	-0,12	0,56
LC C	9	0,042	0,085	-0,08	0,14	0,301	0,143	0,12	0,5
LC D	9	0,104	0,113	-0,08	0,3	0,360	0,151	0,16	0,54

Note : l'acuité visuelle est notée en logMar. Cela implique que chaque lettre lue possède une valeur. Une valeur positive (ex : 0,053) représente une acuité moins bonne que la valeur normale (0,00 équivalent de 20/20). Une valeur négative correspond à une meilleure acuité visuelle que la valeur normale.

3.1.1 Acuité visuelle à haut contraste (AVHC)

Les valeurs moyennes d'AVHC pour chaque groupe sont représentées graphiquement à la figure 3. On constate un effet de groupe [$F(1,19) = 20,03$ $p = 0,0003$]. Le groupe 1 présente une meilleure acuité visuelle que le groupe 2, soit une valeur d'AVHC de $-0,153 \pm 0,034$ unité logMAR plus petite par rapport au groupe 2 [$T(19) = -4,48$, $p = 0,0003$ [CI $-0,225$: $-0,082$]]. Ce résultat n'est pas influencé par le type de LC [$F(3,57) = 0,93$, $p = 0,4312$]. Il n'y a pas d'interaction significative entre les deux facteurs [$F(3,57) = 1,85$, $p = 0,149$].

Figure 3. – Valeurs moyennes d'acuité visuelle à haut contraste (\pm erreur type) en fonction du groupe et du type de lentille (LC)



3.1.2 Acuité visuelle à bas contraste (AVBC)

Les valeurs moyennes d'AVBC pour chaque groupe sont représentées graphiquement à la figure 4. Les mêmes constats s'appliquent ici aussi : un effet significatif a été détecté pour le facteur groupe [$F(1,19) = 18,99 = 0,0003$] alors qu'aucune différence significative n'a été détectée pour le facteur LC [$F(3,57) = 2,75, p = 0,0507$]. De plus, une interaction significative a été détectée entre les deux facteurs [$F(3,57) = 3,17, p = 0,031$].

L'analyse des effets fixes a donc été effectuée : les résultats sont compilés dans le tableau 5. Les valeurs d'AVBC sont significativement plus petites chez le groupe 1 que chez le groupe 2. On retrouve un effet significatif pour le facteur LC chez le groupe 2 seulement, mais l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer chez ce même groupe n'a pu établir de différences statistiquement significatives entre les lentilles, sans doute en raison d'un petit nombre de participants dans l'échantillon du groupe 2. Cette analyse post-hoc est détaillée dans le tableau 6.

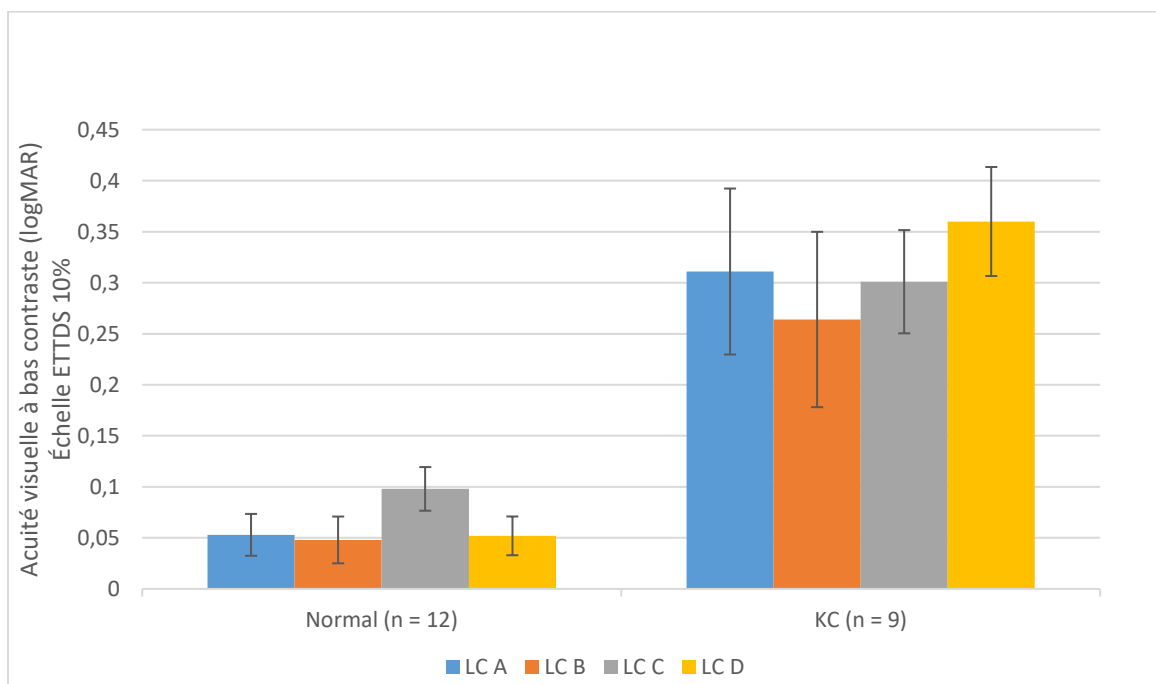
Tableau 5. – Résumé de l'analyse des effets fixes de l'ANOVA à mesures répétées pour l'acuité visuelle à bas contraste

	Facteur isolé	Degré de liberté	Valeur F	Pr > F
Effet groupe	LC A	1 : 57	17,83	<,0001***
	LC B	1 : 57	12,53	0,0008***
	LC C	1 : 57	11,03	0,0016***
	LC D	1 : 57	25,5	<,0001***
Effet LC	Groupe 1	3 : 57	1,84	0,1504
	Groupe 2	3 : 57	3,81	0,0148***

Tableau 6. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes concernant l'acuité visuelle à bas contraste (Effet «lentille» (LC) en isolant le groupe 2 seul)

Effet LC Groupe 2 isolé	Différence moyenne (A – B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test t	Ptukey
A : B	0,047	0,036	-0,024	0,117	1,29	0,5756
A : C	0,010	0,036	-0,061	0,081	0,28	0,9924
A : D	-0,049	0,036	-0,120	0,022	-1,36	0,5382
B : C	-0,037	0,036	-0,107	0,034	-1,02	0,7414
B : D	-0,096	0,036	-0,166	-0,025	-2,65	0,0630
C : D	-0,059	0,036	-0,130	0,012	-1,63	0,3801

Figure 4. – Valeurs moyennes d'acuité visuelle à bas contraste (\pm erreur type) en fonction du groupe et le type de lentille (LC)



3.3 Groupe 1- Impact du profil d'asphéricité et du diamètre pupillaire sur la valeur RMS des différents coefficients de Zernike

Les valeurs RMS des différents coefficients de Zernike ont été mesurées chez le groupe 1 pour quatre SL ayant différents profils d'asphéricité (LC A, B, C, D). Ces valeurs ont été analysées en fonction de quatre diamètres pupillaires (\varnothing_{pup}) différents (3, 4, 5 et 6 mm).

Les statistiques descriptives détaillées incluant les valeurs RMS de chaque coefficient d'AOS en fonction du facteur LC et du facteur \varnothing_{pup} sont rapportées à l'annexe A afin d'abrégier la lecture des résultats. La normalité des données a été confirmée par inspection visuelle à l'aide de diagrammes quantile-quantile.

Des analyses de type ANOVA à mesures répétées à deux facteurs intra sujet (modèle mixte) ont été menées afin d'évaluer l'effet du facteur \varnothing_{pup} et du facteur LC sur la valeur RMS de chaque coefficient de Zernike et leurs totaux respectifs. Les résultats de ces ANOVA à mesures répétées ont été rapportés dans le tableau 7.

Le \varnothing_{pup} influence le niveau d'une majorité d'aberrations mesurées sauf pour l'astigmatisme secondaire Z_4^{-2} et Z_4^{+2} . Le changement du profil d'asphéricité (type de LC) génère des différences significatives au niveau des AOS totales, de la coma totale et du trèfle total, de même que pour les comas Z_3^{-1} et Z_3^{+1} et les aberrations sphériques Z_4^0 .

Une interaction entre la condition \varnothing_{pup} et la condition LC a été détectée pour les coefficients suivants : coma Z_3^{-1} , coma Z_3^{+1} et aberration sphérique Z_4^0 . Une interaction significative entre la condition \varnothing_{pup} et la condition LC a aussi été détectée pour les valeurs d'AOS total, de coma total et de trèfle total.

Tableau 7. – Résumé des résultats des ANOVA à mesures répétées chez le groupe 1 (n = 12) pour les valeurs RMS des différents coefficients d'AOS.

Coefficient de Zernike	Condition	Degré de liberté	Valeur F	Pr > F
6. Trèfle Z_3^{-3}	LC	3 : 33	0,30	0,8225
	\emptyset pup	3 : 33	1,60	0,2080
	LC X \emptyset pup	3 : 93	0,28	0,9782
7. Coma Z_3^{-1}	LC	3 : 33	20,07	<,0001***
	\emptyset pup	3 : 33	7,82	0,0004***
	LC X \emptysetpup	3 : 93	16,32	<,0001***
8. Coma Z_3^{+1}	LC	3 : 33	27,90	<,0001***
	\emptyset pup	3 : 33	3,61	0,0233***
	LC X \emptysetpup	3 : 93	25,98	<,0001***
9. Trèfle Z_3^{+3}	LC	3 : 33	0,48	0,6990
	\emptysetpup	3 : 33	4,41	0,0103***
	LC X \emptyset pup	3 : 93	0,91	0,5172
10. Tetrafoil Z_4^{-4}	LC	3 : 33	1,07	0,3771
	\emptysetpup	3 : 33	21,14	<,0001***
	LC X \emptyset pup	3 : 93	0,99	0,4531
11. Astigmatisme secondaire Z_4^{-2}	LC	3 : 33	2,03	0,1292
	\emptyset pup	3 : 33	1,44	0,2480
	LC X \emptyset pup	3 : 93	1,02	0,4328
12. Aberration sphérique Z_4^0	LC	3 : 33	26,64	<,0001***
	\emptyset pup	3 : 33	3,17	0,0372***
	LC X \emptysetpup	3 : 93	19,57	<,0001***
13. Astigmatisme secondaire Z_4^{+2}	LC	3 : 33	0,97	0,4199
	\emptyset pup	3 : 33	1,00	0,4040
	LC X \emptyset pup	3 : 93	0,90	0,5323
14. Tetrafoil Z_4^{+4}	LC	3 : 33	0,75	0,5289
	\emptysetpup	3 : 33	5,56	0,0034***
	LC X \emptyset pup	3 : 93	1,34	0,2257
AOS totale	LC	3 : 33	10,71	<,0001***
	\emptyset pup	3 : 33	90,58	<,0001***
	LC X \emptysetpup	3 : 93	7,03	<,0001***
Coma totale	LC	3 : 33	7,09	0,0008***
	\emptyset pup	3 : 33	81,36	<,000***1
	LC X \emptysetpup	3 : 93	5,76	<,0001***
Trèfle total	LC	3 : 33	4,18	0,0129***
	\emptyset pup	3 : 33	51,38	<,0001***
	LC X \emptysetpup	3 : 93	3,07	0,0029***

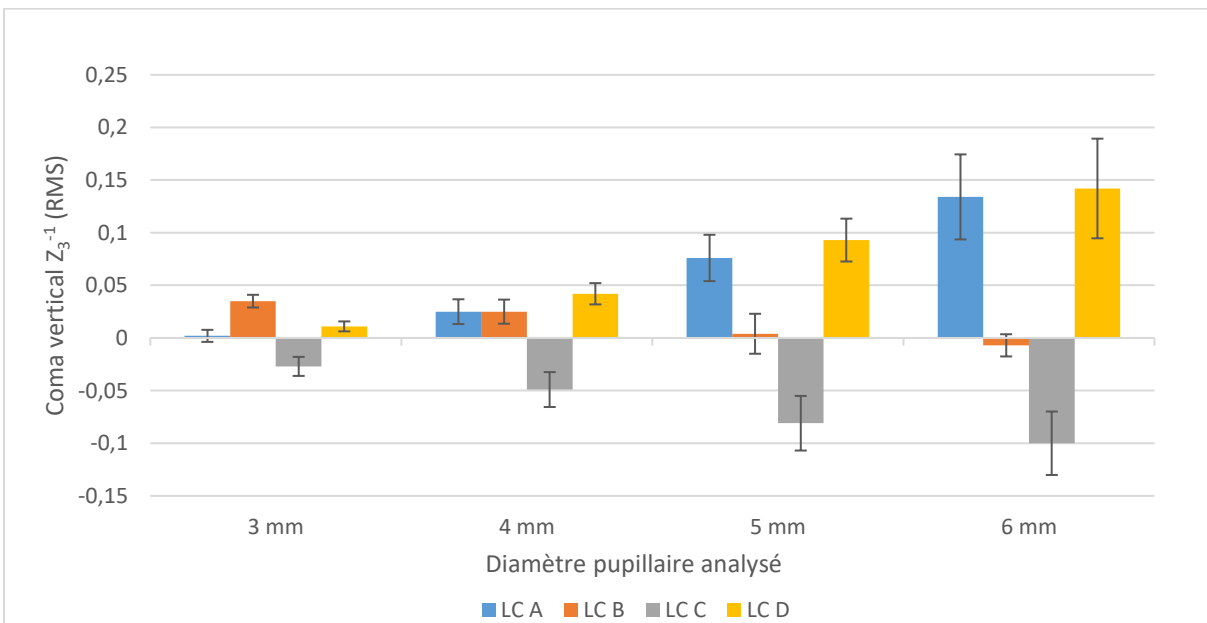
Abréviations : RMS = root-mean-squared, AOS = aberrations d'ordres supérieurs, \emptyset pup = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille.

3.3.1 Coma verticale Z_3^{-1}

Les valeurs RMS moyennes de Z_3^{-1} sont représentées à la figure 5. De façon attendue, la valeur de cette aberration est influencée par le \varnothing_{pup} [$F(3,33) = 7,82$ $p = 0,0004$] et le facteur LC [$F(3,33) = 20,07$ $p < 0,0001$]. Une interaction significative est présente entre les deux facteurs [$F(9,93) = 16,32$ $p < 0,0001$]. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer a été menée en isolant chacun de ces deux facteurs. En isolant le facteur LC, l'analyse a détecté cet effet significatif entre les \varnothing_{pup} pour les LC suivantes : A, C, D mm (voir tableaux 8 et 9). Comme prévu, la valeur RMS absolue de cette aberration augmente avec l'augmentation du \varnothing_{pup} , mais cette influence varie en fonction du type de LC portée.

En isolant le facteur \varnothing_{pup} , l'analyse a détecté un effet significatif entre les LC pour les \varnothing_{pup} suivants : 4, 5, 6 mm (voir tableaux 8 et 10). Plus précisément, l'augmentation de l'ASA produit une augmentation de la valeur de coma Z_3^{-1} en direction négative tandis que la présence d'ASP n'entraîne pas de changement significatif à ces valeurs.

Figure 5. – Amplitude de la coma verticale (Z_3^{-1}) en fonction du \varnothing_{pup} et du type de LC chez le groupe 1 (normal). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 8. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{Tukey} soulignant des différences significatives de coma verticale (Z_3^{-1})

\emptyset_{pup}	LC A	LC B	LC C	LC D	LC	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
3 : 4	Ns	ns	ns	Ns	A : B	ns	ns	ns	0,0006
3 : 5	0,0005	ns	0,0165	<,0001	A : C	ns	0,0123	<,0001	<,0001
3 : 6	<,0001	ns	0,0001	<,0001	A : D	ns	ns	ns	ns
4 : 5	0,0277	ns	ns	0,0247	B : C	ns	ns	0,0001	<,0001
4 : 6	<,0001	ns	0,0071	<,0001	B : D	ns	ns	0,0244	0,0001
5 : 6	0,0113	ns	ns	0,0359	C : D	ns	0,0013	<,0001	<,0001
F(3 :93)	20,96	2,20	7,80	19,76	F(3 :93)	0,92	5,56	21,87	45,61
Pr > F	<,0001	0,0936	<,0001	<,0001	Pr > F	0,4354	0,0015	<,0001	<,0001

Note : Ns = non significatif. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « diamètre pupillaire analysé » (\emptyset_{pup}) (LC isolée) est représentée à gauche. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « lentille » (LC) (\emptyset_{pup} isolé) est représentée à droite.

Tableau 9. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma verticale Z_3^{-1} lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A, LC C et LC D).

$\Delta\emptyset_{\text{pup}}$ (A : B)	Différence moyenne (A - B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test T	Ptukey
LC A isolée						
3 : 5	-0,074	0,0185	-0,109	-0,039	-4,12	0,0005
3 : 6	-0,131	0,018	-0,167	-0,095	-7,17	<,0001
4 : 5	-0,051	0,018	-0,086	-0,016	-2,84	0,0277
4 : 6	-0,101	0,018	-0,145	-0,073	-5,93	<,0001
5 : 6	-0,058	0,018	-0,094	-0,022	-3,16	0,0113
LC C isolée						
3 : 5	0,054	0,018	0,019	0,089	3,03	0,0165
3 : 6	0,085	0,019	0,048	0,122	4,50	0,0001
4 : 6	0,062	0,019	0,025	0,099	3,31	0,0071
LC D isolée						
3 : 5	-0,083	0,018	-0,118	-0,048	-4,63	<,0001
3 : 6	-0,134	0,019	-0,171	-0,097	-7,13	<,0001
4 : 5	-0,052	0,018	-0,086	-0,017	-2,88	0,0247
4 : 6	-0,103	0,019	-0,140	-0,066	-5,48	<,0001
5 : 6	-0,052	0,019	-0,089	-0,015	-2,75	0,0359

Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 10. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma verticale Z_3^{-1} lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \varnothing_{pup} 4, 5 et 6 mm)

Δ LC (1 : 2)	Différence moyenne (1 - 2)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test T	Ptukey
\varnothing_{pup} 4 mm isolé						
A : C	0,074	0,024	0,028	0,120	3,13	0,0123
C : D	-0,091	0,024	-0,137	-0,044	-3,84	0,0013
\varnothing_{pup} 5 mm isolé						
A : C	0,157	0,024	0,110	0,203	6,61	<,0001
B : C	0,106	0,024	0,059	0,152	4,46	0,0001
B : D	-0,068	0,024	-0,115	-0,022	-2,89	0,0244
C : D	-0,174	0,024	-0,221	-0,128	-7,35	<,0001
\varnothing_{pup} 6 mm isolé						
A : B	0,098	0,024	0,051	0,146	4,04	0,0006
A : C	0,245	0,025	0,197	0,293	9,96	<,0001
B : C	0,147	0,025	0,098	0,195	5,92	<,0001
B : D	-0,110	0,025	-0,158	-0,061	-4,43	0,0001
C : D	-0,256	0,025	-0,305	-0,207	-10,26	<,0001

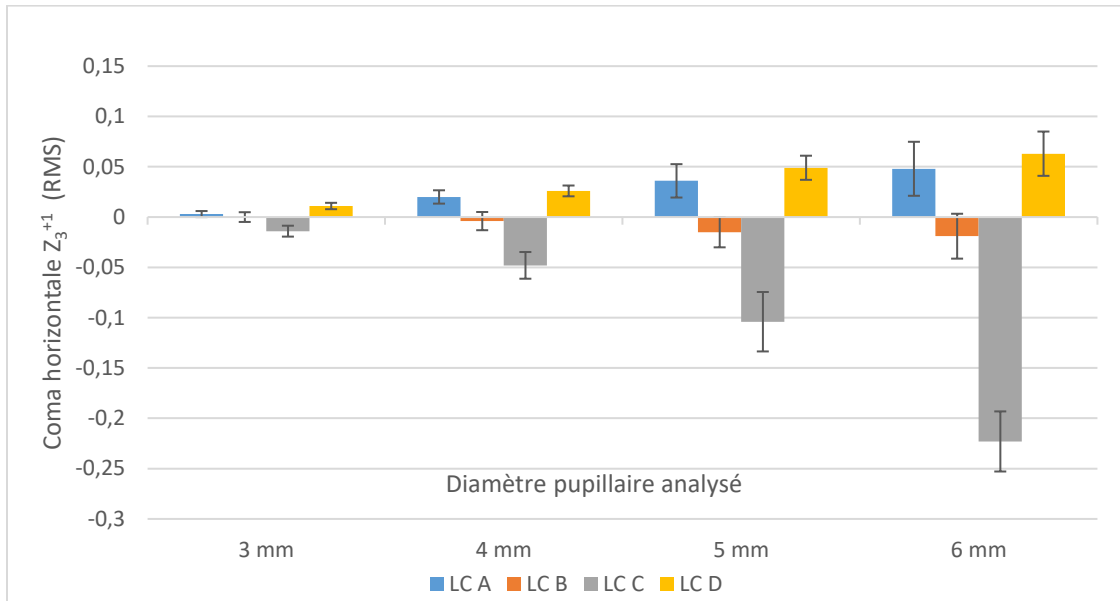
Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

3.3.2 Coma horizontale Z_3^{+1}

Les valeurs RMS moyennes de Z_3^{+1} sont représentées à la figure 6. Comme dans le cas de la coma verticale, la valeur RMS de Z_3^{+1} est influencée par le \varnothing_{pup} et le facteur LC. Une interaction significative est présente entre les deux facteurs [$F(9,93) = 25,98$ $p < 0,0001$]. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer a été menée en isolant chacun de ces deux facteurs. En isolant le facteur LC, l'analyse a détecté cet effet significatif entre les \varnothing_{pup} pour les LC A, C et D (voir tableaux 11 et 12). De façon attendue, la valeur RMS absolue de cette aberration augmente avec l'augmentation du \varnothing_{pup} mais cette influence varie en fonction du type de LC portée.

En isolant le facteur \varnothing_{pup} , l'analyse a détecté cet effet significatif entre les LC pour les \varnothing_{pup} suivants : 4, 5, 6 mm (voir tableaux 11 et 13). L'augmentation de l'ASA entraîne une augmentation de la valeur de coma Z_3^{+1} négative alors que la présence d'ASP n'entraîne pas de changement significatif à ces valeurs.

Figure 6. – Amplitude de la coma horizontale (Z_3^{+1}) en fonction du \varnothing_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



Abbréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 11. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives de coma horizontale (Z_3^{+1})

\varnothing_{pup}	LCA	LCB	LCC	LCD	LC	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
3 : 4	ns	ns	ns	ns	A : B	ns	ns	ns	ns
3 : 5	ns	ns	<,0001	ns	A : C	ns	0,0043	<,0001	<,0001
3 : 6	0,0180	ns	<,0001	0,0142	A : D	ns	ns	ns	ns
4 : 5	ns	ns	0,0020	ns	B : C	ns	ns	<,0001	<,0001
4 : 6	ns	ns	<,0001	ns	B : D	ns	ns	0,0078	0,0007
5 : 6	ns	ns	<,0001	ns	C : D	ns	0,0016	<,0001	<,0001
F(3 :93)	3,37	0,78	56,77	4,02	F(3 :93)	0,61	5,88	25,35	74,33
Pr > F	0,0217	0,5098	<,0001	0,0098	Pr > F	0,6123	0,0010	<,0001	<,0001

Note : Ns = non significatif. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « diamètre pupillaire analysé » (\varnothing_{pup}) (LC isolée) est représentée à gauche. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « lentille » (LC) (\varnothing_{pup} isolé) est représentée à droite.

Tableau 12. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma horizontale Z_3^{+1} lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A, LC C et LC D)

$\Delta\emptyset_{pup}$ (A : B)	Différence moyenne (A - B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	Ptukey
LC A isolée						
3 : 6	-0,046	0,015	-0,077	-0,016	-3,00	0,018
LC C isolée						
3 : 5	0,089	0,015	0,060	0,119	5,92	<,0001
3 : 6	0,196	0,016	0,164	0,227	12,28	<,0001
4 : 5	0,056	0,016	0,026	0,086	3,71	0,002
4 : 6	0,162	0,016	0,131	0,193	10,18	<,0001
5 : 6	0,106	0,016	0,075	0,137	6,67	<,0001
LC D isolée						
3 : 6	-0,049	0,016	-0,080	-0,018	-3,08	0,0142

Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 13. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma horizontale Z_3^{+1} lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 4, 5 et 6 mm)

ΔLC (1 : 2)	Différence moyenne (1 - 2)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	Ptukey
4 mm isolé						
A : C	0,068	0,0193	0,029	0,106	3,47	0,0043
C : D	-0,073	0,0193	-0,111	-0,035	-3,77	0,0016
5 mm isolé						
A : C	0,139	0,019	0,101	0,178	7,16	<,0001
B : C	0,089	0,019	0,051	0,128	4,59	<,0001
B : D	-0,064	0,019	-0,102	-0,026	-3,28	0,0078
C : D	-0,153	0,019	-0,191	-0,115	-7,87	<,0001
6 mm isolé						
A : B	0,071	0,020	0,031	0,110	3,53	0,0036
A : C	0,259	0,020	0,220	0,299	12,8	<,0001
B : C	0,189	0,020	0,149	0,229	9,25	<,0001
B : D	-0,082	0,020	-0,122	-0,042	-4	0,0007
C : D	-0,270	0,021	-0,311	-0,230	-13,11	<,0001

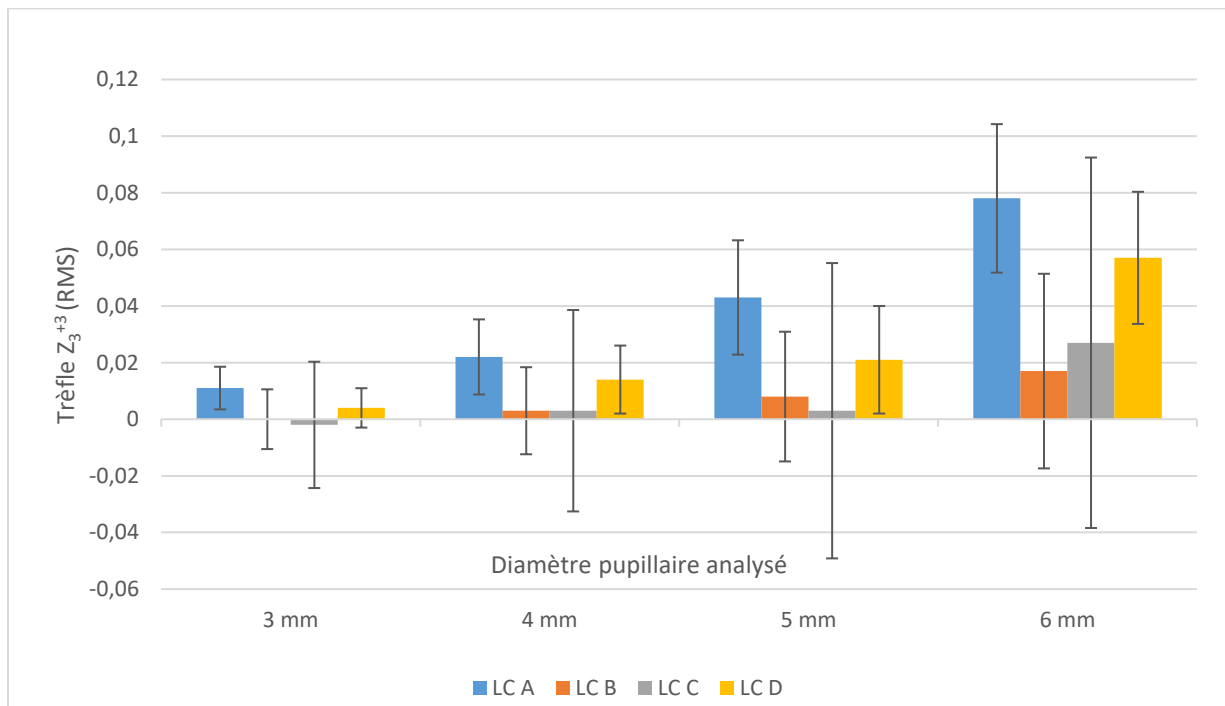
Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

3.3.3 Trèfle Z_3^{+3}

Les valeurs RMS moyennes de Z_3^{+3} sont représentées à la figure 7. Contrairement aux aberrations précédentes, seul le facteur \varnothing_{pup} [$F(3,93) = 4,41, p = 0,0103$] présente un effet significatif, le facteur LC n'influençant pas les résultats [$F(3,93) = 0,48 p = 0,6990$]. Il n'y a pas d'interaction significative entre les deux facteurs [$F(9,93) = 0,91, p = 0,5172$].

L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer pour le facteur \varnothing_{pup} a relevé une augmentation des valeurs RMS de trèfle Z_3^{+3} avec l'augmentation du \varnothing_{pup} pour certaines comparaisons. Les détails de cette analyse sont rapportés dans le tableau 14.

Figure 7. – Amplitude du trèfle Z_3^{+3} en fonction du \varnothing_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal).
Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 14. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes d'amplitude de trèfle Z_3^{+3} (Effet \emptyset_{pup})

$\Delta\emptyset_{pup}$ Toutes les LC (A : B)	Différence moyenne (A – B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du t est t	Ptukey
3 : 4	-0,007	0,013	-0,032	0,018	-0,57	0,9396
3 : 5	-0,015	0,013	-0,040	0,010	-1,2	0,6338
3 : 6*	-0,044	0,013	-0,070	-0,019	-3,41	0,0089***
4 : 5	-0,008	0,013	-0,031	0,017	-0,62	0,9239
4 : 6*	-0,037	0,013	-0,061	-0,012	-2,85	0,0356***
5 : 6	-0,029	0,013	-0,055	-0,004	-2,24	0,1327

Note : Les comparaisons significatives et leurs valeurs P sont en caractères gras et marquées par un *.

Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille.

3.3.4 Tetrafoil Z_4^{-4}

Les valeurs RMS moyennes de Z_4^{-4} sont représentées à la figure 8. Encore une fois, seul le facteur \emptyset_{pup} [$F(3,33) = 21,14$, $p < 0,0001$] présente un effet significatif, le facteur LC n'influençant pas les résultats [$F(3,33) = 1,07$, $p = 0,3771$]. Il n'y a pas d'interaction significative entre les deux facteurs [$F(9,93) = 0,99$, $p = 0,4531$].

L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer pour le facteur \emptyset_{pup} a relevé une augmentation des valeurs RMS de Z_4^{-4} avec l'augmentation du \emptyset_{pup} pour certaines comparaisons. Les détails de cette analyse sont rapportés dans le tableau 15.

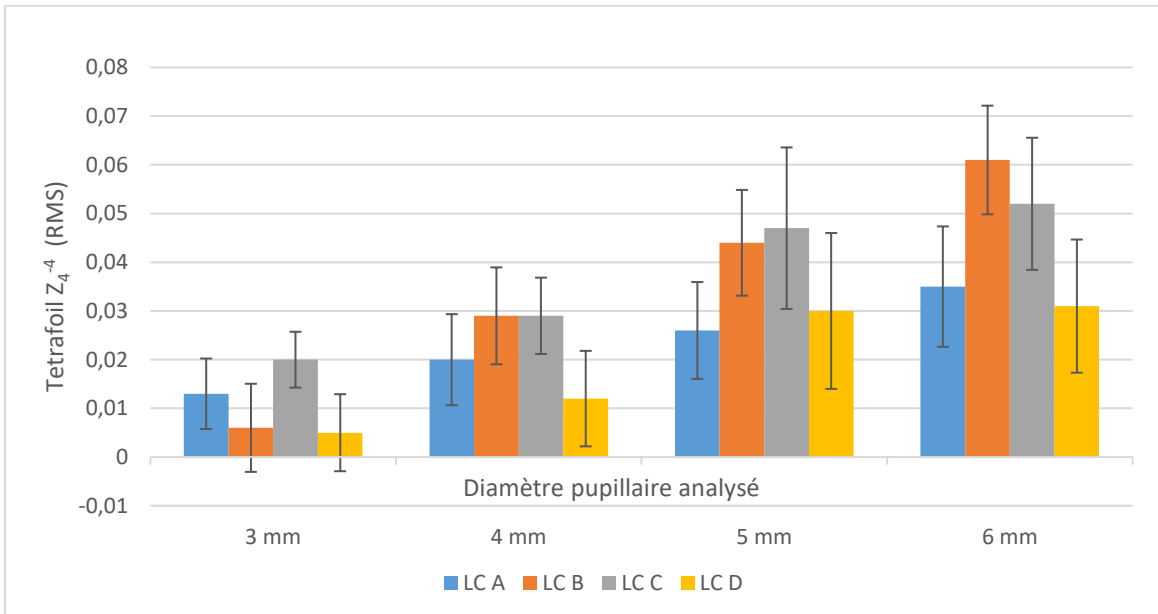
Tableau 15. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes d'amplitude de tetrafoil Z_4^{-4} (Effet \emptyset_{pup})

$\Delta\emptyset_{pup}$ Toutes les LC (A : B)	Différence moyenne (A – B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test t	Ptukey
3 : 4	-0,011	0,005	-0,021	-0,002	-2,39	0,0982
3 : 5*	-0,025	0,005	-0,035	-0,016	-5,34	<,0001***
3 : 6*	-0,037	0,005	-0,046	-0,027	-7,38	<,0001***
4 : 5*	-0,014	0,005	-0,023	-0,005	-2,95	0,0284***
4 : 6*	-0,025	0,005	-0,035	-0,015	-5,08	<,0001***
5 : 6	-0,011	0,005	-0,021	-0,001	-2,24	0,1335

Note : Les comparaisons significatives et leurs valeurs P sont en caractères gras et marquées par un *.

Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille.

Figure 8. – Amplitude de la tetrafoil Z_4^{-4} en fonction du \varnothing_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



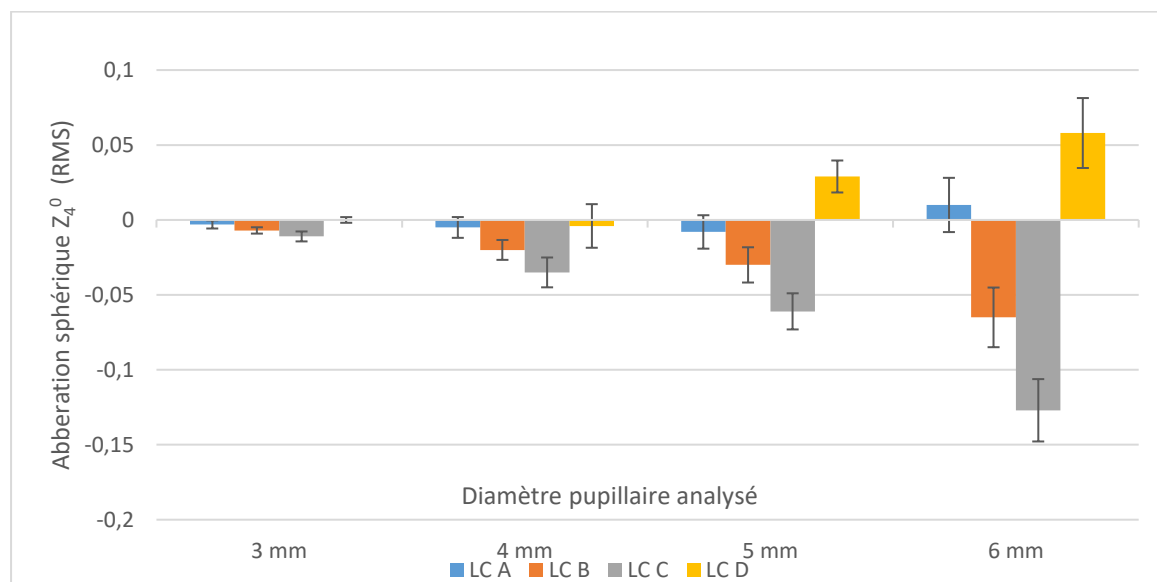
Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

3.3.5 Aberration sphérique Z_4^0

Les valeurs RMS moyennes de Z_4^0 sont représentées à la figure 9. La valeur RMS de cette aberration est influencée par le \varnothing_{pup} [$F(3,33) = 3,17$ $p = 0,0372$] et le facteur LC [$F(3,33) = 26,64$ $p < 0,0001$]. Une interaction significative est présente entre les deux facteurs [$F(9,93) = 19,57$ $p < 0,0001$]. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer a été menée en isolant chacun de ces deux facteurs. La valeur RMS absolue de cette aberration augmente avec l'augmentation du \varnothing_{pup} . Le type de LC porté influence l'impact de l'augmentation \varnothing_{pup} sur la valeur RMS de Z_4^0 . En isolant le facteur LC, l'analyse a détecté cet effet significatif entre les \varnothing_{pup} pour les LC suivantes : B, C, D mm (voir tableaux 16 et 17).

En isolant le facteur \varnothing_{pup} , l'analyse a détecté cet effet significatif entre les LC pour les \varnothing_{pup} suivants : 5, 6 mm (voir tableaux 16 et 18). De manière similaire aux aberrations de type coma Z_3^{-1} et Z_3^{+1} , l'augmentation de l'ASA entraîne une augmentation de la valeur RMS d'aberration sphérique Z_4^0 en direction négative. La présence d'ASP, au contraire, génère plutôt une augmentation de la valeur RMS de cette aberration dans le plan positif.

Figure 9. – Amplitude de l’aberration sphérique Z_4^0 en fonction du \varnothing_{pup} et le type de LC chez les participants normaux. Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 16. – Résumé de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives d’aberration sphérique (Z_4^0)

\varnothing_{pup}	LC A	LC B	LC C	LC D	LC	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
3 : 4	ns	ns	ns	ns	A : B	ns	ns	Ns	<,0001
3 : 5	ns	ns	0,0006	ns	A : C	ns	ns	0,0007	<,0001
3 : 6	ns	0,0003	<,0001	0,0002	A : D	ns	ns	0,0291	0,0057
4 : 5	ns	ns	ns	0,0478	B : C	ns	ns	Ns	<,0001
4 : 6	ns	0,0079	<,0001	ns	B : D	ns	ns	0,0001	<,0001
5 : 6	ns	ns	<,0001	ns	C : D	ns	ns	<,0001	<,0001
F(3 :93)	0,77	6,52	32,05	9,26	F(3 :93)	0,28	2,38	16,55	69,40
Pr > F	0,5159	0,0005	<,0001	<,0001	Pr > F	0,8376	0,0743	<,0001	<,0001

Note : Ns = non significatif. L’analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l’effet « diamètre pupillaire analysé » (\varnothing_{pup}) (LC isolée) est représentée à gauche. L’analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l’effet « lentille » (LC) (\varnothing_{pup} isolé) est représentée à droite.

Tableau 17. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour l’aberration sphérique Z_4^0 lors de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \varnothing_{pup} significatif pour les LC B, LC C et LC D)

$\Delta\varnothing_{pup}$ (A : B)	Différence moyenne (A - B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	Ptukey
LC B isolée						
3 : 6	0,0542	0,013	0,029	0,079	4,24	0,0003
4 : 6	0,042	0,013	0,017	0,067	3,28	0,0079
LC C isolée						
3 : 5	0,050	0,012	0,026	0,075	4,03	0,0006
3 : 6	0,123	0,013	0,097	0,148	9,34	<,0001
4 : 6	0,099	0,013	0,073	0,125	7,56	<,0001
5 : 6	0,072	0,013	0,047	0,098	5,51	<,0001
LC D isolée						
3 : 6	-0,057	0,013	-0,082	-0,031	-4,31	0,0002
4 : 5	-0,033	0,012	-0,057	-0,008	-2,63	0,0478

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 18. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour l’aberration sphérique Z_4^0 lors de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \varnothing_{pup} 5 et 6 mm)

ΔLC (1 : 2)	Différence moyenne (1 - 2)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	Ptukey
5 mm isolé						
A : C	0,053	0,013	0,027	0,079	4,03	0,0007
A : D	-0,037	0,013	-0,063	-0,011	-2,82	0,0291
B : D	-0,058	0,013	-0,084	-0,032	-4,44	0,0001
C : D	-0,090	0,013	-0,116	-0,064	-6,85	<,0001
6 mm isolé						
A : B	0,071	0,014	0,044	0,098	5,2	<,0001
A : C	0,143	0,014	0,116	0,171	10,32	<,0001
A : D	-0,047	0,014	-0,074	-0,020	-3,38	0,0057
B : C	0,072	0,014	0,045	0,010	5,14	<,0001
B : D	-0,118	0,014	-0,146	-0,091	-8,43	<,0001
C : D	-0,191	0,014	-0,218	-0,163	-13,39	<,0001

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

3.3.6 Tetrafoil Z_4^{+4}

Les valeurs RMS moyennes de Z_4^{+4} sont représentées à la figure 10. Pour ce coefficient, seul le facteur \emptyset_{pup} [$F(3,33) = 5,56, p = 0,0034$] démontre un effet significatif, le facteur LC n'ayant pas d'influence sur la valeur RMS de Z_4^{+4} LC [$F(3,33) = 0,75, p = 0,5289$]. Il n'y a pas d'interaction significative entre les deux facteurs [$F(9,93) = 1,34, p = 0,2257$].

L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer pour le facteur \emptyset_{pup} a relevé une augmentation des valeurs RMS de Z_4^{+4} avec l'augmentation du \emptyset_{pup} pour certaines comparaisons. Les détails de cette analyse sont rapportés dans le tableau 19.

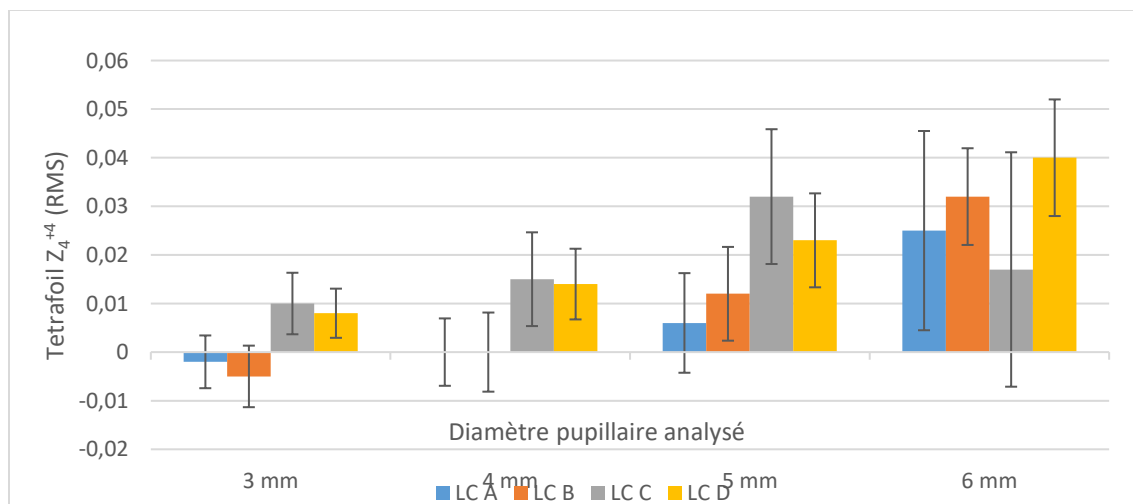
Tableau 19. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes d'amplitude de tetrafoil Z_4^{+4} (Effet \emptyset_{pup})

$\Delta\emptyset_{pup}$ (A : B)	Différence moyenne (A – B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test t	Ptukey
3 : 4	-0,004	0,007	-0,017	0,009	-0,62	0,925
3 : 5	-0,015	0,007	-0,028	-0,002	-2,22	0,1381
3 : 6*	-0,026	0,007	-0,039	-0,012	-3,72	0,004***
4 : 5	-0,011	0,007	-0,024	0,002	-1,6	0,3908
4 : 6*	-0,021	0,007	-0,035	-0,008	-3,11	0,0192***
5 : 6	-0,011	0,007	-0,024	0,003	-1,54	0,4249

Note : Les comparaisons significatives et leurs valeurs P sont en caractères gras et marquées par un *.

Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille.

Figure 10. – Amplitude de la tetrafoil Z_4^{+4} en fonction du \emptyset_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type

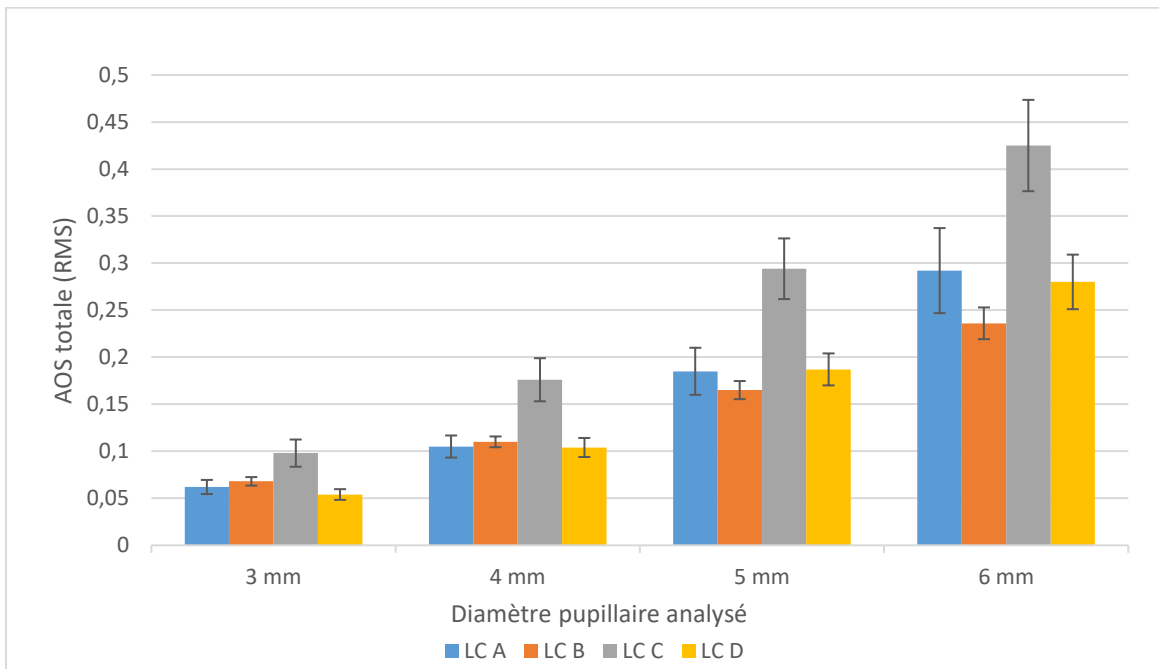


Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

3.3.7 Aberration d'ordre supérieur total (AOS total)

Les valeurs RMS moyennes d'AOS totale sont représentées à la figure 11. La valeur RMS d'AOS totale augmente significativement avec l'augmentation du \varnothing_{pup} [F(3,33) = 90,58 p < 0,0001] pour toutes les LC (voir tableaux 20 et 21). La valeur RMS d'AOS totale est également influencée par le type de LC [F(3,33) = 10,71 p < 0,0001]. De plus, une interaction significative est présente entre le facteur \varnothing_{pup} et le type de LC [F(9,93) = 7,03 p < 0,0001]. Enfin, la valeur d'AOS totale augmente significativement avec la LC C par rapport aux autres LC pour les \varnothing_{pup} suivants : 4, 5, 6 mm (voir tableaux 20 et 22).

Figure 11. – Amplitude des AOS totales en fonction du \varnothing_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared, AOS = aberrations d'ordres supérieurs.

Tableau 20. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{Tukey} soulignant des différences significatives d'amplitude des aberrations d'ordres supérieurs totales

\emptyset_{pup}	LC A	LC B	LC C	LC D	LC	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
3 : 4	ns	ns	0,0011	ns	A : B	ns	ns	ns	ns
3 : 5	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	A : C	ns	0,0192	0,0001	<,0001
3 : 6	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	A : D	ns	ns	ns	ns
4 : 5	0,0008	0,0368	<,0001	0,0005	B : C	ns	0,0321	<,0001	<,0001
4 : 6	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	B : D	ns	ns	ns	ns
5 : 6	<,0001	0,0008	<,0001	<,0001	C : D	ns	0,0179	0,0001	<,0001
F(3 :93)	50,64	27,94	36,32	49,10	F(3 :93)	1,27	4,28	11,83	20,52
Pr > F	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	Pr > F	0,2883	0,0070	<,0001	<,0001

Note : Ns = non significatif. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « diamètre pupillaire analysé » (\emptyset_{pup}) (LC isolée) est représentée à gauche. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « lentille » (LC) (\emptyset_{pup} isolé) est représentée à droite.

Tableau 21. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour les aberrations d'ordres supérieurs totales lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A, LC B, LC C et LC D)

$\Delta\emptyset_{\text{pup}}$ (A : B)	Différence moyenne (A - B)	Erreur type	IC (95%) (Limite inf.)	IC (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	Ptukey
LC A isolée						
3 : 5	-0,123	0,020	-0,163	-0,084	-6,11	<,0001
3 : 6	-0,237	0,021	-0,277	-0,196	-11,48	<,0001
4 : 5	-0,080	0,02	-0,120	-0,041	-3,98	0,0008
4 : 6	-0,194	0,021	-0,234	-0,153	-9,39	<,0001
5 : 6	-0,114	0,021	-0,1544	-0,073	-5,5	<,0001
LC B isolée						
3 : 5	-0,097	0,020	-0,136	-0,057	-4,78	<,0001
3 : 6	-0,178	0,021	-0,218	-0,138	-8,66	<,0001
4 : 5	-0,055	0,020	-0,095	-0,016	-2,74	0,0368
4 : 6	-0,137	0,021	-0,177	-0,096	-6,65	<,0001
5 : 6	-0,082	0,021	-0,122	-0,041	-3,96	0,0008
LC C isolée						
3 : 5	-0,196	0,020	-0,236	-0,157	-9,72	<,0001
3 : 6	-0,336	0,021	-0,377	-0,294	-15,93	<,0001
4 : 5	-0,118	0,020	-0,157	-0,078	-5,82	<,0001
4 : 6	-0,257	0,021	-0,299	-0,216	-12,2	<,0001
5 : 6	-0,140	0,021	-0,181	-0,098	-6,62	<,0001
LC D isolée						
3 : 5	-0,133	0,020	-0,173	-0,094	-6,6	<,0001
3 : 6	-0,240	0,021	-0,281	-0,198	-11,36	<,0001
4 : 5	-0,083	0,020	-0,122	-0,043	-4,09	0,0005
4 : 6	-0,189	0,021	-0,230	-0,148	-8,96	<,0001
5 : 6	-0,106	0,021	-0,148	-0,065	-5,04	<,0001

Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 22. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour les aberrations d'ordres supérieures totales lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 5 et 6 mm)

\emptyset_{pup} ΔLC (1 : 2)	Différence moyenne (1 - 2)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	Ptukey
4 mm isolé						
A : C	-0,071	0,024	-0,118	-0,024	-2,98	0,0192
B : C	-0,067	0,024	-0,114	-0,020	-2,79	0,0321
C : D	0,072	0,024	0,025	0,119	3	0,0179
5 mm isolé						
A : C	-0,109	0,024	-0,156	-0,061	-4,53	0,0001
B : C	-0,129	0,024	-0,176	-0,082	-5,39	<,0001
C : D	0,107	0,024	0,060	0,154	4,45	0,0001
6 mm isolé						
A : C	-0,135	0,025	-0,184	-0,086	-5,42	<,0001
B : C	-0,187	0,025	-0,237	-0,138	-7,46	<,0001
C : D	0,140	0,025	0,091	0,190	5,55	<,0001

Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

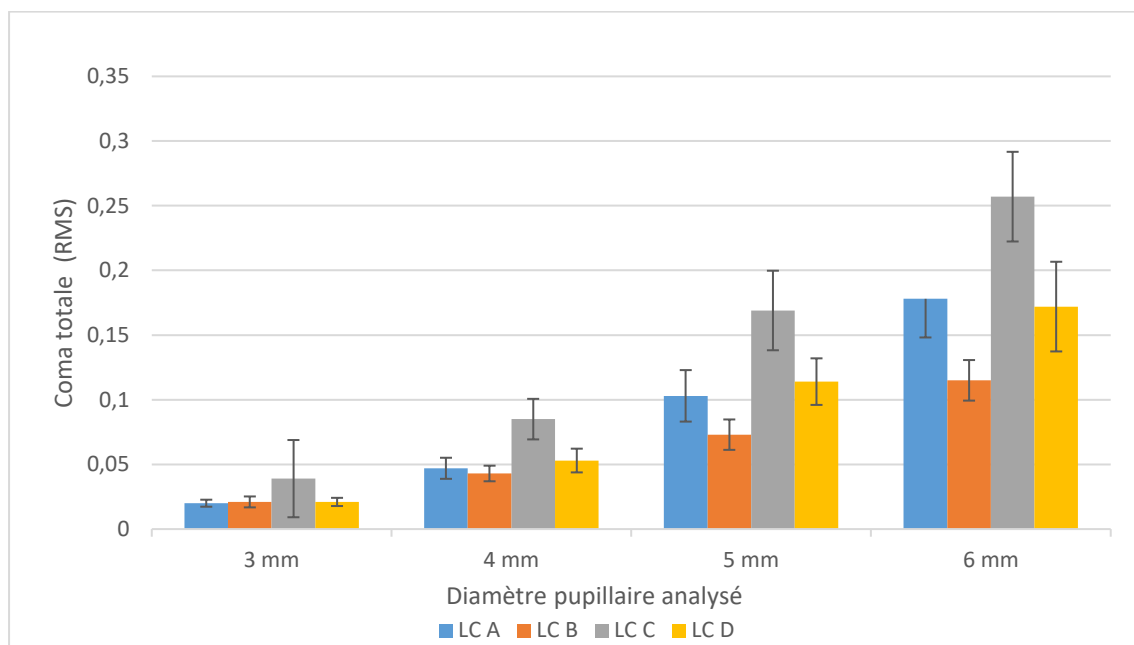
3.3.8 Coma totale

Les valeurs RMS moyennes de coma totale sont représentées à la figure 12. La valeur RMS de coma totale augmente significativement avec l'augmentation du \emptyset_{pup} [$F(3,33) = 81,36$ $p < 0,0001$]. Parallèlement, le type de LC influence significativement la valeur RMS de cette aberration [$F(3,33) = 7,09$ $p < 0,0004$]. Une interaction significative entre le facteur \emptyset_{pup} et le type de LC [$F(9,93) = 5,76$ $p < 0,0001$].

Lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer, en isolant le facteur LC, un effet significatif est constaté entre les \emptyset_{pup} pour les LC suivantes : A, B, C, D mm (voir tableaux 23 et 24). En isolant le facteur \emptyset_{pup} , un effet significatif est présent entre les LC pour les \emptyset_{pup} suivants : 4, 5, 6 mm (voir tableaux 23 et 25). Par rapport à une LC A ($e = 0$), l'utilisation d'une LC B ($e = 0,4$) entraîne une diminution de la coma significative à un \emptyset_{pup} de 5 et 6 mm. L'utilisation d'une LC C ($e = 0,6$) entraîne quant à elle une augmentation de la coma totale par rapport à une LC A. La présence d'ASP (LC D, $e_{post} = 0,3$) n'a pas entraîné de différence significative par rapport à une LC A ($e = 0$).

Figure 12. – Amplitude de coma totale en fonction du \varnothing_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal).

Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 23. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives de coma totale

\varnothing_{pup}	LC A	LC B	LC C	LC D	LC	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
3 : 4	ns	ns	0,0193	ns	A : B	ns	ns	ns	0,0129
3 : 5	<,0001	0,0069	<,0001	<,0001	A : C	ns	ns	0,0080	0,0014
3 : 6	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	A : D	ns	ns	ns	ns
4 : 5	0,0024	ns	<,0001	0,0009	B : C	ns	ns	<,0001	<,0001
4 : 6	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	B : D	ns	ns	ns	0,0182
5 : 6	<,0001	0,0308	<,0001	0,0007	C : D	ns	ns	0,0391	0,0013
F(3 :93)	40,28	13,68	71,37	37,17	F(3 :93)	0,45	1,89	8,00	15,75
Pr > F	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	Pr > F	0,7179	0,1364	<,0001	<,0001

Note : Ns = non significatif. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « diamètre pupillaire analysé » (\varnothing_{pup}) (LC isolée) est représentée à gauche. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « lentille » (LC) (\varnothing_{pup} isolé) est représentée à droite.

Tableau 24. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma totale lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet $\Delta\phi_{pup}$ significatif pour les LC A, LC B, LC C et LC D)

$\Delta\phi_{pup}$ (A : B)	Différence moyenne (A - B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	Ptukey
LC A isolée						
3 : 5	-0,084	0,016	-0,114	-0,053	-5,4	<,0001
3 : 6	-0,162	0,016	-0,193	-0,130	-10,18	<,0001
4 : 5	-0,057	0,016	-0,087	-0,026	-3,66	0,0024
4 : 6	-0,135	0,016	-0,166	-0,103	-8,48	<,0001
5 : 6	-0,078	0,016	-0,109	-0,047	-4,92	<,0001
LC B isolée						
3 : 5	-0,051	0,015	-0,082	-0,021	-3,32	0,0069
3 : 6	-0,096	0,016	-0,127	-0,065	-6,05	<,0001
4 : 6	-0,074	0,016	-0,105	-0,043	-4,69	<,0001
5 : 6	-0,044	0,016	-0,075	-0,013	-2,8	0,0308
LC C isolée						
3 : 4	-0,046	0,015	-0,076	-0,016	-2,97	0,0193
3 : 5	-0,129	0,015	-0,159	-0,099	-8,34	<,0001
3 : 6	-0,221	0,016	-0,253	-0,189	-13,57	<,0001
4 : 5	-0,083	0,0157	-0,113	-0,053	-5,37	<,0001
4 : 6	-0,175	0,016	-0,207	-0,143	-10,75	<,0001
5 : 6	-0,092	0,016	-0,124	-0,060	-5,65	<,0001
LC D isolée						
3 : 5	-0,094	0,015	-0,124	-0,063	-6,05	<,0001
3 : 6	-0,159	0,016	-0,191	-0,127	-9,76	<,0001
4 : 5	-0,061	0,015	-0,091	-0,031	-3,95	0,0009
4 : 6	-0,127	0,016	-0,159	-0,095	-7,77	<,0001
5 : 6	-0,065	0,016	-0,097	-0,033	-4,01	0,0007

Abréviations : ϕ_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 25. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma totale lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \varnothing_{pup} 5 et 6 mm)

Δ LC (1 : 2)	Différence moyenne (1 - 2)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	Ptukey
5 mm isolé						
A : C	-0,065	0,020	-0,104	-0,026	-3,27	0,008
B : C	-0,096	0,020	-0,135	-0,057	-4,8	<,0001
C : D	0,054	0,020	0,015	0,093	2,71	0,0391
6 mm isolé						
A : B	0,064	0,021	0,024	0,104	3,11	0,0129
A : C	-0,079	0,021	-0,120	-0,039	-3,82	0,0014
B : C	-0,143	0,021	-0,184	-0,102	-6,86	<,0001
B : D	-0,063	0,021	-0,104	-0,022	-2,99	0,0182
C : D	0,081	0,021	0,039	0,122	3,83	0,0013

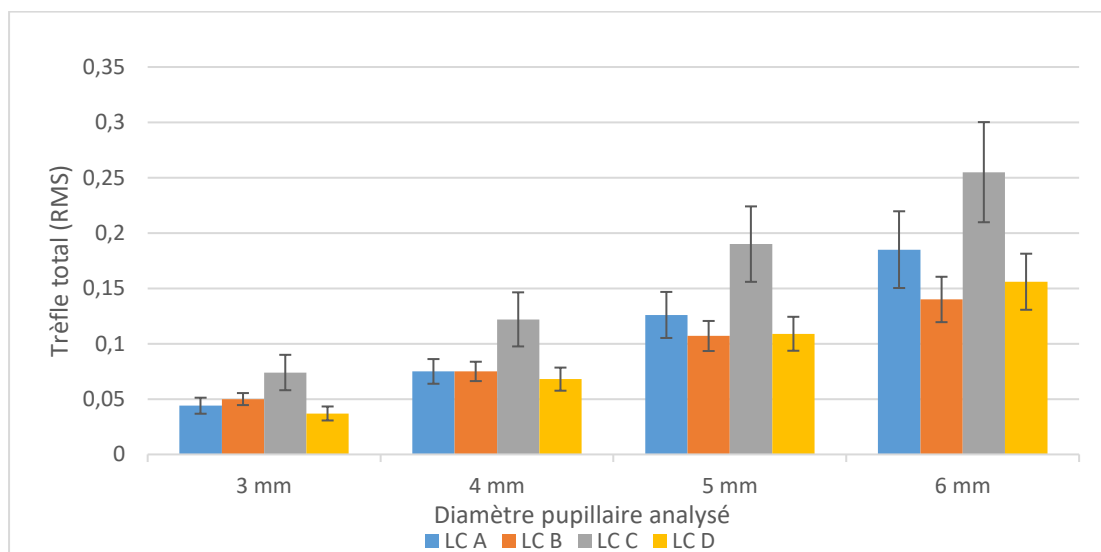
Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

3.3.9 Trèfle total

Les valeurs RMS moyennes de trèfle total sont représentées à la figure 13. La valeur RMS de trèfle total augmente significativement avec l'augmentation du \varnothing_{pup} [$F(3,33) = 51,38$ $p < 0,0001$]. La valeur RMS de trèfle total augmente significativement avec la LC C par rapport aux autres LC [$F(3,33) = 4,18$ $p < 0,0129$]. Une interaction significative entre le facteur \varnothing_{pup} et le type de LC [$F(9,93) = 3,07$ $p < 0,0029$]. Lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer, en isolant le facteur LC, un effet significatif est constaté entre les \varnothing_{pup} pour les LC suivantes : A, B, C, D mm (voir tableaux 26 et 27). En isolant le facteur \varnothing_{pup} , un effet significatif est présent entre les LC pour les \varnothing_{pup} suivants : 5, 6 mm (voir tableaux 26 et 28).

Figure 13. – Amplitude de trèfle total en fonction du \varnothing_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal).

Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 26. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives de trèfle total

\varnothing_{pup}	LC A	LC B	LC C	LC D	LC	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
3 : 4	ns	ns	ns	ns	A : B	ns	ns	ns	ns
3 : 5	<,0001	0,0036	<,0001	0,0001	A : C	ns	ns	0,0496	0,0371
3 : 6	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	A : D	ns	ns	ns	ns
4 : 5	0,0120	ns	0,0003	ns	B : C	ns	ns	0,0056	0,0002
4 : 6	<,0001	0,0001	<,0001	<,0001	B : D	ns	ns	ns	ns
5 : 6	0,0008	ns	0,0005	0,0195	C : D	ns	ns	0,0074	0,0009
F(3 :93)	30,21	13,54	46,63	19,63	F(3 :93)	0,84	2,02	5,05	7,69
Pr > F	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	Pr > F	0,7179	0,1364	0,0028	<,0001

Note : Ns = non significatif. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « diamètre pupillaire analysé » (\varnothing_{pup}) (LC isolée) est représentée à gauche. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « lentille » (LC) (\varnothing_{pup} isolé) est représentée à droite.

Tableau 27. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour le trèfle total lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A, LC B, LC C et LC D)

$\Delta\emptyset_{pup}$ (A : B)	Différence moyenne (A - B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	Ptukey
LC A isolée						
3 : 5	-0,082	0,016	-0,113	-0,050	-5,08	<,0001
3 : 6	-0,147	0,016	-0,179	-0,115	-8,91	<,0001
4 : 5	-0,050	0,016	-0,082	-0,019	-3,14	0,012
4 : 6	-0,116	0,016	-0,148	-0,083	-7,02	<,0001
5 : 6	-0,065	0,016	-0,097	-0,033	-3,96	0,0008
LC B isolée						
3 : 5	-0,057	0,016	-0,088	-0,025	-3,53	0,0036
3 : 6	-0,099	0,016	-0,131	-0,067	-6,03	<,0001
4 : 6	-0,074	0,016	-0,106	-0,042	-4,51	0,0001
LC C isolée						
3 : 5	-0,117	0,016	-0,148	-0,085	-7,26	<,0001
3 : 6	-0,187	0,017	-0,220	-0,153	-11,04	<,0001
4 : 5	-0,068	0,016	-0,100	-0,037	-4,24	0,0003
4 : 6	-0,138	0,017	-0,171	-0,105	-8,17	<,0001
5 : 6	-0,070	0,017	-0,103	-0,037	-4,13	0,0005
LC D isolée						
3 : 5	-0,072	0,016	-0,104	-0,041	-4,5	0,0001
3 : 6	-0,122	0,017	-0,156	-0,089	-7,25	<,0001
4 : 6	-0,091	0,017	-0,124	-0,057	-5,36	<,0001
5 : 6	-0,050	0,017	-0,083	-0,017	-2,97	0,0195

Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 28. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour le trèfle total lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 5 et 6 mm)

ΔLC (1 : 2)	Différence moyenne (1 - 2)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	Ptukey
5 mm isolé						
A : C	-0,065	0,025	-0,113	-0,016	-2,62	0,0496
B : C	-0,084	0,025	-0,132	-0,035	-3,39	0,0056
C : D	0,082	0,025	0,033	0,130	3,3	0,0074
6 mm isolé						
A : C	-0,069	0,025	-0,119	-0,020	-2,73	0,0371
B : C	-0,111	0,026	-0,161	-0,061	-4,35	0,0002
C : D	0,101	0,026	0,051	0,152	3,94	0,0009

Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

3.4 Groupe 2- Impact du type de lentille et du diamètre pupillaire sur la valeur RMS des différents coefficients de Zernike

Les valeurs de RMS des différents coefficients de Zernike ont été mesurées chez le groupe KC pour quatre SL différentes (A, B, C, D). Ces valeurs ont été analysées en fonction de quatre \varnothing_{pup} différents (3 mm, 4 mm, 5 mm et 6 mm).

Les statistiques descriptives détaillées incluant les valeurs RMS de chaque coefficient d'AOS en fonction du facteur \varnothing_{pup} et du facteur LC sont rapportées à l'annexe B afin d'abrégier la lecture des résultats. La normalité des données a été confirmée par inspection visuelle à l'aide de diagrammes quantile-quantile.

Des analyses de type ANOVA à mesures répétées à deux facteurs intra sujet (modèle mixte) ont été effectuées afin d'évaluer l'effet du diamètre pupillaire analysé (\varnothing_{pup}) et le choix de la lentille (LC) sur la valeur RMS pour chaque coefficient de Zernike et leurs totaux respectifs. Les résultats de ces ANOVA à mesure répétée ont été consignés dans le tableau 29.

Le \varnothing_{pup} influence le niveau d'une majorité d'aberrations mesurées sauf pour le trèfle Z_3^{+3} , tetrafoil Z_4^{-4} , astigmatisme secondaire Z_4^{+2} et tetrafoil Z_4^{+4} . Le changement du profil d'asphéricité (type de LC) génère des différences significatives au niveau de l'AOS totale et de la coma totale. Cet effet est d'ailleurs aussi présent pour les comas Z_3^{-1} et Z_3^{+1} et les aberrations sphériques Z_4^0 . Une interaction entre le facteur \varnothing_{pup} et le facteur LC a été détectée pour les coefficients suivants : coma Z_3^{-1} et Z_3^{+1} , coma totale et aberration sphérique Z_4^0 . Contrairement au groupe 1, on ne détecte pas d'interaction entre l'effet \varnothing_{pup} et l'effet LC fort probablement dû à une plus petite taille d'échantillon chez le groupe 2.

Tableau 29. – Résumé des résultats des ANOVA à mesures répétées chez le groupe 2 (n = 9) pour les valeurs RMS des différents coefficients d'AOS.

Coefficient de Zernike	Condition	Degré de liberté	Valeur F	Pr > F
6, Trèfle Z_3^{-3}	LC	3 : 24	1,35	0,2815
	Øpup	3 : 23	10,99	0,0001***
	LC X Øpup	9 : 63	0,89	0,5415
7, Coma Z_3^{-1}	LC	3 : 24	7,17	0,0013***
	Øpup	3 : 23	4,59	0,0117***
	LC X Øpup	9 : 63	3,07	0,0041***
8, Coma Z_3^{+1}	LC	3 : 24	20,72	<,0001***
	Øpup	3 : 23	3,01	0,0507
	LC X Øpup	9 : 63	16,68	<,0001***
9, Trèfle Z_3^{+3}	LC	3 : 24	0,41	0,7449
	Øpup	3 : 23	0,35	0,7920
	LC X Øpup	9 : 63	0,90	0,5282
10, Tetrafoil Z_4^{-4}	LC	3 : 24	0,19	0,9007
	Øpup	3 : 23	0,06	0,9783
	LC X Øpup	9 : 63	0,17	0,9964
11, Astigmatisme secondaire Z_4^{-2}	LC	3 : 24	1,12	0,3613
	Øpup	3 : 23	6,88	0,0018***
	LC X Øpup	9 : 63	1,21	0,3032
12, Aberration sphérique Z_4^0	LC	3 : 24	25,65	<,0001***
	Øpup	3 : 23	10,46	0,0002***
	LC X Øpup	9 : 63	12,74	<,0001***
13, Astigmatisme secondaire Z_4^{+2}	LC	3 : 24	0,65	0,5934
	Øpup	3 : 23	0,39	0,7616
	LC X Øpup	9 : 63	0,24	0,9872
14, Tetrafoil Z_4^{+4}	LC	3 : 24	0,20	0,8955
	Øpup	3 : 23	1,84	0,1675
	LC X Øpup	9 : 63	0,84	0,5785
AOS total	LC	3 : 24	3,09	0,0461***
	Øpup	3 : 23	33,54	<,0001***
	LC X Øpup	9 : 63	1,98	0,0569
Coma totale	LC	3 : 24	11,04	<,0001***
	Øpup	3 : 23	23,48	<,0001***
	LC X Øpup	9 : 63	6,77	<,0001***
Trèfle total	LC	3 : 24	0,76	0,5277
	Øpup	3 : 23	27,12	<,0001***
	LC X Øpup	9 : 63	0,46	0,8947

Abréviations: RMS = root-mean-squared, AOS = aberrations d'ordres supérieurs, Øpup = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille.

3.4.1 Trèfle Z_3^{-3}

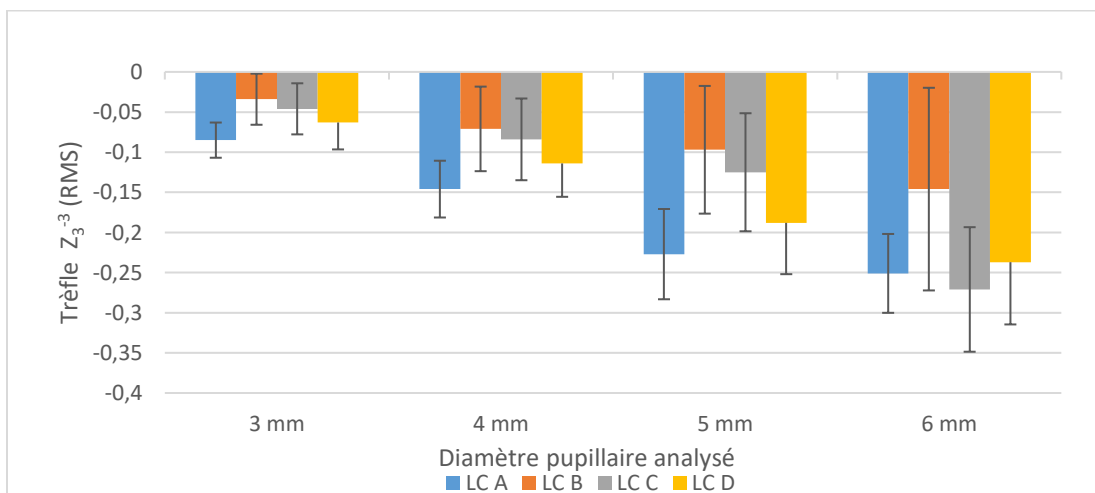
Les valeurs RMS moyennes de trèfle Z_3^{-3} sont représentées à la figure 14. Pour ce coefficient, un effet significatif est constaté seulement pour le facteur \varnothing_{pup} [$F(3,23) = 10,99$ $p < 0,0001$] démontre un effet significatif. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer pour le facteur \varnothing_{pup} a relevé une augmentation des valeurs RMS de trèfle Z_3^{-3} avec l'augmentation du \varnothing_{pup} pour certaines comparaisons. Les détails de cette analyse ont été rapportés dans le tableau 30. Le type de LC n'influence pas la valeur RMS de trèfle Z_3^{-3} [$F(3,24) = 1,35$ $p = 0,2815$]. Il n'y a pas d'interaction significative entre les deux facteurs [$F(9,63) = 0,89$, $p = 0,5415$].

Tableau 30. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes d'amplitude de trèfle Z_3^{-3} (Effet \varnothing_{pup})

$\Delta\varnothing_{\text{pup}}$ (A : B)	Différence moyenne (A – B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du t est t	Ptukey
3 : 4	0,047	0,030	-0,013	0,107	1,54	0,4287
3 : 5*	0,098	0,031	0,039	0,158	3,22	0,0185***
3 : 6*	0,178	0,032	0,114	0,242	5,49	<,0001***
4 : 5	0,051	0,031	-0,009	0,111	1,68	0,3561
4 : 6*	0,130	0,032	0,067	0,194	4,04	0,0027***
5 : 6	0,080	0,032	0,016	0,143	2,45	0,0958

Note : Les comparaisons significatives et leurs valeurs P sont en caractères gras et marquées par un *.
Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille.

Figure 14. – Amplitude de trèfle Z_3^{-3} en fonction du \varnothing_{pup} et du type de LC chez le groupe 2 (KC). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



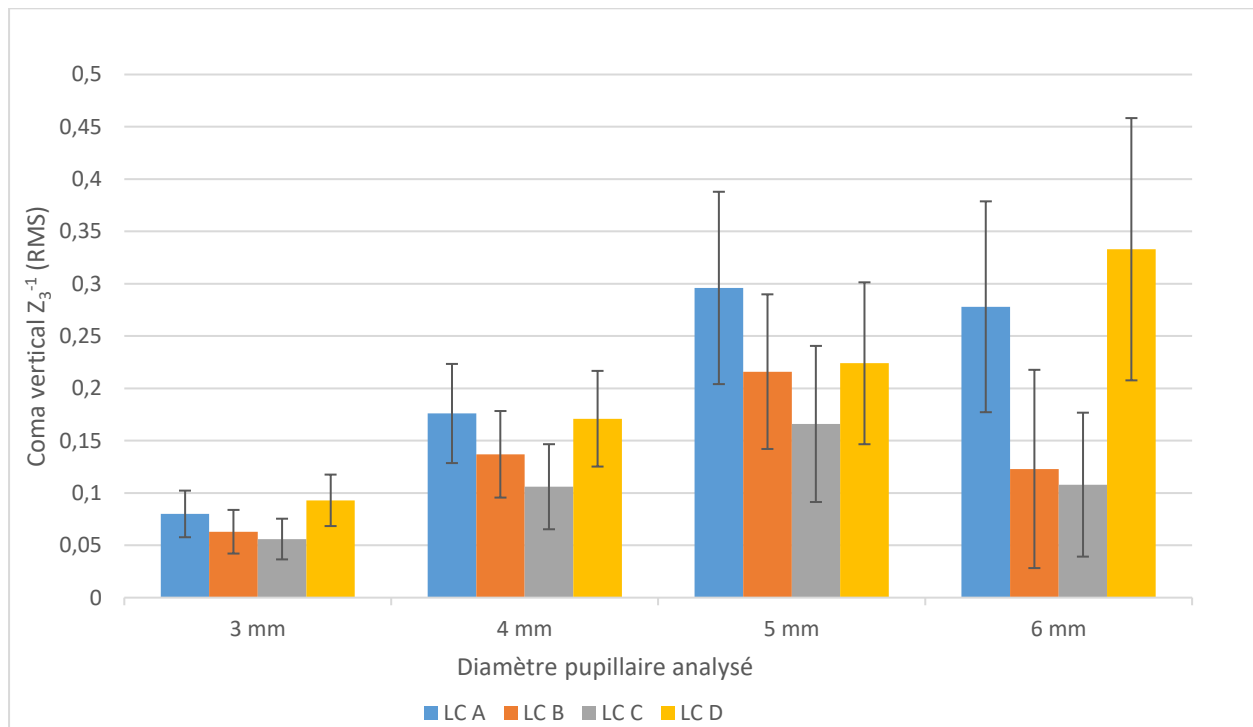
Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

3.4.1 Coma verticale Z_3^{-1}

Les valeurs RMS moyennes de coma verticale Z_3^{-1} sont représentées à la figure 15. La valeur RMS de cette aberration est influencée par le \varnothing_{pup} [$F(3,23) = 4,59$ $p = 0,0117$] et le facteur LC [$F(3,24) = 7,17$ $p < 0,0013$]. Une interaction significative est présente entre les deux facteurs [$F(9,63) = 3,07$ $p < 0,0041$]. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer a été menée en isolant chacun de ces deux facteurs. En isolant le facteur LC, l'analyse a détecté un effet significatif entre les \varnothing_{pup} pour les LC suivantes : A, D (voir tableaux 31 et 32). Comme attendu, la valeur RMS absolue de cette aberration augmente avec l'augmentation du \varnothing_{pup} tout en étant influencée par le type de LC portée.

En isolant le facteur \varnothing_{pup} , l'analyse a plutôt détecté un effet significatif entre les LC pour les \varnothing_{pup} suivants : 5, 6 mm (voir tableaux 31 et 33). L'augmentation de l'ASA entraîne une diminution de la valeur de coma Z_3^{-1} positive alors que la présence d'ASP n'entraîne pas de changement à ces valeurs.

Figure 15. – Amplitude de la coma verticale (Z_3^{-1}) en fonction \varnothing_{pup} et le type de LC chez le groupe 2 (KC). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 31. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives de coma verticale (Z_3^{-1})

\emptyset_{pup}	LC A	LC B	LC C	LC D	LC	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
3 : 4	ns	ns	ns	ns	A : B	ns	ns	ns	0,0014
3 : 5	0,0014	ns	ns	0,0083	A : C	ns	ns	0,0023	0,0026
3 : 6	0,0026	ns	ns	0,0012	A : D	ns	ns	ns	ns
4 : 5	ns	ns	ns	ns	B : C	ns	ns	ns	ns
4 : 6	ns	ns	ns	ns	B : D	ns	ns	ns	0,0001
5 : 6	ns	ns	ns	ns	C : D	ns	ns	0,0134	0,0002
F(3 :63)	6,80	2,53	1,45	6,49	F(3 :63)	0,45	1,76	5,77	11,43
Pr > F	0,0005	0,0649	0,2358	0,0007	Pr > F	0,7173	0,1635	0,0015	0,0001

Note : Ns = non significatif. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « diamètre pupillaire analysé » (\emptyset_{pup}) (LC isolée) est représentée à gauche. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « lentille » (LC) (\emptyset_{pup} isolé) est représentée à droite.

Tableau 32. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma verticale Z_3^{-1} lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A et LC D)

$\Delta\emptyset_{\text{pup}}$ (A : B)	Différence moyenne (A - B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test T	P_{tukey}
LC A isolée						
3 : 5	-0,216	0,056	-0,325	-0,107	-3,87	0,0014
3 : 6	-0,220	0,060	-0,338	-0,103	-3,68	0,0026
LC D isolée						
3 : 5	-0,186	0,056	-0,297	-0,076	-3,30	0,0083
3 : 6	-0,231	0,059	-0,346	-0,116	-3,93	0,0012

Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 33. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma verticale Z_3^{-1} lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \varnothing_{pup} 5 et 6 mm)

ΔLC (1 : 2)	Différence moyenne (1 - 2)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test T	Ptukey
5 mm isolé						
A : C	0,130	0,035	0,062	0,198	3,73	0,0023
C : D	-0,113	0,036	-0,183	-0,042	-3,14	0,0134
6 mm isolé						
A : B	0,153	0,039	0,076	0,230	3,88	0,0014
A : C	0,158	0,043	0,074	0,241	3,69	0,0026
B : D	-0,176	0,038	-0,250	-0,102	-4,65	0,0001
C : D	-0,180	0,041	-0,261	-0,100	-4,41	0,0002

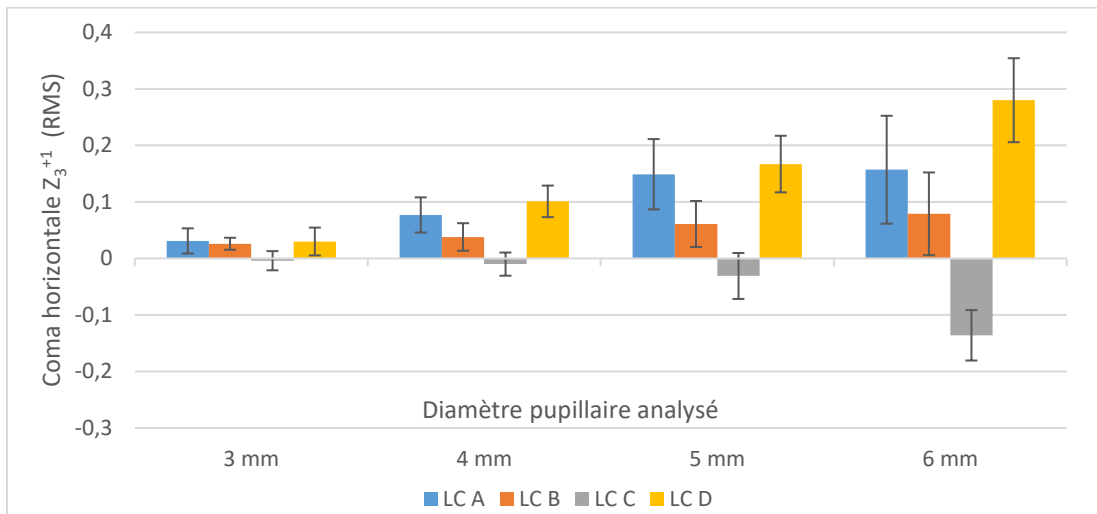
Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

3.4.2 Coma horizontale Z_3^{+1}

Les valeurs RMS moyennes de coma horizontale Z_3^{+1} sont représentées à la figure 16. La valeur RMS de cette aberration est influencée par le \varnothing_{pup} [$F(3,23) = 3,01$ $p = 0,0507$] et le facteur LC [$F(3,24) = 20,72$ $p < 0,0001$]. Une interaction significative est présente entre ces deux facteurs [$F(9,63) = 16,68$ $p < 0,0001$]. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer a été menée en isolant chacun de ces deux facteurs. En isolant le facteur LC, l'analyse a détecté un effet significatif entre les \varnothing_{pup} pour les LC suivantes : A, D (voir tableaux 34 et 35). Tout comme dans le cas de la coma verticale Z_3^{+1} , la valeur RMS absolue de cette aberration augmente avec l'augmentation du \varnothing_{pup} . Cet effet, causé par le changement de \varnothing_{pup} , est également influencé par le type de LC portée.

En isolant le facteur \varnothing_{pup} , l'analyse a détecté un effet significatif entre les LC pour les \varnothing_{pup} suivants : 4, 5, 6 mm (voir tableaux 34 et 36). L'augmentation de l'ASA entraîne une diminution de la valeur de coma Z_3^{-1} positive tandis que la présence d'ASP entraîne plutôt une augmentation de celle-ci.

Figure 16. – Amplitude de la coma horizontale (Z_3^{+1}) en fonction du \varnothing_{pup} et le type de LC chez le groupe 2 (KC). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 34. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives de coma horizontale (Z_3^{+1})

\varnothing_{pup}	LC A	LC B	LC C	LC D	LC	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
\varnothing_{pup}	LC A	LC B	LC C	LC D	LC	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
3 : 4	ns	ns	ns	ns	A : B	ns	ns	0,0153	ns
3 : 5	0,0066	ns	ns	0,0002	A : C	ns	0,0169	<,0001	<,0001
3 : 6	0,0091	ns	ns	<,0001	A : D	ns	ns	ns	0,0015
4 : 5	ns	ns	ns	ns	B : C	ns	ns	0,0103	<,0001
4 : 6	ns	ns	ns	<,0001	B : D	ns	ns	0,0002	<,0001
5 : 6	ns	ns	ns	ns	C : D	ns	0,0013	< 0,0001	< 0,0001
F(3 :63)	5,44	0,98	1,82	16,89	F(3 :63)	0,69	5,82	22,99	43,34
Pr > F	0,0022	0,4088	0,1518	< 0,0001	Pr > F	0,5628	0,0014	< 0,0001	< 0,0001

Note : Ns = non significatif. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « diamètre pupillaire analysé » (\varnothing_{pup}) (LC isolée) est représentée à gauche. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « lentille » (LC) (\varnothing_{pup} isolé) est représentée à droite.

Tableau 35. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour Z_3^{+1} lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A et LC D)

$\Delta\emptyset_{pup}$ (A : B)	Différence moyenne (A - B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	Ptukey
LC A isolée						
3 : 5	-0,117	0,035	-0,185	-0,049	-3,39	0,0066
3 : 6	-0,123	0,037	-0,196	-0,049	-3,27	0,0091
LC D isolée						
3 : 5	-0,159	0,035	-0,228	-0,090	-4,51	0,0002
3 : 6	-0,245	0,037	-0,317	-0,173	-6,69	<,0001
4 : 6	-0,174	0,037	-0,246	-0,102	-4,75	<,0001

Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 36. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma horizontale Z_3^{+1} lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 4, 5 et 6 mm)

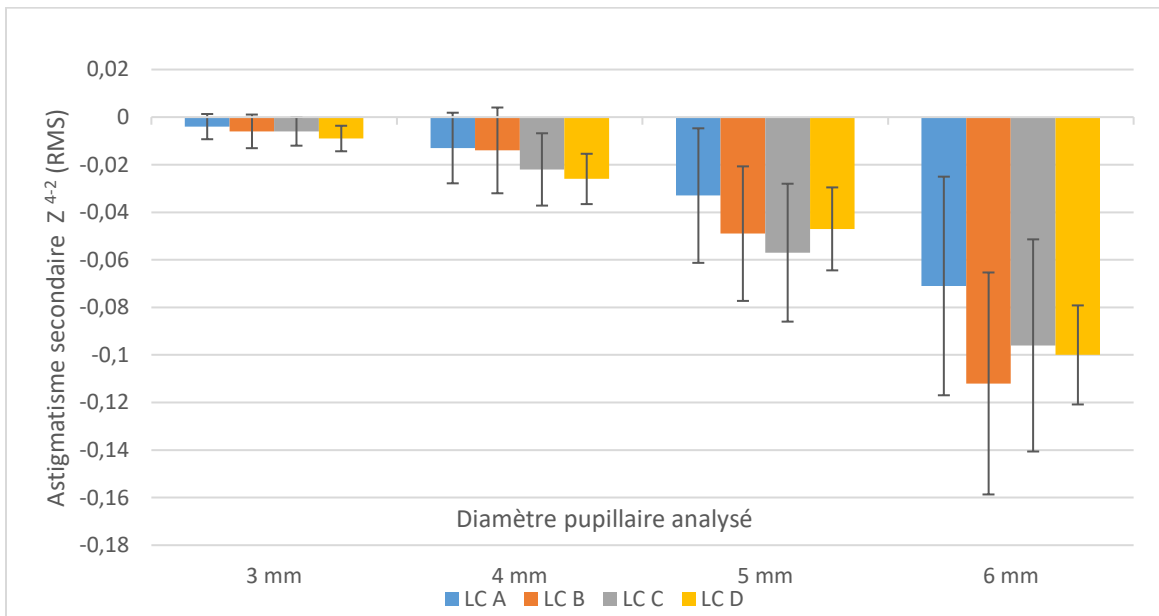
ΔLC (1 : 2)	Différence moyenne (1 - 2)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	Ptukey
4 mm isolé						
A : C	0,087	0,028	0,031	0,14	3,06	0,0169
C : D	-0,111	0,028	-0,167	-0,055	-3,9	0,0013
5 mm isolé						
A : B	0,088	0,028	0,032	0,144	3,09	0,0153
A : C	0,180	0,028	0,124	0,236	6,32	<,0001
B : C	0,092	0,028	0,036	0,148	3,23	0,0103
B : D	-0,128	0,029	-0,185	-0,071	-4,4	0,0002
C : D	-0,220	0,029	-0,277	-0,163	-7,56	<,0001
6 mm isolé						
A : C	0,238	0,033	0,173	0,303	7,2	<,0001
A : D	-0,121	0,031	-0,183	-0,060	-3,86	0,0015
B : C	0,166	0,031	0,106	0,227	5,36	<,0001
B : D	-0,193	0,030	-0,252	-0,134	-6,4	<,0001
C : D	-0,360	0,032	-0,422	-0,297	-11,22	<,0001

Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

3.4.3 Astigmatisme secondaire Z_4^{-2}

Les valeurs RMS moyennes d'astigmatisme secondaire Z_4^{-2} sont représentées à la figure 17. Pour ce coefficient, un effet significatif est constaté seulement pour le facteur \varnothing_{pup} [$F(3,23) = 6,88$ $p = 0,0018$] démontre un effet significatif. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer pour le facteur \varnothing_{pup} a relevé une augmentation des valeurs RMS d'astigmatisme secondaire Z_4^{-2} avec l'augmentation du \varnothing_{pup} pour certaines comparaisons. Les détails de cette analyse sont rapportés dans le tableau 37. Le type de LC n'influence pas la valeur RMS de Z_4^{-2} [$F(3,24) = 1,12$ $p = 0,3613$]. Il n'y a pas d'interaction significative entre les deux facteurs [$F(9,63) = 1,21$, $p = 0,3032$].

Figure 17. – Amplitude de l'astigmatisme secondaire Z_4^{-2} en fonction du \varnothing_{pup} et le type de chez le groupe 2 (KC). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 37. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes d'amplitude d'astigmatisme secondaire Z_4^{-2} (Effet \emptyset_{pup})

\emptyset_{pup} (A : B)	Différence moyenne (A – B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test t	Ptukey
3 : 4	0,012	0,019	-0,025	0,049	0,65	0,9149
3 : 5	0,041	0,019	0,004	0,078	2,15	0,1664
3 : 6*	0,083	0,020	0,044	0,121	4,2	0,0018***
4 : 5	0,028	0,019	-0,009	0,065	1,51	0,4505
4 : 6*	0,071	0,020	0,032	0,109	3,58	0,008***
5 : 6	0,042	0,020	0,004	0,081	2,14	0,1702

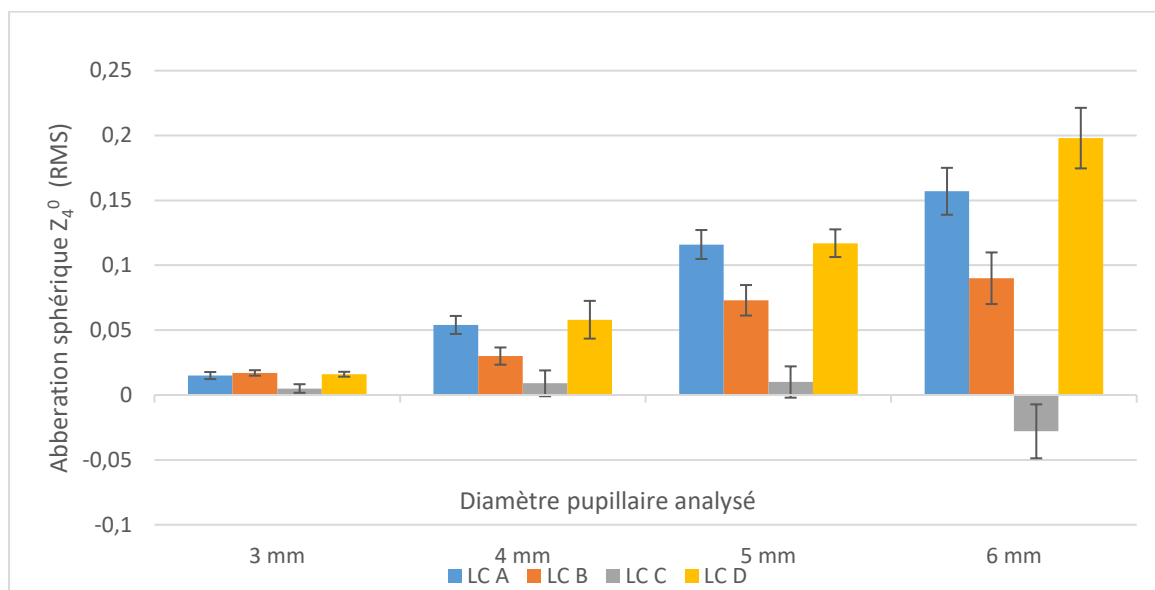
Note : Les comparaisons significatives et leurs valeurs P sont en caractères gras et marquées par un *.
Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille.

3.4.4 Aberration sphérique Z_4^0

Les valeurs RMS moyennes de Z_4^0 sont représentées à la figure 18. La valeur de cette aberration est influencée par le facteur \emptyset_{pup} [$F(3,23) = 10,46$ $p = 0,0002$] et le facteur LC [$F(3,24) = 25,65$ $p < 0,0001$]. Une interaction significative est présente entre ces deux facteurs [$F(9,63) = 12,74$ $p < 0,0001$]. L'analyse post-hoc de Tukey Kramer a été menée en isolant chacun de ces deux facteurs. En isolant le facteur LC, l'analyse a détecté un effet significatif entre les \emptyset_{pup} pour les LC suivantes : A, B, D (voir tableaux 38 et 39). De façon attendue, la valeur absolue de RMS de cette aberration augmente avec l'augmentation du \emptyset_{pup} . Ce changement de valeur RMS générée par l'augmentation du \emptyset_{pup} est aussi influencé par le type de LC porté.

En isolant le facteur \emptyset_{pup} , l'analyse a détecté un effet significatif entre les LC pour les \emptyset_{pup} suivants : 4, 5, 6 mm (voir tableaux 38 et 40). L'augmentation de l'ASA entraîne une diminution de la valeur d'aberration sphérique positive. Contrairement au groupe 1, la présence d'ASP n'a pas entraîné de changement statistiquement significatif pour ce qui a trait à la valeur RMS d'aberration sphérique chez le groupe 2.

Figure 18. – Amplitude de l’aberration sphérique Z_4^0 en fonction du \varnothing_{pup} et le type de LC chez le groupe 2 (KC). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 38. – Résumé de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives d’aberration sphérique (Z_4^0)

\varnothing_{pup}	LC A	LC B	LC C	LC D	LC	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
\varnothing_{pup}	LC A	LC B	LC C	LC D	LC	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
3 : 4	ns	ns	ns	0,2012	A : B	ns	ns	ns	0,0094
3 : 5	<,0001	0,0465	ns	<,0001	A : C	ns	0,0397	<,0001	<,0001
3 : 6	<,0001	0,0031	ns	<,0001	A : D	ns	ns	ns	ns
4 : 5	ns	ns	ns	0,0071	B : C	ns	ns	0,0015	<,0001
4 : 6	ns	0,0185	ns	<,0001	B : D	ns	ns	0,0071	<,0001
5 : 6	ns	ns	ns	0,0457	C : D	ns	0,0202	<,0001	<,0001
F(3 :63)	15,71	5,78	0,68	23,85	F(3 :63)	0,259	3,84	20,92	43,43
Pr > F	<,0001	0,0015	0,5672	<,0001	Pr > F	0,8632	0,0137	<,0001	<,0001

Note : Ns = non significatif. L’analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l’effet « diamètre pupillaire analysé » (\varnothing_{pup}) (LC isolée) est représentée à gauche. L’analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l’effet « lentille » (LC) (\varnothing_{pup} isolé) est représentée à droite.

Tableau 39. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour l’aberration sphérique Z_4^0 lors de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \varnothing_{pup} significatif pour les LC A, LC C et LC D)

$\Delta\varnothing_{pup}$ (A : B)	Différence moyenne (A – B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	p_{tukey}
LC A isolée						
3 : 5	-0,101	0,021	-0,142	-0,059	-4,78	<,0001
3 : 6	-0,142	0,023	-0,187	-0,097	-6,16	<,0001
4 : 5	-0,062	0,021	-0,103	-0,021	-2,95	0,0226
4 : 6	-0,104	0,023	-0,149	-0,058	-4,49	0,0002
LC C isolée						
3 : 5	-0,056	0,021	-0,098	-0,015	-2,67	0,0465
3 : 6	-0,079	0,022	-0,122	-0,036	-3,63	0,0031
4 : 6	-0,066	0,022	-0,109	-0,023	-3,02	0,0185
LC D isolée						
3 : 5	-0,114	0,022	-0,156	-0,072	-5,31	<,0001
3 : 6	-0,175	0,022	-0,219	-0,131	-7,79	<,0001
4 : 5	-0,072	0,022	-0,114	-0,030	-3,36	0,0071
4 : 6	-0,133	0,022	-0,177	-0,089	-5,92	<,0001
5 : 6	-0,061	0,023	-0,105	-0,016	-2,68	0,0457

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 40. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour l’aberration sphérique Z_4^0 lors de l’analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \varnothing_{pup} 4, 5 et 6 mm)

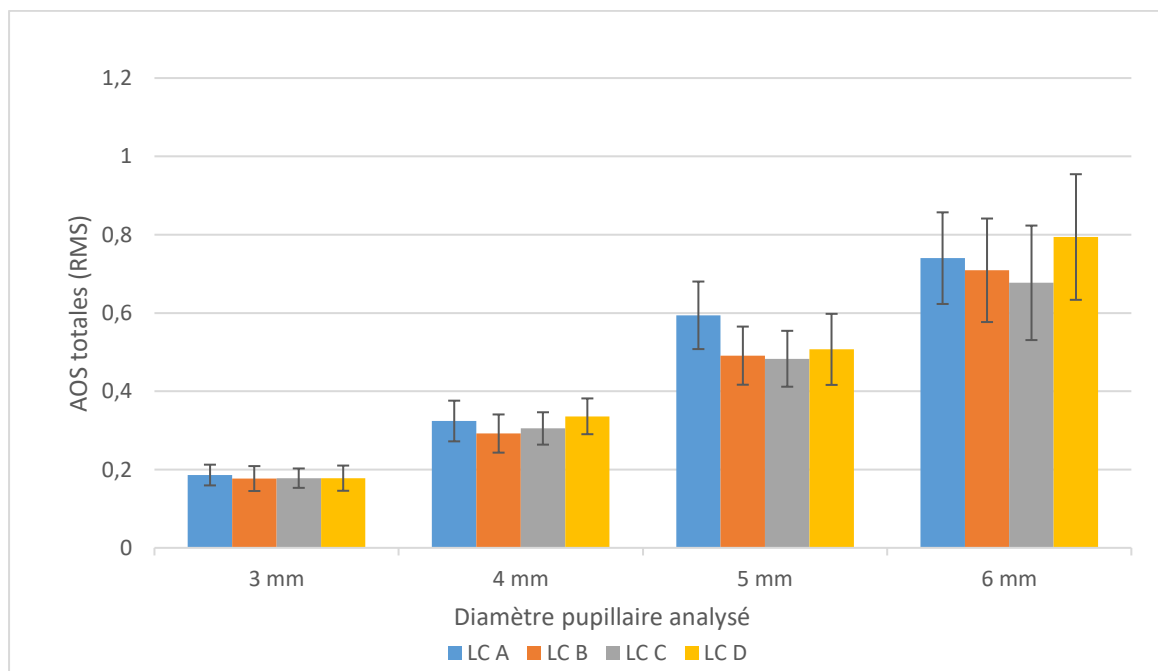
ΔLC (1 : 2)	Différence moyenne (A - B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	p_{tukey}
4 mm isolé						
A : C	0,045	0,016	0,013	0,077	2,73	0,0397
C : D	-0,049	0,016	-0,081	-0,017	-2,99	0,0202
5 mm isolé						
A : C	0,105	0,016	0,073	0,137	6,45	<,0001
B : C	0,063	0,016	0,031	0,095	3,85	0,0015
B : D	-0,057	0,017	-0,090	-0,024	-3,36	0,0071
C : D	-0,120	0,017	-0,153	-0,087	-7,09	<,0001
6 mm isolé						
A : B	0,061	0,019	0,024	0,097	3,26	0,0094
A : C	0,177	0,020	0,137	0,216	8,74	<,0001
B : C	0,116	0,019	0,079	0,152	6,24	<,0001
B : D	-0,094	0,018	-0,129	-0,059	-5,28	<,0001
C : D	-0,210	0,019	-0,248	-0,172	-10,86	<,0001

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

3.4.5 Aberration d'ordre supérieur total (AOS total)

Les valeurs RMS moyennes d'AOS totale sont représentées à la figure 19. Une augmentation de la valeur d'AOS totale est constatée avec l'augmentation du \varnothing_{pup} [$F(3,23) = 3,54$ $p < 0,0001$]. De plus, un effet à la limite du seuil significatif est détecté entre les types de LC [$F(3,24) = 3,09$, $p = 0,0461$] sans toutefois déceler de différences significatives pour les différentes comparaisons lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (voir tableau 41). On peut donc rapporter qu'il y a des différences entre les LC sans spécifier quelle comparaison spécifique de LC est concernée. Une telle situation est probablement associée à une faible puissance statistique découlant d'un petit nombre de sujets auprès de l'échantillon de ce groupe. L'analyse n'a pas constaté d'interaction entre le facteur \varnothing_{pup} et le facteur LC [$F(9,63) = 1,98$, $p = 0,0569$].

Figure 19. – Amplitude des AOS totales en fonction du \varnothing_{pup} et le type de chez le groupe 2 (KC). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared, AOS = aberrations d'ordres supérieurs.

Tableau 41. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes d'amplitude des aberrations d'ordres supérieurs totales (Effet \emptyset_{pup} et effet LC)

Effet	Δ LC	$\Delta \emptyset_{pup}$	Différence moyenne (1 – 2) ou (A-B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test T	P aj.
\emptyset_{pup}		3 : 4.	-0,135	0,059	-0,251	-0,019	-2.28	0,1332
\emptyset_{pup}		3 : 5*	-0,349	0,059	-0,465	-0,233	-5.89	<,0001***
\emptyset_{pup}		3 : 6*	-0,577	0,062	-0,698	-0,456	-9.34	<,0001***
\emptyset_{pup}		4 : 5*	-0,214	0,059	-0,330	-0,098	-3.62	0,0074***
\emptyset_{pup}		4 : 6*	-0,442	0,062	-0,563	-0,321	-7.16	<,0001***
\emptyset_{pup}		5 : 6*	-0,228	0,062	-0,349	-0,107	-3.70	0,0061***
LC	A : B		0,055	0,025	0,005	0,104	2.15	0,1652
LC	A : C		0,061	0,026	0,011	0,111	2.37	0,11
LC	A : D		0,006	0,026	-0,044	0,056	0.23	0,9954
LC	B : C		0,006	0,025	-0,043	0,056	0.25	0,9943
LC	B : D		-0,049	0,025	-0,098	0,001	-1.92	0,2463
LC	C : D		-0,055	0,026	-0,105	-0,005	-2.14	0,168

Abréviations : Les comparaisons significatives et leurs valeurs P sont en caractères gras et marquées par un *. \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille.

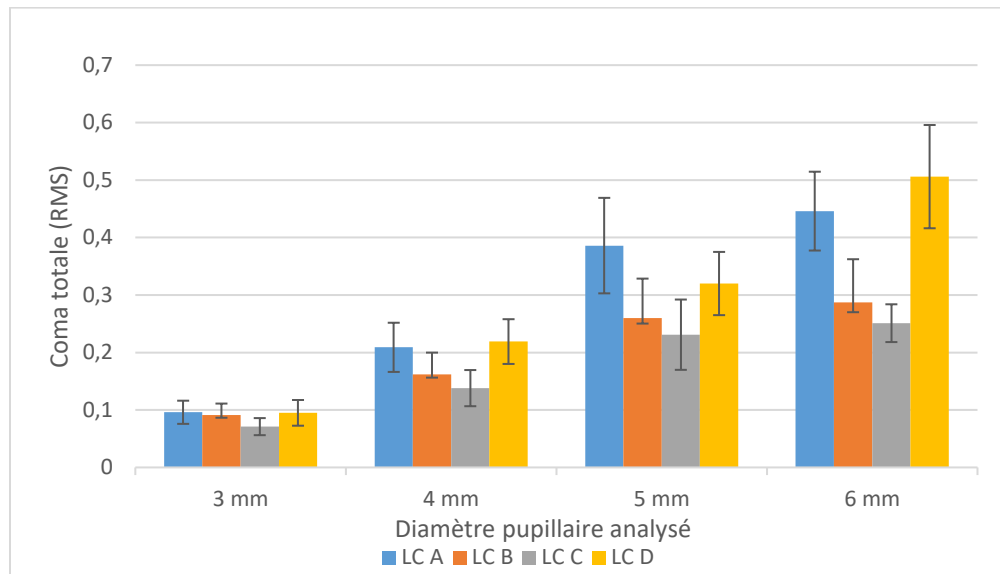
3.4.6 Coma totale

Les valeurs RMS moyennes de coma totale sont représentées à la figure 20. La valeur RMS de coma totale augmente significativement avec l'augmentation du \emptyset_{pup} LC [F 3,23) = 23,48 p < 0,0001] pour toutes les LC (voir les détails de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer aux tableaux 42 et 43). De plus, la valeur RMS de coma totale est également influencée par le type de LC portée [F(3,24) = 11,04 p < 0,0001]. Une interaction significative est présente entre le facteur \emptyset_{pup} et le facteur LC [F 3,63) = 6,77 p < 0,0001].

L'analyse post-hoc (Tukey-Kramer) permet de constater que l'utilisation de LC B et C a entraîné une diminution de la valeur RMS de coma totale par rapport aux LC A et D pour les \emptyset_{pup} 5 mm et 6 mm (voir tableaux 42 et 44).

Figure 20. – Amplitude de la coma totale en fonction du \varnothing_{pup} et le type de LC chez le groupe 2 (KC).

Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 42. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives de coma totale

\varnothing_{pup}	LC A	LC B	LC C	LC D	LC	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
3 : 4	0,0584	0,3757	0,4318	0,0324	A : B	ns	ns	0,0016	0,0001
3 : 5	<,0001	0,0015	0,0031	<,0001	A : C	ns	ns	<,0001	<,0001
3 : 6	<,0001	<,0001	0,0001	<,0001	A : D	ns	ns	ns	ns
4 : 5	0,0009	0,1254	0,1597	0,0056	B : C	ns	ns	ns	ns
4 : 6	<,0001	0,0104	0,0126	<,0001	B : D	ns	ns	0,0078	<,0001
5 : 6	0,2268	0,7036	0,6245	0,0092	C : D	ns	ns	0,0005	<,0001
F(3 : 63)	27,27	9,42	8,58	32,26	F(3 : 63)	0,25	2,75	11,19	20,12
Pr > F	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	Pr > F	0,8632	0,0499	<,0001	<,0001

Note : Ns = non significatif. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « diamètre pupillaire analysé » (\varnothing_{pup}) (LC isolée) est représentée à gauche. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « lentille » (LC) (\varnothing_{pup} isolé) est représentée à droite.

Tableau 43. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma totale lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet \emptyset_{pup} significatif pour les LC A, LC B, LC C et LC D)

$\Delta\emptyset_{\text{pup}}$ (A : B)	Différence moyenne (A - B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	Ptukey
LC A isolée						
3 : 5	-0,290	0,044	-0,376	-0,204	-6,59	<,0001
3 : 6	-0,381	0,048	-0,475	-0,288	-8,01	<,0001
4 : 5	-0,176	0,044	-0,263	-0,090	-4,02	0,0009
4 : 6	-0,268	0,048	-0,361	-0,175	-5,64	<,0001
LC B isolée						
3 : 5	-0,169	0,044	-0,255	-0,083	-3,85	0,0015
3 : 6	-0,219	0,046	-0,308	-0,129	-4,79	<,0001
4 : 6	-0,147	0,046	-0,237	-0,058	-3,23	0,0104
LC C isolée						
3 : 5	-0,160	0,044	-0,246	-0,074	-3,63	0,0031
3 : 6	-0,217	0,048	-0,310	-0,124	-4,57	0,0001
4 : 6	-0,150	0,048	-0,243	-0,057	-3,16	0,0126
LC D isolée						
3 : 4	-0,124	0,044	-0,210	-0,038	-2,81	0,0324
3 : 5	-0,277	0,045	-0,364	-0,189	-6,21	<,0001
3 : 6	-0,430	0,047	-0,522	-0,339	-9,24	<,0001
4 : 5	-0,153	0,045	-0,241	-0,066	-3,44	0,0056
4 : 6	-0,307	0,047	-0,398	-0,216	-6,59	<,0001
5 : 6	-0,153	0,047	-0,245	-0,062	-3,27	0,0092

Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 44. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs RMS pour la coma totale lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer (Effet LC significatif pour les \emptyset_{pup} 5 et 6 mm)

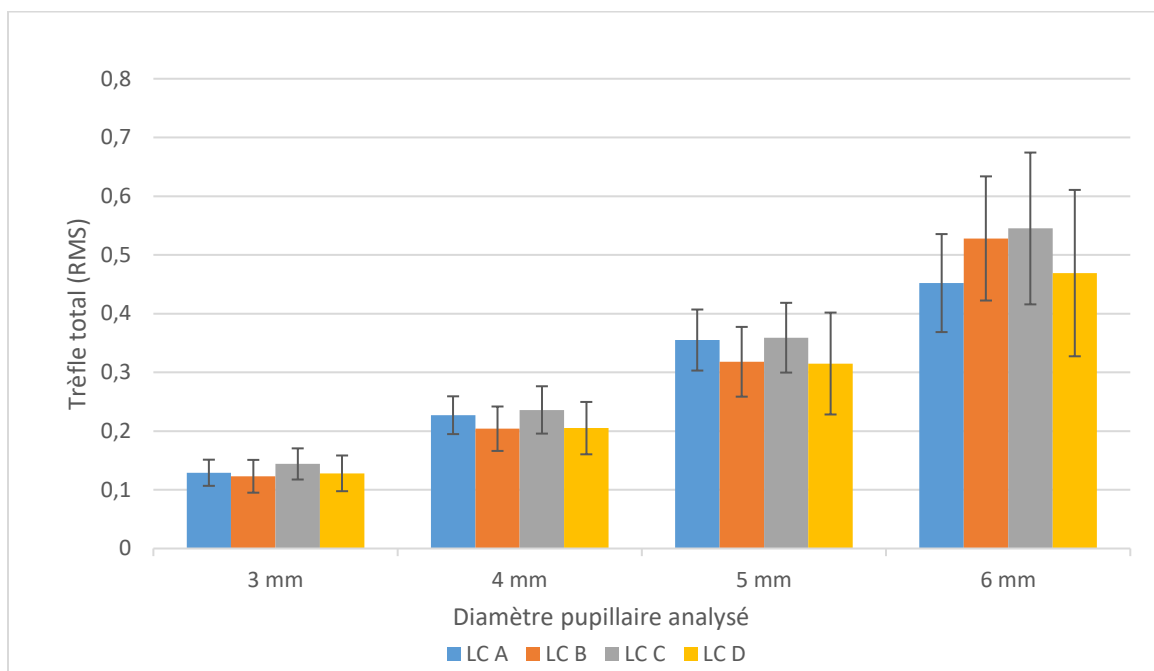
Δ LC (1 : 2)	Différence moyenne (1 - 2)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	p_{tukey}
5 mm isolé						
A : B	0,125	0,033	0,061	0,189	3,84	0,0016
A : C	0,155	0,033	0,091	0,219	4,74	<,0001
B : D	-0,112	0,034	-0,177	-0,046	-3,33	0,0078
C : D	-0,141	0,034	-0,207	-0,075	-4,2	0,0005
6 mm isolé						
A : B	0,168	0,037	0,096	0,239	4,6	0,0001
A : C	0,189	0,039	0,112	0,266	4,8	<,0001
B : D	-0,216	0,035	-0,285	-0,147	-6,14	<,0001
C : D	-0,237	0,038	-0,311	-0,163	-6,26	<,0001

Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

3.4.7 Trèfle total

Les valeurs RMS moyennes de trèfle total sont représentées à la figure 21. Pour ce coefficient, un effet significatif est constaté seulement pour le facteur \emptyset_{pup} [$F(3,23) = 27,129$ $p < 0,0001$]. L'analyse post-hoc (Tukey-Kramer) pour le facteur \emptyset_{pup} a relevé une augmentation de la valeur RMS de trèfle Z_3^{-3} avec l'augmentation du \emptyset_{pup} pour certaines comparaisons. Les détails de cette analyse sont rapportés dans le tableau 45. Contrairement au groupe 1, le type de LC n'influence pas la valeur RMS de trèfle totale chez le groupe 2 [$F(3,24) = 0,76$ $p = 0,5277$]. Il n'y a pas d'interaction significative entre les deux facteurs [$F(9,63) = 0,46$, $p = 0,8947$].

Figure 21. – Amplitude du trèfle total en fonction du \varnothing_{pup} et le type de LC chez le groupe 2 (KC). Ces valeurs sont indiquées en valeur RMS \pm erreur type



Abbréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 45. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes d'amplitude de trèfle total (Effet \varnothing_{pup})

$\Delta\varnothing_{pup}$ (A : B)	Différence moyenne (A – B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du t est t	P aj (Tukey- Kramer)
3 : 4	-0,087	0,043	-0,170	-0,004	-2,05	0,2011
3 : 5	-0,203	0,043	-0,287	-0,120	-4,78	0,0004
3 : 6	-0,380	0,045	-0,467	-0,293	-8,54	<,0001
4 : 5	-0,117	0,043	-0,200	-0,033	-2,74	0,0531
4 : 6	-0,293	0,045	-0,380	-0,206	-6,59	<,0001
5 : 6	-0,176	0,045	-0,264	-0,089	-3,97	0,0032

Note : Les comparaisons significatives et leurs valeurs P sont en caractères gras et marquées par un *.

Abbréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille.

3.5 Ratio visuel de Strehl (VSX) et logVSX

Groupe 1

Les statistiques descriptives détaillées concernant VSX et logVSX en fonction du facteur LC et du facteur \emptyset_{pup} sont rapportées à l'annexe C afin d'abrégier la lecture des résultats. Les valeurs moyennes de VSX et logVSX pour le groupe 1 (normal) sont représentées respectivement à la figure 22 et 23. La normalité des données a été évaluée par inspection visuelle à l'aide de diagrammes quantile-quantile.

Une analyse de type ANOVA à mesures répétées à deux facteurs intra sujet (modèle mixte) a été menée afin d'évaluer l'effet du diamètre pupillaire analysé (\emptyset_{pup}) et le choix de la lentille (LC) sur la valeur du ratio visuel de Strehl (VSX) et de son logarithme (logVSX). Les résultats de ces ANOVA à mesures répétées ont été consignés dans le tableau 46.

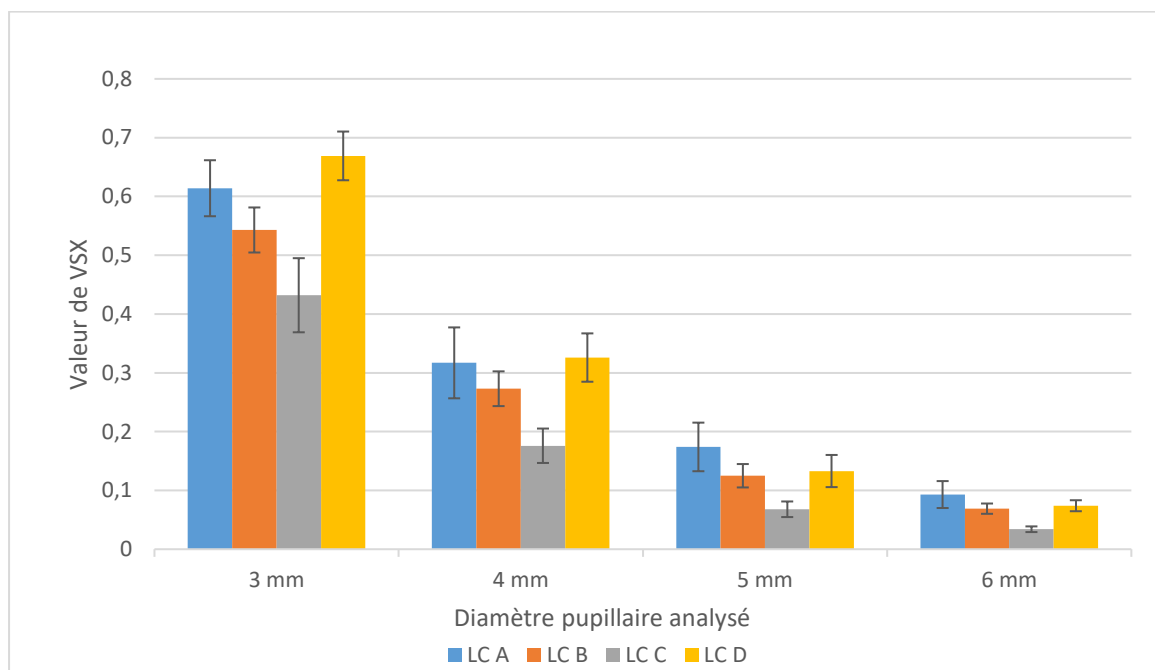
Tableau 46. – Résumé des résultats des ANOVA à mesures répétées chez le groupe 1 (n = 12) pour les valeurs du ratio visuel de Strehl (VSX et logVSX)

	Condition	Degré de liberté	Valeur F	Pr > F
VSX	LC	3 : 33	4,49	0,0095
	\emptyset_{pup}	3 : 33	301,94	<,0001
	LC X \emptyset_{pup}	3 : 95	3,53	0,0008***
logVSX	LC	3 : 33	6,39	0,0016***
	\emptyset_{pup}	3 : 33	153,21	<,0001***
	LC X \emptyset_{pup}	3 : 95	1,76	0,0861

**Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille,
VSX = Ratio visuel de Strehl, logVSX = Logarithme du ratio visuel de Strehl**

La valeur de VSX diminue significativement avec l'augmentation du \emptyset_{pup} [F (3,33) = 301,94 p < 0,0001] pour toutes les LC (voir tableaux 47 et 48). La valeur de VSX est influencée significativement par le type de LC [F (3,33) = 4,49 p < 0,0095]. On constate une interaction significative est présente le facteur \emptyset_{pup} et le facteur LC [F (9,95) = 3,53 p = 0,0008]. L'analyse post-hoc (Tukey-Kramer) a détecté un changement de VSX significatif entre les LC pour les \emptyset_{pup} suivants : 3, 4 (voir tableaux 47 et 49) : la valeur de VSX diminue avec l'augmentation de l'ASA, mais ne semble pas influencée par l'ASP. Une valeur de VSX plus petite représenterait une plus faible performance visuelle.

Figure 22. – Valeurs moyennes du ratio visuel de Strehl (VSX) (\pm erreur type) en fonction du \varnothing_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal)



Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille.

Tableau 47. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des valeurs P_{tukey} soulignant des différences significatives de valeur du ratio visuel de Strehl chez le groupe 1 (VSX)

\varnothing_{pup}	LC A	LC B	LC C	LC D	LC	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
3 : 4	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	A : B	0,ns	ns	ns	ns
3 : 5	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	A : C	0,0008	0,0135	ns	ns
3 : 6	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	A : D	ns	ns	ns	ns
4 : 5	<,0001	<,0001	0,0029	<,0001	B : C	ns	ns	ns	ns
4 : 6	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	B : D	0,0343	ns	ns	ns
5 : 6	0,0282	0,2590	0,4919	0,1421	C : D	<,0001	0,0073	ns	ns
F(3 :95)	113,99	99,21	72,05	153,56	F(3 :95)	10,05	4,56	1,86	0,65
Pr > F	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	Pr > F	<,0001	0,0050	0,1422	0,5849

Note : Ns = non significatif. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « diamètre pupillaire analysé » (\varnothing_{pup}) (LC isolée) est représentée à gauche. L'analyse post-hoc de Tukey-Kramer concernant l'effet « lentille » (LC) (\varnothing_{pup} isolé) est représentée à droite.

Tableau 48. – Résumé des différences moyennes significatives de valeur de VSX lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer chez le groupe 1 (Effet \varnothing_{pup} significatif pour les LC A, LC B, LC C et LC D)

$\Delta\varnothing_{\text{pup}}$ (A : B)	Différence moyenne (A - B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	Ptukey
LC A isolée						
3 : 5	0,439	0,030	0,380	0,498	14,57	<,0001
3 : 6	0,527	0,031	0,466	0,588	17,01	<,0001
4 : 5	0,143	0,030	0,084	0,202	4,74	<,0001
4 : 6	0,231	0,031	0,170	0,291	7,44	<,0001
5 : 6	0,088	0,031	0,027	0,149	2,84	0,0282
LC B isolée						
3 : 4	0,270	0,030	0,211	0,329	<,0001	<,0001
3 : 5	0,419	0,030	0,360	0,478	<,0001	<,0001
3 : 6	0,474	0,030	0,415	0,533	<,0001	<,0001
4 : 5	0,148	0,030	0,089	0,207	<,0001	<,0001
4 : 6	0,204	0,030	0,145	0,263	<,0001	<,0001
LC C isolée						
3 : 4	0,256	0,030	0,197	0,315	8,51	<,0001
3 : 5	0,364	0,030	0,305	0,423	12,1	<,0001
3 : 6	0,408	0,031	0,348	0,469	13,18	<,0001
4 : 5	0,108	0,030	0,0491	0,167	3,59	0,0029
4 : 6	0,152	0,031	0,0914	0,213	4,91	<,0001
LC D isolée						
3 : 4	0,343	0,0301	0,284	0,402	11,38	<,0001
3 : 5	0,536	0,0301	0,477	0,595	17,79	<,0001
3 : 6	0,605	0,0320	0,542	0,668	18,95	<,0001
4 : 5	0,193	0,0301	0,134	0,252	6,41	<,0001
4 : 6	0,262	0,0320	0,199	0,325	8,21	<,0001

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, VSX = Ratio visuel de Strehl.

Tableau 49. – Résumé des différences moyennes significatives de valeurs de VSX lors de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer chez le groupe 1 (Effet LC significatif pour les \varnothing_{pup} 3 et 4 mm)

ΔLC (1 : 2)	Différence moyenne (1 - 2)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test-T	Ptukey
3 mm isolé						
A : C	0,181	0,046	0,092	0,271	3,98	0,0008
B : D	-0,126	0,046	-0,215	-0,037	-2,76	0,0343
C : D	-0,237	0,046	-0,327	-0,148	-5,2	<,0001
4 mm isolé						
A : C	0,141	0,046	0,052	0,231	-3,82	0,0135
C : D	-0,151	0,046	-0,240	-0,061	3,83	0,0073
A : C	0,141	0,046	0,052	0,231	-3,82	0,0135

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, VSX = Ratio visuel de Strehl.

Dans le cas de la valeur de logVSX, celle-ci diminue significativement avec l'augmentation du \emptyset_{pup} [$F(3,33) = 153,21$ $p < 0,0001$]. On constate aussi un effet du facteur LC [$F(3,33) = 6,39$, $p = 0,0016$] : la valeur de logVSX est plus faible avec la LC C qu'avec les trois autres LC. Une valeur de logVSX plus négative représenterait une plus faible performance visuelle. Il n'y a pas d'interaction significative entre les deux facteurs [$F(9,95) = 1,76$, $p = 0,0861$]. L'analyse post-hoc (Tukey-Kramer) est détaillée dans le tableau 50.

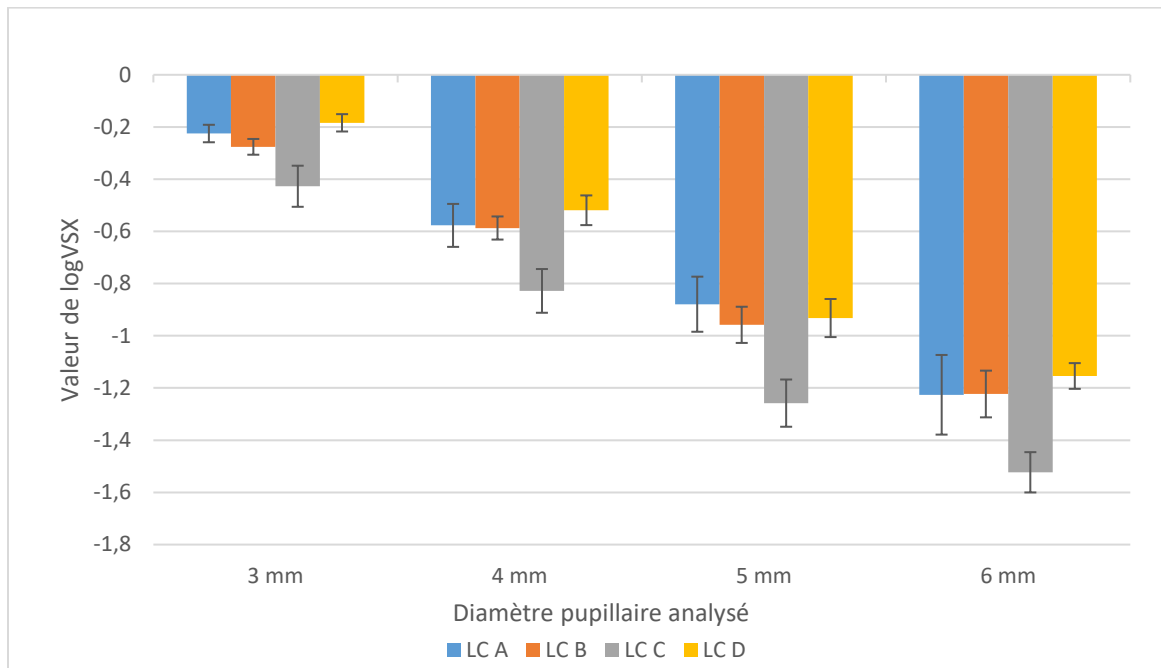
Tableau 50. – Résumé de l'analyse post-hoc (Tukey-Kramer) et des différences moyennes de logVSX pour l'effet du facteur \emptyset_{pup} et du facteur LC

Effet	Δ LC	$\Delta \emptyset_{\text{pup}}$	Différence moyenne (1 – 2) ou (A-B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test T	Ptukey
\emptyset_{pup}		3 : 4.	0,350	0,052	0,249	0,451	6,79	<,0001
\emptyset_{pup}		3 : 5	0,729	0,052	0,628	0,830	14,15	<,0001
\emptyset_{pup}		3 : 6	1,050	0,052	0,948	1,152	20,12	<,0001
\emptyset_{pup}		4 : 5	0,379	0,052	0,278	0,480	7,36	<,0001
\emptyset_{pup}		4 : 6	0,700	0,052	0,598	0,802	13,42	<,0001
\emptyset_{pup}		5 : 6	0,321	0,052	0,219	0,423	6,15	<,0001
LC	A : B		0,025	0,081	-0,133	0,183	0,31	0,9893
LC	A : C		0,289	0,081	0,131	0,447	3,59	0,0056
LC	A : D		-0,016	0,081	-0,174	0,142	-0,20	0,9971
LC	B : C		0,264	0,081	0,106	0,422	3,28	0,0126
LC	B : D		-0,041	0,081	-0,199	0,117	-0,51	0,9558
LC	C : D		-0,305	0,081	-0,463	-0,147	-3,78	0,0033

Note : Les comparaisons significatives et leurs valeurs P sont en caractères gras et marquées par un *.

Abréviations : \emptyset_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille; logVSX = Logarithme du ratio visuel de Strehl.

Figure 23. – Valeurs moyennes de logVSX (\pm erreur type) en fonction du \varnothing_{pup} et le type de LC chez le groupe 1 (normal)



Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared, logVSX = Logarithme du ratio visuel de Strehl.

Groupe 2

Les statistiques descriptives détaillées concernant VSX et logVSX en fonction du facteur LC et du facteur \varnothing_{pup} pour le groupe 2 (KC) ont été rapportées à l'annexe C afin d'abrégier la lecture des résultats. Les valeurs moyennes de VSX et logVSX sont représentées respectivement à la figure 24 et 25. La normalité des données a été confirmée par inspection visuelle à l'aide de diagrammes quantile-quantile.

Une analyse de type ANOVA à mesures répétées à deux facteurs intra sujet (modèle mixte) a été menée afin d'évaluer l'effet du facteur \varnothing_{pup} et du facteur LC sur la valeur du ratio visuel de Strehl (VSX) et de son logarithme (logVSX). Les résultats de ces ANOVA à mesures répétées ont été consignés dans le tableau 51.

Tableau 51. – Résumé des résultats des ANOVA à mesures répétées chez le groupe 2 (n = 9) pour les valeurs du ratio visuel de Strehl (VSX et logVSX)

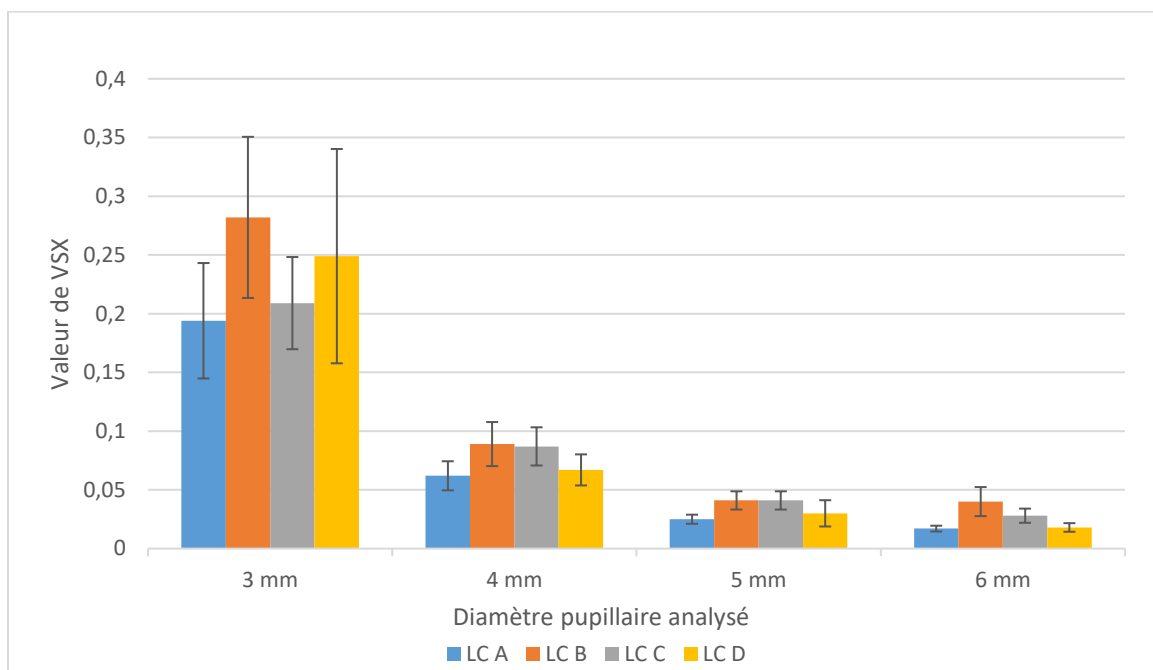
	Condition	Degré de liberté	Valeur F	Pr > F
VSX	LC	3 : 24	3,93	0,0205***
	Øpup	3 : 23	16,89	<,0001***
	LC X Øpup	9 : 64	1,76	0,0931
logVSX	LC	3 : 24	7,94	0,0008***
	Øpup	3 : 23	114,19	<,0001***
	LC X Øpup	9 : 64	1,68	0,1130

Abréviations : Øpup = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, VSX = Ratio visuel de Strehl, logVSX = Logarithme du ratio visuel de Strehl.

Les valeurs du ratio visuel de Strehl (VSX) diminuent significativement avec l'augmentation du Øpup [F(3,23) = 16,89 p < 0,0001]. La valeur de VSX est influencée significativement par le type de LC [F(3,24) = 3,93, p = 0,0205]. Une valeur de VSX plus élevée représenterait une meilleure performance visuelle. Il est constaté que la valeur VSX lors du port de la LC B est significativement plus élevée que lors du port de la LC A (T(64) = 3,4, p = 0,0117]. Les autres comparaisons entre les LC sont non-significatives. Aucune interaction n'a été détectée entre le Øpup et le type de LC [F(9,64) = 1,76, p = 0,0931].

Les valeurs de logVSX diminuent significativement avec l'augmentation du Øpup [[F(3,23) = 114,19 p < 0,0001]. La valeur de VSX est influencée significativement par le type de LC [F(3,24) = 7,94, p = 0,0008]. Une valeur de logVSX plus négative représenterait une plus faible performance visuelle. En effet, la valeur absolue de logVSX lors du port de la LC B est significativement plus petite que lors du port de la LC A (T(64) = -4,22, p = 0,0016] ou de la LC D [T(64) = 3,51 p = 0,0091]. De même, la valeur absolue de logVSX lors du port de la LC C est significativement plus petite que lors du port de la LC A (T(64) = -3,14, p = 0,0214]. Les autres comparaisons entre les LC sont non-significatives. Aucune interaction n'a été détectée entre le Øpup et le type de LC [F(9,64) = 1,68, p = 0,1130]. L'analyse post-hoc (Tukey-Kramer) est détaillée dans le tableau 53.

Figure 24. – Valeurs moyennes du ratio visuel de Strehl (VSX) (\pm erreur type) en fonction du \varnothing_{pup} et le type de LC chez le groupe 2 (KC)



Abbréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

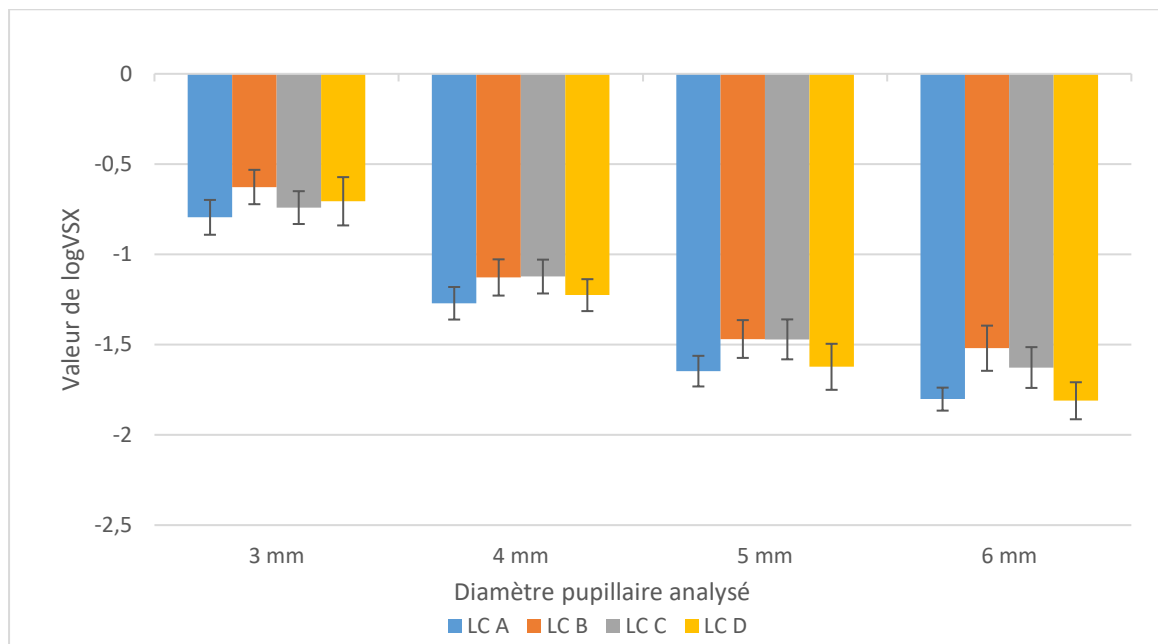
Tableau 52. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes de valeur de VSX pour l'effet du facteur \varnothing_{pup} et du facteur LC chez le groupe 2

Effet	Δ LC	$\Delta \varnothing_{pup}$	Différence moyenne (1 – 2) ou (A-B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test T	Ptukey
\varnothing_{pup}		3 : 4.*	0,153	0,033	0,092	0,222	4,73	0,0005***
\varnothing_{pup}		3 : 5*	0,201	0,033	0,135	0,266	6,03	<,0001***
\varnothing_{pup}		3 : 6*	0,213	0,035	0,145	0,281	6,12	<,0001***
\varnothing_{pup}		4 : 5	0,043	0,033	-0,022	0,109	1,3	0,571
\varnothing_{pup}		4 : 6	0,055	0,035	-0,013	0,123	1,59	0,4026
\varnothing_{pup}		5 : 6	0,012	0,035	-0,056	0,080	0,35	0,9855
LC	A : B*		-0,039	0,012	-0,062	-0,017	-3,4	0,0117*
LC	A : C		-0,017	0,012	-0,040	0,005	-1,52	0,4425
LC	A : D		-0,016	0,012	-0,038	0,007	-1,34	0,5477
LC	B : C		0,022	0,011	-0,001	0,044	1,91	0,2525
LC	B : D		0,024	0,012	0,001	0,046	2,06	0,1958
LC	C : D		0,002	0,012	-0,021	0,024	0,17	0,9983

Note : Les comparaisons significatives et leurs valeurs P sont en caractères gras et marquées par un *.

Abbréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, VSX = Ratio visuel de Strehl.

Figure 25. – Valeurs moyennes de logVSX (\pm erreur type) en fonction du \varnothing_{pup} et le type de LC chez le groupe 2 (KC)



Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared, logVSX = logarithme du ratio visuel de Strehl.

Tableau 53. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes de valeur de logVSX pour l'effet du facteur \varnothing_{pup} et du facteur LC chez le groupe 2

Effet	Δ LC	$\Delta \varnothing_{\text{pup}}$	Différence moyenne (1 – 2) ou (A-B)	Erreur type	CI (95%) (Limite inf.)	CI (95%) (Limite sup.)	Valeur du test T	Ptukey
\varnothing_{pup}		3 : 4*	0,470	0,057	0,357	0,582	8,19	<,0001***
\varnothing_{pup}		3 : 5*	0,848	0,058	0,735	0,961	14,73	<,0001***
\varnothing_{pup}		3 : 6*	1,013	0,061	0,893	1,133	16,56	<,0001***
\varnothing_{pup}		4 : 5*	0,378	0,058	0,265	0,491	6,57	<,0001***
\varnothing_{pup}		4 : 6*	0,544	0,061	0,424	0,664	8,88	<,0001***
\varnothing_{pup}		5 : 6	0,166	0,061	0,046	0,286	2,7	0,0572
LC	A : B*		-0,205	0,049	-0,300	-0,110	-4,22	0,0016***
LC	A : C*		-0,153	0,049	-0,248	-0,057	-3,14	0,0214***
LC	A : D		-0,035	0,049	-0,131	0,061	-0,71	0,8902
LC	B : C		0,052	0,048	-0,042	0,146	1,08	0,7033
LC	B : D*		0,170	0,049	0,075	0,265	3,51	0,0091***
LC	C : D		0,118	0,049	0,023	0,213	2,43	0,099

Note : Les comparaisons significatives et leurs valeurs P sont en caractères gras et marquées par un *.

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, logVSX = Logarithme du ratio visuel de Strehl.

3.6 Décentrement des SL mesuré par la topographie de Medmont

Les mesures de décentrement des SL ont été effectuées à l'aide du topographe Medmont. L'extraction des données a été effectuée par deux observateurs différents. Afin de vérifier l'accord entre les deux observateurs, le calcul des coefficients de corrélation intraclasse (ICC) a été effectué (voir tableau 54). Pour ce qui a trait aux décentrement verticaux, les ICC soulignent un excellent accord ($> 0,90$) entre les observateurs pour les LC A et D. Un bon accord a été rapporté pour les décentrement verticaux des LC C et D (entre 0,75 et 0,90).

Quant aux décentrement horizontaux, un bon accord a été mesuré entre les observateurs pour la LC A, un excellent accord pour la LC D, mais l'accord était plutôt modéré (entre 0,50 et 0,75) pour les LC B et C.

Tableau 54. – Coefficients de corrélation intra classe (ICC) et intervalle de confiance (95%) pour deux observateurs en fonction du type de lentille (LC) et l'orientation du décentrement analysé

Type de LC	ICC	CI (95%) Limite inférieure	CI (95%) Limite supérieure
Décentrement vertical			
LC A	,934	0,842	0,974
LC B	,833	0,617	0,932
LC C	,873	0,700	0,949
LC D	,923	0,811	0,970
Décentrement horizontal			
LC A	,838	0,635	0,932
LC B	,543	0,336	0,763
LC C	,698	0,368	0,872
LC D	,937	0,843	0,975

Les valeurs moyennes entre la mesure de l'observateur A et la mesure de l'observateur B ont été utilisées pour la compilation et l'analyse des données. Les statistiques descriptives concernant ces données sont rapportées dans les tableaux 55 et 56. Une analyse de type ANOVA à mesures répétées avec un facteur intra sujet (type de lentille : A, B, C, D) et un facteur inter sujet (groupe 1 ou 2) a été menée afin d'examiner l'effet du groupe et du type de la lentille (LC) sur les mesures obtenues de décentrement verticaux et horizontaux. Le résumé de l'analyse est rapporté dans le tableau 57.

Tableau 55. – Statistiques descriptives concernant les valeurs de décentrements verticaux des lentilles sclérales.

Décentrement vertical (mm)		N	Moyenne	Écart-type	Min	Médiane	Max
Groupe							
Groupe 1 (normal) (N=12)	LC A (e = 0)	12	-0,55	0,29	0,05	0,57	1,04
	LC B (e = 0,4)	11	-0,50	0,38	-0,22	0,42	1,10
	LC C (e = 0,6)	12	-0,70	0,37	0,01	0,69	1,16
	LC D (e _{post} = 0,3)	12	-0,55	0,38	-0,32	0,63	1,04
Groupe 2 (KC) (N=9)	LC A (e = 0)	8	-0,48	0,20	0,09	0,54	0,71
	LC B (e = 0,4)	8	-0,50	0,16	0,33	0,48	0,74
	LC C (e = 0,6)	8	-0,69	0,25	0,24	0,79	0,99
	LC D (e _{post} = 0,3)	7	-0,70	0,41	-0,07	0,80	1,12

Abréviations : LC = lentille, KC = kératocône, e = valeur d'excentricité sur la surface antérieure, e_{post} = valeur d'excentricité présente sur la surface postérieure.

Tableau 56. – Statistiques descriptives concernant les valeurs de décentrements horizontaux des lentilles sclérales

Décentrement horizontal (mm)		N	Moyenne	Écart-type	Min	Médiane	Max
Groupe							
Groupe 1 (Normal) (N=12)	LC A (e = 0)	12	-0,62	0,26	0,11	0,60	0,62
	LC B (e = 0,4)	11	-0,49	0,30	0,02	0,57	0,98
	LC C (e = 0,6)	12	-0,58	0,20	0,27	0,66	0,82
	LC D (e _{post} = 0,3)	12	-0,57	0,24	0,19	0,59	0,90
Groupe 2 (KC) (N=9)	LC A (e = 0)	8	-0,71	0,17	0,52	0,70	1,07
	LC B (e = 0,4)	8	-0,57	0,27	0,27	0,54	1,06
	LC C (e = 0,6)	8	-0,67	0,24	0,36	0,65	1,16
	LC D (e _{post} = 0,3)	7	-0,78	0,20	0,50	0,78	1,17

Abréviations : LC = lentille, KC = kératocône, e = valeur d'excentricité sur la surface antérieure, e_{post} = valeur d'excentricité présente sur la surface postérieure.

Tableau 57. – Résumé des résultats de l'ANOVA à mesures répétées concernant les valeurs de décentrements verticaux et décentrements horizontaux des lentilles sclérales

Type de décentrement	Condition	Degré de liberté	Valeur F	Pr > F
Décentrement vertical	LC	3 : 51	4,26	0,0092***
	Groupe	1 : 19	0,00	0,9667
	LC X Groupe	3 : 51	1,40	0,2545
Décentrement horizontal	LC	3 : 51	2,56	0,0649
	Groupe	1 : 19	2,47	0,1326
	LC X Groupe	3 : 51	0,97	0,4132

Pour le plan de référence utilisé pour cette étude, le signe positif suggère un décentrement en direction inférieure pour le décentrement vertical et en direction temporelle (à gauche du point de vue de l'examineur) pour le décentrement horizontal. Le signe négatif suggère, lui, un décentrement en direction supérieure ou nasale (à droite du point de vue de l'examineur). Pour ce qui a trait au décentrement vertical, un effet significatif a été détecté pour la condition LC [$F(3 : 51) = 4,26, p = 0,0092$]. Cette analyse n'a détecté aucun effet significatif pour la condition groupe, ni d'interaction statistiquement significative entre les deux conditions. L'analyse post-hoc (Tukey-Kramer) permet d'estimer quelles sont les différences détectées entre les LC (tableau 58). Une augmentation moyenne du décentrement vertical moyen de $0,1575 \pm 0,0585$ mm en direction inférieure a été détectée en passant d'une lentille A à la LC C [$T(51) = -2,69$ ($p_{\text{tukey}} = 0,0459$)]. Une augmentation moyenne du décentrement vertical moyen (\pm erreur type) de $0,1736 \pm 0,0594$ mm en direction inférieure est aussi constatée en passant d'une LC B à une LC C [$T(51) = -2,93$ ($p_{\text{tukey}} = 0,0256$)]. Bien que cela était inattendu, le passage d'une LC B à une LC D produit une augmentation moyenne du décentrement verticale en direction inférieure $0,1354 \pm 0,0601$ mm. Les autres comparaisons n'ont pas permis de démontrer de différences significatives.

Tableau 58. – Résumé de l'analyse post-hoc de Tukey-Kramer et des différences moyennes de valeur de décentrement verticaux pour l'effet lentille (LC)

$\Delta LC (1 - 2)$	Différence moyenne (mm) (1 - 2)	Erreur type	CI (95%) Limite inf.	CI (95%) Limite sup.	Valeur du test T	P aj.
A : B	0,02	0,06	-0,10	0,14	0,27	0,7878
A : C	-0,16	0,06	-0,28	-0,04	-2,69	0,0096***
A : D	-0,12	0,06	-0,24	0,02	-1,98	0,0534
B : C	-0,17	0,06	-0,29	-0,05	-2,93	0,0051***
B : D	-0,14	0,06	-0,26	-0,01	-2,25	0,0286***
C : D	0,04	0,06	-0,08	0,16	0,63	0,5300

Note : Les comparaisons significatives et leurs valeurs P sont en caractères gras et marquées par un *.

Quant au décentrement horizontal, aucun effet significatif n'a été détecté pour la condition groupe ou la condition LC lors de l'analyse ANOVA. De plus, aucune interaction statistiquement significative n'a été détectée.

3.7 Corrélation entre le décentrement des SL et l'amplitude des AOS

Suite à l'analyse des corrélations de Spearman entre les valeurs RMS des différents coefficients d'aberrations d'ordre supérieurs, une valeur significative de corrélation a été détectée pour seulement quelques paramètres. Considérant que l'accord entre les deux observateurs est beaucoup plus faible lors de l'extraction des données de décentrement des LC B et C (voir section 3.5), l'analyse des corrélations de Spearman a été effectuée seulement en considérant les décentrement des LC A et D. Les corrélations significatives qui ont été détectées ont été affichées dans les sections suivantes. Seules les corrélations statistiquement significatives sont affichées.

Calcul des corrélations en combinant les deux groupes

Décentrement vertical basé sur la moyenne des mesures de la LC A ($e = 0$)

- Coma horizontale Z_3^{+1} (LC B, $\varnothing_{\text{pup}} = 4$ mm) : $|r| = -0,494$ ($p = 0,0268$, $N = 20$)
- Coma horizontale Z_3^{+1} (LC B, $\varnothing_{\text{pup}} = 6$ mm) : $|r| = -0,703$ ($p = 0,0011$, $N = 18$)

Décentrement vertical basé sur la moyenne des mesures de la LC D

- Aucune corrélation significative

Décentrement horizontal basé sur la moyenne des mesures de la LC A

- Coma horizontale Z_3^{+1} (LC C, $\varnothing_{\text{pup}} = 6$ mm) : $|r| = -0,564$ ($p = 0,0284$, $N = 15$)
- Trèfle total (LC A, $\varnothing_{\text{pup}} = 4$ mm) : $|r| = 0,468$ ($p = 0,0374$, $N = 20$)

Décentrement horizontal basé sur la moyenne des mesures de la LC D

- Coma totale (LCA, $\varnothing_{\text{pup}} = 5$ mm) : $|r| = 0,464$ ($p = 0,0452$, $N = 19$)
- AOS totale (LC A, $\varnothing_{\text{pup}} = 5$ mm) : $|r| = 0,491$ ($p = 0,0330$, $N = 19$)

Calcul des corrélations en isolant le groupe 1

Décentrement vertical basé sur la moyenne des mesures de la LC A ($e = 0$)

- Coma verticale Z_3^{+1} (LC B, $\emptyset_{\text{pup}} = 6 \text{ mm}$) : $|r| = -0,755$ ($p = 0,01$ N = 11)
- Coma verticale Z_3^{+1} (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 6 \text{ mm}$) : $|r| = -0,733$ ($p = 0,021$ N = 10)
- Coma totale (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 4 \text{ mm}$) : $|r| = 0,697$ ($p = 0,012$ N = 12)
- Coma totale (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 5 \text{ mm}$) : $|r| = 0,748$ ($p = 0,007$ N = 12)
- Coma totale (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 6 \text{ mm}$) : $|r| = 0,723$ ($p = 0,018$ N = 10)
- Trèfle total (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 6 \text{ mm}$) : $|r| = 0,879$ ($p = 0,002$ N = 10)
- Trèfle total (LC D, $\emptyset_{\text{pup}} = 6 \text{ mm}$) : $|r| = 0,697$ ($p = 0,031$ N = 10)
- AOS totale (LC A, $\emptyset_{\text{pup}} = 4 \text{ mm}$) : $|r| = 0,629$ ($p = 0,032$ N = 12)
- AOS totale (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 4 \text{ mm}$) : $|r| = 0,587$ ($p = 0,049$ N = 12)
- AOS totale (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 5 \text{ mm}$) : $|r| = 0,587$ ($p = 0,049$ N = 12)
- AOS totale (LC A, $\emptyset_{\text{pup}} = 6 \text{ mm}$) : $|r| = 0,645$ ($p = 0,037$ N = 11)
- AOS totale (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 6 \text{ mm}$) : $|r| = 0,842$ ($p = 0,004$ N = 10)
- AOS totale (LC D, $\emptyset_{\text{pup}} = 6 \text{ mm}$) : $|r| = 0,806$ ($p = 0,008$ N = 10)

Décentrement vertical basé sur la moyenne des mesures de la LC D

- Aberration sphérique Z_4^0 (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 5 \text{ mm}$) : $|r| = 0,643$ ($p = 0,028$ N = 12)
- Coma verticale Z_3^{+1} (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 4 \text{ mm}$) : $|r| = -0,636$ ($p = 0,03$ N = 12)
- Coma verticale Z_3^{+1} (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 6 \text{ mm}$) : $|r| = -0,673$ ($p = 0,039$ N = 10)
- Coma totale (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 4 \text{ mm}$) : $|r| = 0,648$ ($p = 0,023$ N = 12)
- Trèfle total (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 5 \text{ mm}$) : $|r| = 0,685$ ($p = 0,017$ N = 12)
- AOS totale (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 4 \text{ mm}$) : $|r| = 0,615$ ($p = 0,037$ N = 12)
- AOS totale (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 5 \text{ mm}$) : $|r| = 0,657$ ($p = 0,024$ N = 12)

Décentrement horizontal basé sur la moyenne des mesures de la LC A

- Coma verticale Z_3^{+1} (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 5 \text{ mm}$) : $|r| = -0,643$ ($p = 0,028$ N = 12)
- Coma totale (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 5 \text{ mm}$) : $|r| = 0,720$ ($p = 0,011$ N = 12)
- AOS totale (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 5 \text{ mm}$) : $|r| = 0,622$ ($p = 0,035$ N = 12)
- AOS totale (LC D, $\emptyset_{\text{pup}} = 6 \text{ mm}$) : $|r| = 0,758$ ($p = 0,016$ N = 10)

Décentrement horizontal basé sur la moyenne des mesures de la LC D

- Coma verticale Z_3^{+1} (LC B, $\emptyset_{\text{pup}} = 5 \text{ mm}$) : $|r| = -0,601$ ($p = 0,043$ N = 12)
- Coma verticale Z_3^{+1} (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 6 \text{ mm}$) : $|r| = -0,733$ ($p = 0,039$ N = 10)
- Trèfle total (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 5 \text{ mm}$) : $|r| = 0,636$ ($p = 0,030$ N = 12)
- Coma totale (LC C, $\emptyset_{\text{pup}} = 6 \text{ mm}$) : $|r| = 0,657$ ($p = 0,039$ N = 10)

Calcul des corrélations en isolant le groupe KC

Décentrement vertical basé sur la moyenne des mesures de la LC A (e = 0)

- Aberration sphérique Z_4^0 (LC D, $\varnothing_{\text{pup}} = 4 \text{ mm}$) : $|r| = -0,673$ (p = 0,047 N = 9)
- Aberration sphérique Z_4^0 (LC D, $\varnothing_{\text{pup}} = 6 \text{ mm}$) : $|r| = -0,643$ (p = 0,047 N = 9)

Décentrement vertical basé sur la moyenne des mesures de la LC D

- Coma totale (LC B, $\varnothing_{\text{pup}} = 4 \text{ mm}$) : $|r| = 0,724$ (p = 0,027 N = 9)
- Coma totale (LC B, $\varnothing_{\text{pup}} = 6 \text{ mm}$) : $|r| = 0,724$ (p = 0,027 N = 9)

Décentrement horizontal basé sur la moyenne des mesures de la LC A

- Aucune corrélation significative

Décentrement horizontal basé sur la moyenne des mesures de la LC D

- Trèfle total (LC A, $\varnothing_{\text{pup}} = 4 \text{ mm}$) : $|r| = -0,792$ (p = 0,027 N = 7)
- Trèfle total (LC A, $\varnothing_{\text{pup}} = 5 \text{ mm}$) : $|r| = -0,799$ (p = 0,031 N = 7)
- Trèfle total (LC A, $\varnothing_{\text{pup}} = 6 \text{ mm}$) : $|r| = -0,792$ (p = 0,034 N = 7)
- AOS totale (LC A, $\varnothing_{\text{pup}} = 5 \text{ mm}$) : $|r| = -0,787$ (p = 0,036 N = 7)

Chapitre 4 – Discussion

4.1 Impact du profil d'asphéricité sur l'acuité visuelle à haut contraste et l'acuité visuelle à bas contraste

L'étude présentée aujourd'hui est une des premières études à évaluer de manière prospective l'impact du profil d'asphéricité d'une SL sur la performance visuelle chez deux groupes différents (Groupe 1 : participants normaux / Groupe 2 : participants KC).

L'AVHC et l'AVBC ont été mesurées à l'aide d'échelles d'acuité visuelle logMAR ETDRS pour chacun des designs (LC A.B.C.D) pour les deux groupes de patients. Les données obtenues ne permettent pas de constater de différences significatives d'AVHC ou d'AVBC entre les types de LC chez le groupe 1. Chez le groupe 2, aucun effet significatif n'a été détecté pour l'AVHC. Pour ce qui a trait à l'AVBC chez ce même groupe, l'ANOVA souligne un effet significatif du type de LC. Les résultats bruts suggèrent que la LC B donnerait la meilleure acuité visuelle. Cependant, l'analyse post-hoc n'a pu établir de comparaison statistiquement significative une fois l'ajustement de Tukey-Kramer effectuée. Cette contradiction peut être expliquée par un manque de puissance statistique découlant d'une taille d'échantillon trop petite pour le groupe 2 et d'une hétérogénéité au niveau des caractéristiques cornéennes des différents participants KC (selon la position de l'apex du KC et de la sévérité de celui-ci). L'effet LC est donc détecté, mais la puissance statistique trop faible pour déterminer précisément comment le type de LC affecte l'acuité visuelle à bas contraste.

Comme attendu, les participants du groupe 1 obtiennent des valeurs d'AVHC et AVBC significativement meilleure que les participants du groupe 2. Ces données sont en accord avec les observations de Marsack et collab. (2007) qui ont constaté de leur côté que les patients atteints de KC auront une acuité visuelle plus faible malgré la correction à l'aide de LCR PAG dû à une quantité d'AOS résiduelle plus élevée que les patients normaux.⁽³⁵⁾

Quelques chercheurs ont rapporté que la modification de l'ASA pourrait améliorer dans certains cas l'acuité visuelle des porteurs de SL. L'équipe de Hussoin et collab. (2012) a rapporté une amélioration de la qualité visuelle chez cinq différents patients atteints de KC à l'aide de SL ayant une excentricité de valeur $e = 0,6$ ou $e = 0,8$. Ceux-ci ont rapporté une amélioration légère

de l'AVHC et de l'AVBC chez certains participants. Le profil d'asphéricité idéal diffère en fonction de chaque participant dans cette étude, ce qui suggère que le système optique de chaque patient atteint de KC est unique. Ainsi, ceux-ci n'ont pu obtenir de résultats statistiquement significatifs ni dégager de tendance suggérant qu'un niveau d'ASA est meilleur qu'un autre auprès de ce petit échantillon.⁽⁸¹⁾

Jagadeesh et collab., eux, ont rapporté le cas d'une seule participante de 15 ans atteinte de KC ayant obtenue une AVHC de 0,2 avec les excentricités suivantes : $e = 0$, $e = 0.3$ et $e = 0.6$. L'AVHC était réduite à 0,3 logmar avec une excentricité $e = 0.8$. Ceux-ci ont rapporté une baisse d'AVBC logmar de 0,2 (deux lignes) avec les excentricités $e = 0$ et $e = 0,8$ par rapport aux excentricités $e = 0,3$ et $e = 0,6$.⁽⁸²⁾

L'équipe de Gumus et collab. (2011) ont tenté d'améliorer l'acuité visuelle et de réduire la quantité d'aberrations sphériques chez des participants présentant une déformation cornéenne en utilisant différents niveaux ASA chez leurs SL. Ces SL avaient des excentricités de valeurs $e = 0,3$, $e = 0,6$ ou $e = 0,8$. Bien que les participants ayant une SL ayant une ASA avaient tendance à obtenir une meilleure correction des aberrations sphériques, aucune différence significative d'acuité visuelle n'a été retrouvée entre le groupe utilisant des SL avec excentricité et le groupe utilisant des SL sans excentricité.⁽⁵⁴⁾ Il faut comprendre que l'étude de Gumus et collab. possède une faible puissance statistique et une grande variabilité entre les participants, puisque quatre types de pathologies cornéennes ont été incluses dans l'expérience touchant seulement 39 participants (56 yeux). De plus, ce ne sont pas tous les profils d'asphéricité qui ont été testés pour chacun de ces participants.

À la lumière de nos résultats et de ceux des différentes études présentées ci-haut, il est difficile d'établir si la modification du profil d'asphéricité idéale influence réellement l'AVHC ou l'AVBC pour un ensemble de participants. Cependant, des changements au niveau de l'AVHC et de l'AVBC ont été détectés lorsque les cas sont évalués individuellement autant pour l'étude de Jagadeesh et collab. que celle d'Hussein et collab. sans toutefois indiquer de tendance ou de différence statistiquement significative.

4.2 Impact du profil d'asphéricité et du diamètre pupillaire sur les aberrations d'ordres supérieurs

4.2.1 Impact du diamètre pupillaire sur l'amplitude des aberrations d'ordres supérieurs des différents coefficients

Les données récoltées au cours de l'expérience suggèrent que l'augmentation du \varnothing_{pup} n'influence pas l'amplitude des aberrations de la même façon pour les différents coefficients de Zernike. Selon ces données, les changements de \varnothing_{pup} ne génèrent pas de modifications significatives de valeur RMS chez tous les coefficients mesurés.

Pour les coefficients chez lesquels seul un effet du \varnothing_{pup} est constaté, l'augmentation du \varnothing_{pup} entraîne une augmentation de l'amplitude de la valeur RMS absolue sans égard au profil de LC porté (A.B.C.D). Dans les cas où une interaction est constatée, l'augmentation de l'amplitude de la valeur RMS absolue causée par le changement \varnothing_{pup} est influencée par le profil de LC pour les coefficients mentionnés ci-dessus. Un résumé des effets statistiques concernant le facteur \varnothing_{pup} est détaillé dans le tableau 59.

Concrètement, en présence d'interaction entre le facteur LC et le facteur \varnothing_{pup} , l'augmentation du \varnothing_{pup} augmentera la valeur RMS absolue d'une aberration chez certains profils d'asphéricité, tandis que le même changement du \varnothing_{pup} n'entraînera pas nécessairement d'effet statistiquement significatif pour d'autres profils d'asphéricité. De même, l'amplitude du changement de valeur RMS peut être plus grande pour certains profils d'asphéricité pour un même changement de \varnothing_{pup} pour les coefficients. Un résumé de l'amplitude de l'augmentation de la valeur RMS absolue des AOS en passant du \varnothing_{pup} de 3 à 6 mm est rapporté dans le tableau 60 pour les coefficients de Zernike chez lesquels un effet d'interaction a été constaté.

Tableau 59. – Résumé des effets statistiques concernant l'influence du \emptyset_{pup} sur l'augmentation de la valeur RMS absolue pour les différents coefficients de Zernike

Terme de Zernike	Groupe 1			Groupe 2		
	Effet \emptyset_{pup}	Interaction entre \emptyset_{pup} et LC	LC concernée par l'effet \emptyset_{pup} en cas d'interaction	Effet \emptyset_{pup}	Interaction entre \emptyset_{pup} et LC	LC concernée par l'effet \emptyset_{pup} en cas d'interaction
Trèfle Z_3^{-3}	Absent	Absente	N/A	Présent	Absent	N/A
Trèfle Z_3^{+3}	Présent	Absente	N/A	Absent	Absent	N/A
Coma verticale Z_3^{-1}	Présent	Présente	A, C et D	Présent	Présente	A et D
Coma horizontale Z_3^{+1}	Présent	Présente	A, C et D	Absent	Présente	A et D
Tetrafoil Z_4^{+4}	Présent	Absente	N/A	Absent	Absent	N/A
Tetrafoil Z_4^{-4}	Présent	Absente	N/A	Absent	Absent	N/A
Astigmatisme secondaire Z_4^{-2}	Absent	Absente	N/A	Présent	Absent	N/A
Astigmatisme secondaire Z_4^{+2}	Absent	Absente	N/A	Absent	Absent	N/A
Aberration sphérique Z_4^0	Présent	Présente	B, C et D	Présent	Présente	A, B et D
AOS total	Présent	Présente	A, B, C et D	Présent	Absent	N/A
Coma totale	Présent	Présente	A, B, C et D	Présent	Présente	A, B, C, D
Trèfle total	Présent	Présente	A, B, C et D	Présent	Absent	N/A

Abréviations : \emptyset_{pup} : diamètre pupillaire analysé; LC = lentille; RMS = root-mean-squared

Tableau 60. – Augmentation moyenne de la valeur RMS absolue en passant d'un \varnothing_{pup} de 3 mm à un \varnothing_{pup} de 6 mm. Les données sont classées en fonction du groupe, du coefficient de Zernike impliquée et du type de LC

	Groupe 1 : Normal	Groupe 2 : KC
Terme de Zernike	Augmentation moyenne de la valeur RMS absolue (en μm)	Augmentation moyenne de la valeur RMS absolue (en μm)
Coma verticale Z_3^{-1}	A : 0,131 B : NS C : 0,085 D : 0,134	A : 0,220 B : NS C : NS D : 0,231
Coma horizontale Z_3^{+1}	A : 0,046 B : NS C : 0,195 D : 0,049	A : 0,123 B : NS C : NS D : 0,245
Aberration sphérique Z_4^0	A : NS B : 0,054 C : 0,123 D : 0,057	A : 0,142 B : NS C : 0,08 D : 0,174
AOS totale	A : 0,237 B : 0,178 C : 0,336 D : 0,240	Interaction NS entre effet \varnothing_{pup} et effet LC
Coma totale	A : 0,162 B : 0,096 C : 0,221 D : 0,160	A : 0,381 B : 0,219 C : 0,217 D : 0,430
Trèfle total	A : 0,147 B : 0,099 C : 0,186 D : 0,122	Interaction NS entre effet \varnothing_{pup} et effet LC

Abréviations : \varnothing_{pup} : diamètre pupillaire analysé; LC = lentille; RMS = root-mean-squared

Ces données ne sont pas surprenantes, puisqu'il est généralement attendu que plus le \varnothing_{pup} est élevé, plus la valeur RMS des différents coefficients de Zernike sera élevée. L'étude de Wang et collab. (2003) a bien démontré l'impact du \varnothing_{pup} sur l'amplitude des AOS des différents coefficients de Zernike chez une population myope. Les ratios d'augmentation des AOS en fonction du coefficient et du \varnothing_{pup} rapportés par Wang et collab. sont résumés dans le tableau 61.⁽⁸⁹⁾ La base de données (population normale) de Salmon et collab. (2006) (résumé au tableau 1, page 7) suggère, elle aussi, que plus le \varnothing_{pup} est important, plus les valeurs de RMS d'AOS totale seront élevées.⁽³¹⁾

Tableau 61. – Ratio d'augmentation des valeurs RMS des différents coefficients de Zernike en fonction du changement de diamètre pupillaire selon Yang et collab. (2003)⁽⁸⁹⁾

Type d'aberrations	Différence de diamètre pupillaire		
	4 à 5 mm	5 à 6 mm	Valeur p
Z_3^{-1} Coma verticale	1,87	1,61	0,05
Z_3^{+1} Coma horizontale	1,79	1,68	0,03
Z_4^0 Aberration sphérique	1,69	2,09	0,0001
Trèfle Z_3^{-3} et Z_3^{+3}	1,45	1,37	0,10 (ns)
Astigmatisme d'ordre supérieur (Z_4^{-2} , Z_4^{+2} , Z_6^{-2} , Z_6^{+2})	1,56	1,66	0,001

Abréviations : RMS = root-mean-squared

4.2.2 Impact du profil d'asphéricité sur l'amplitude des aberrations d'ordres supérieurs des différents coefficients

Peu d'études à ce jour ont évalué l'influence du profil d'asphéricité d'une SL sur les AOS. Les résultats de cette expérience suggèrent que la modification du profil d'asphéricité d'une SL peut entraîner des modifications de valeur RMS pour certains coefficients de Zernike.

Chez le groupe 1, la variation du profil d'asphéricité des SL a entraîné un changement significatif de valeurs RMS pour les coefficients suivants: coma Z_3^{-1} , coma Z_3^{+1} et aberration sphérique Z_4^0 , AOS total, coma total et trèfle total. Chez le groupe 2, une différence significative a été détectée pour les coefficients suivants : coma Z_3^{-1} , coma Z_3^{+1} et aberration sphérique Z_4^0 , AOS total, coma total. Une interaction a été constatée entre l'effet LC et l'effet diamètre pupillaire pour chacun de ces coefficients, à l'exception de l'AOS totale chez le groupe KC. En pratique, la

présence d'une interaction significative entre le \emptyset_{pup} et le type de LC nous indique que plus le \emptyset_{pup} est élevé, plus l'amplitude des changements de valeurs RMS tend à être élevée en passant d'un profil d'asphéricité à un autre.

Coma

Tout d'abord, les données récoltées auprès du groupe 1 (participants normaux) soulignent un changement significatif de valeur RMS de coma verticale Z_3^{-1} et de coma horizontale Z_3^{+1} entre les LC pour les \emptyset_{pup} 4 mm, 5 et 6 mm. Plus précisément, ces données suggèrent que plus l'ASA d'une SL augmente, plus la valeur RMS de coma verticale Z_3^{-1} et de coma horizontale Z_3^{+1} augmentera en direction négative pour l'œil droit. D'ailleurs, ces changements étaient de plus grande amplitude et deviennent significatifs à des \emptyset_{pup} plus petits avec l'ajout d'une ASA de valeur $e = 0,6$ (LC C) par rapport à celle de valeur $e = 0,4$ (LC B).

Parallèlement, les deux coefficients de coma peuvent être combinés afin d'obtenir une valeur plus utile d'un point de vue pratique: la coma totale. On constate chez les patients du groupe 1 ayant un \emptyset_{pup} entre 5 et 6 mm que le passage d'un profil d'asphéricité correspondant à celui des LC A ($e = 0$), de la LC B ($e = 0,4$) et des LC D ($e_{post} = 0,3$) à celui de la LC C ($e = 0,6$) est désavantageux. Autrement dit, cette modification entraîne une augmentation significative de la coma totale. De même, l'amplitude de cette augmentation est plus marquée lors du passage de la LC B à la LC C qu'avec les deux autres LC. À partir d'un \emptyset_{pup} de 6 mm seulement, le passage d'une LC A ou D à une LC B ($e = 0,4$) permet de réduire de manière significative la quantité de coma totale (réduction moyenne de $0,063 \pm 0,021 \mu\text{m}$). Toutefois, cette étude n'a pas détecté de différences significatives de coma totale entre les LC pour de plus petits \emptyset_{pup} . Enfin, l'utilisation d'une ASP seule (LC D, $e_{post} = 0,3$) n'a pas eu d'influence significative sur la quantité de coma totale par rapport à l'absence d'asphéricité (LC A, $e = 0$) chez le groupe 1.

Cliniquement, le profil d'asphéricité de la LC B ($e = 0,4$) serait optimal pour réduire la coma totale chez un patient sans anomalie cornéenne ayant un \emptyset_{pup} élevé (6 mm). Cependant, chez un patient ayant un \emptyset_{pup} plus petit, il faudrait surtout éviter les profils d'asphéricité supérieurs à $e = 0,4$ en tenant compte strictement de la coma totale.

Du côté du groupe 2 (participant KC), un changement significatif de valeur RMS a été souligné entre les LC pour les \emptyset_{pup} 5 et 6 mm pour la coma verticale Z_3^{-1} . Quant à la coma

horizontale Z_3^{+1} , l'effet est significatif entre les LC pour le \emptyset_{pup} 4 mm, 5 mm et 6 mm. Comme dans le cas des participants du groupe 1, les données de cette expérience suggèrent que la présence qu'une ASA tend à augmenter la coma verticale et horizontale en direction négative pour l'œil droit. Or, contrairement au groupe 1, cette modification a l'avantage de diminuer la quantité de la coma résiduelle positive présente lors du port d'une SL sans ASA.

En examinant l'impact de l'asphéricité sur la coma totale auprès des participants du groupe 2 ayant un \emptyset_{pup} entre 5 et 6 mm, on remarque que le passage d'une LC A ($e = 0$) ou d'une LC D ($e_{post} = 0,3$) aux LC B ($e = 0,4$) ou C ($e = 0,6$) est avantageux. En effet, ces changements de LC entraînent une diminution significative de la coma totale chez ces participants. En revanche, l'expérience n'a pas détecté de différences significatives ni pour les comparaisons des LC A et D, ni pour la comparaison des LC B et C. De plus, celle-ci ne constate pas de modifications significatives de valeur RMS de coma totale entre les différentes LC portées pour de plus petits \emptyset_{pup} . Comme chez les participants du groupe 1, l'utilisation d'une ASP seule (LC D, $e_{post} = 0,3$) n'influence pas significativement la quantité de coma totale par rapport à l'absence d'asphéricité (LC A, $e = 0$).

En fin de compte, auprès de notre échantillon de participants atteint de KC (groupe 2), les valeurs de RMS coma totale sont moins élevées avec le profil d'asphéricité de la LC B ($e = 0,4$) et de la LC C ($e = 0,6$). Néanmoins, la quantité résiduelle de coma lors du port de la SL peut varier en fonction du décentrement de celle-ci, de la sévérité du KC, de la position de l'apex du KC et des aberrations provenant de la cornée postérieure et des milieux internes. Dans cette optique, on peut comprendre que certains patients pourraient bénéficier d'une ASA plus élevée ($e = 0,6$ ou plus élevé) et d'autres auront besoin qu'une asphéricité plus faible ($e = 0,4$) afin de réduire au maximum l'impact de la coma provenant des composantes internes de l'œil et du décentrement de la LC.

Les observations de l'expérience présentée dans ce mémoire concernant la coma s'alignent avec celles de l'étude de Hussoin et collab. (2012) qui souligne elle aussi l'impact de la modification de l'asphéricité sur la réduction des AOS. Essentiellement, cette réduction était plus marquée au niveau de la coma. Malgré cela, avec la petite taille de leur échantillon ($n = 5$), les données de Hussoin et collab. demeurent non significatives d'un point de vue statistique.⁽⁸¹⁾

Trèfle

Pour ce qui a trait au trèfle, aucun impact du changement de profil d'asphéricité n'est détecté auprès du groupe 1 (participants normaux) lorsque les coefficients Z_3^{-3} et Z_3^{+3} sont analysés individuellement. Par contre, en combinant les coefficients pour analyser plutôt le trèfle total, certaines différences entre les LC ont été détectées. Ainsi, la LC C avait un montant total de trèfle significativement plus élevé que la LC A, B et D pour les \emptyset_{pup} 5 et 6 mm. De même, l'augmentation de la valeur RMS de trèfle totale lors du passage à une LC C ($e = 0,6$) était plus importante lorsque la LC de départ est une LC B ($e = 0,4$) ou D ($e_{\text{post}} = 0,3$) par rapport à une LC A ($e = 0$).

À l'inverse, la modification du profil d'asphéricité n'a pas entraîné de changement significatif de la quantité de trèfle ni lors de l'analyse des coefficients Z_3^{-3} et Z_3^{+3} , ni lors de l'analyse du trèfle totale chez le groupe 2 (KC). Ceci découle possiblement d'une puissance statistique faible chez ce même groupe dû à une plus petite taille d'échantillon et d'une plus grande hétérogénéité des données.

Quoi qu'il en soit, il est difficile d'établir un lien de causalité expliquant comment la quantité de trèfle peut augmenter par la modification du profil d'asphéricité chez le groupe normal, puisqu'aucun effet n'est détecté en analysant individuellement les paramètres par terme individuel (Z_3^{-3} , Z_3^{+3} , Z_4^{-4} et Z_4^{+4}). Cette situation pourrait être expliquée par une puissance statistique insuffisante pour détecter un effet ou une interaction entre les variables catégorielles (LC et \emptyset_{pup}). De plus, nos données entrent en contradictions à celles de Jagadeesh et collab. (2014) qui rapportent, au contraire, une diminution de la quantité de trèfle totale chez un seul patient atteint de KC en augmentation l'asphéricité de la SL. On peut en conclure que les causes et les relations entraînant une modification du trèfle lors du changement de l'asphéricité demeurent floues et mériteraient d'être examinées dans une étude future.

Aberration sphérique

Du côté de l'aberration sphérique, un changement significatif de valeur RMS d'aberration sphérique Z_4^0 est constaté entre les LC pour les \emptyset_{pup} 5 mm et 6 mm chez le groupe 1. Généralement, une augmentation de l'ASA entraîne une augmentation de l'aberration sphérique en direction négative pour ce groupe. Par exemple, pour ces \emptyset_{pup} , une augmentation de

l'aberration sphérique en direction négative est perçue lors de l'ajout d'ASA de valeur $e = 0,6$ (LC C). De plus, cet effet aussi présent lors du passage d'une LC ayant une ASP de $e_{\text{post}} = 0,3$ (LC D) à une LC ayant seulement une ASA de $e = 0,4$ (LC B). Toutefois, l'augmentation de la quantité d'aberrations sphériques négatives n'est pas statistiquement significative lors du passage d'une LC A ($e = 0$) à une LC B ($e = 0,4$) à un \varnothing_{pup} de 5 mm, mais le deviendra à un \varnothing_{pup} de 6 mm. Ce même effet est présent pour la comparaison entre les LC B ($e = 0,4$) et C ($e = 0,6$). Ainsi, les plus petits changements d'ASA génèrent un effet significatif seulement pour des \varnothing_{pup} plus élevés. Inversement, le passage d'une LC sans ASA (LC A) à une LC ayant de l'ASP (LC D) a entraîné plutôt une augmentation de l'aberration sphérique positive.

Après du groupe 2 (participant KC), un changement significatif de valeur RMS d'aberration sphérique Z_4^0 est constaté entre les LC pour les \varnothing_{pup} 4 mm, 5 mm et 6 mm. Pour ces trois \varnothing_{pup} , l'augmentation de l'ASA causée par le passage d'une LC A ($e = 0$) ou d'une LC D ($e_{\text{post}} = 0,3$) à une LC C ($e = 0,6$) diminue significativement la quantité d'aberrations sphériques positives résiduelles. Pour les \varnothing_{pup} 5 mm et 6 mm, le passage d'une LC B ($e = 0,4$) à une LC C ($e = 0,6$) augmente significativement la quantité d'aberrations sphériques négatives. Au contraire, pour les mêmes \varnothing_{pup} , le passage d'une LC ayant de l'ASA (LC B ou LC C) à une LC D n'ayant que de l'ASP augmente significativement la quantité d'aberrations sphériques positives. Pour le \varnothing_{pup} 6 mm seulement, le passage d'une LC A à une LC B diminue significativement la quantité d'aberrations sphériques positive. Bien que la présence d'asphéricité postérieure (LC D) a généré une augmentation de l'aberration sphérique positive chez le groupe 2, celle-ci n'est pas statistiquement significative.

D'un point de vue pratique, ces données suggèrent que le patient sans anomalie cornéenne ayant un \varnothing_{pup} de plus de 5 mm aura avantage à porter une SL sans ASA (LC A) pour diminuer la quantité d'aberrations sphériques totale. Avec un \varnothing_{pup} de 6 mm, l'ASP serait aussi à éviter. La quantité d'aberrations sphériques totale demeure tout de même moins élevée avec la LC D (2^e rang) qu'avec la LC B (3^e rang) ou la LC C (4^e rang).

Les données sont bien différentes chez le groupe 2 (KC). L'amplitude d'aberration sphérique totale était la plus faible avec une LC C ($e = 0,6$). En second rang arrive la LC B ($e = 0,4$). La LC A ($e = 0$) est positionnée au troisième rang et le dernier rang est obtenu par la LC D ($e_{\text{post}} =$

0,3). Le profil de la LC D obtient la valeur RMS absolue de Z_4^0 la plus élevée, malgré l'absence de différences significatives avec la LC A.

En résumé, la présence d'une ASA (LC B et LC C) entraîne une diminution de l'aberration sphérique positive ou une augmentation de l'aberration sphérique négative par rapport à une lentille sans asphéricité (LC A). D'ailleurs, les changements de valeurs RMS sont plus importants à des \varnothing_{pup} plus élevés. Au contraire, la présence d'une ASP (LC D) entraîne plutôt une augmentation légère de l'aberration sphérique positive : cette augmentation est significative auprès du groupe 1, mais ne l'est pas pour le groupe 2.

Ces données confirment de plus une de nos hypothèses concernant l'asphéricité postérieure mentionnée à la section 1.5.5 : les changements d'aberration sphériques engendrés par une modification de l'asphéricité postérieure sont présents, mais demeurent plus petits que ceux engendrés par l'ajout d'une asphéricité antérieure.

Comme avec les aberrations de type coma, la LC la plus optimale pour réduire la valeur absolue de Z_4^0 n'est pas la même pour le groupe 1 (participants normaux) que le groupe 2 (participant KC). Cette différence entre les deux groupes proviendrait de la présence d'une plus grande quantité d'aberrations sphériques non corrigées au niveau des composantes internes de l'œil (cristallin et cornée postérieure) chez le participant KC⁽⁸⁾. De plus, le niveau d'asphéricité idéal pour les participants atteints de KC pourrait varier en fonction de la sévérité du KC, de la position de l'apex du KC et de la quantité d'aberrations provenant de la cornée postérieure et des milieux internes.

Les changements d'aberration sphérique en fonction de la modification de l'asphéricité de la surface antérieure ont été comparés à la modélisation présentée par Calossi et collab. (2007). Pour un patient normal, ces auteurs suggèrent qu'une asphéricité antérieure cornéenne $e = 0,71$ correspond à la valeur permettant d'avoir la valeur absolue de RMS de Z_4^0 la plus faible.⁽⁷¹⁾ Or, l'étude présentée aujourd'hui suggère que l'absence d'asphéricité ($e = 0$) est idéale afin de réduire la quantité d'aberrations sphériques chez le patient sans anomalie cornéenne : l'aberration sphérique était très légèrement positive avec une faible asphéricité antérieure de la SL ($e = 0$), mais devenait plus négative au fur et à mesure que l'asphéricité antérieure de la SL augmente ($e = 0,4$ ou $e = 0,6$). Cette situation peut être expliquée par le fait que le modèle de

Calossi ne prend pas en compte l'aberration sphérique générée par la cornée postérieure et l'optique interne de l'œil. De plus, ce modèle ne tient pas compte de l'effet des différents indices de réfraction du système optique de la SL. Les observations effectuées lors de l'expérience présentée dans ce mémoire concordent tout de même avec la modélisation théorique proposé par l'équipe de Calossi et collab. (2007). Ces observations soulignent que l'augmentation de l'excentricité antérieure de la LC entraîne une augmentation de l'aberration sphérique négative, tandis que la diminution de celle-ci entraîne une augmentation de l'aberration sphérique positive.

À ce jour, on ne retrouve pas d'étude ayant évalué l'impact de l'asphéricité d'une SL sur l'aberration sphérique. Bien qu'il fût attendu que la modification de l'asphéricité entraîne des modifications au niveau de l'aberration sphérique, cette expérience serait parmi les premières à rapporter son impact pour ce qui a trait aux SL.

AOS totale

Au niveau de l'AOS totale, on détecte pour le groupe 1 (participants normaux) un changement significatif de valeur RMS d'AOS totale entre les LC pour les \varnothing_{pup} 4, 5 mm et 6 mm. Plus précisément, le profil d'asphéricité de la LC C ($e = 0,6$) entraîne une augmentation de l'AOS totale par rapport aux trois autres LC pour ces trois \varnothing_{pup} . D'ailleurs, plus le \varnothing_{pup} est élevé, plus cette augmentation est importante. Toutefois, les données de cette expérience ne permettent pas de constater une différence significative entre la présence ou l'absence d'ASP seule pour les valeurs RMS d'AOS totale. Bien que les valeurs RMS moyennes d'AOS totale auprès du groupe 1 étaient plus faibles lors du port de la LC B ($e = 0,4$) par rapport aux LC A ($e = 0$) et D ($e_{post} = 0,3$), cette réduction n'est pas statistiquement significative. Ces données suggèrent qu'il serait préférable d'éviter d'utilisation d'un profil d'ASA élevé (plus de $e = 0,4$ chez les patients n'ayant pas de déformation cornéenne).

Bien que cette étude ait pu détecter la présence d'un effet de la LC ($p = 0,0461$) chez le groupe 2 (KC) sur les AOS totales, on ne détecte pas d'interaction significative entre le facteur LC et le facteur \varnothing_{pup} ($p = 0,0569$). En revanche, l'analyse post-hoc avec ajustement de Tukey-Kramer n'a pas détecté de changement significatif pour les comparaisons entre les différentes LC. À travers l'analyse des résultats bruts, on peut remarquer que l'AOS totale est légèrement plus faible avec la lentille B qu'avec la LC A et D. De plus, on peut remarquer que le montant d'AOS

totale est encore plus faible avec la lentille C plutôt que les autres LC. Cependant, ces différences ne sont pas statistiquement significatives.

En raison des enjeux de recrutement qui ont réduit la taille de l'échantillon du groupe KC, la puissance statistique demeure plus faible chez le groupe 2. Le résultat demeure surprenant considérant que les quantités d'AOS de type coma et de type aberration sphérique chez le groupe 2 ont diminué significativement avec la lentille C pour les \varnothing_{pup} plus élevés. Néanmoins, il est possible que des comparaisons non significatives puissent le devenir en présence d'une puissance statistique plus élevée.

4.3 VSX et de son logarithme logVSX

À première vue, la valeur de l'erreur RMS (en microns) du front d'onde permet une brève comparaison de la performance visuelle de différents systèmes optiques, mais cette donnée ne permet pas de représenter l'effet réel des différentes aberrations et ne tient pas compte de l'interaction entre les différents types d'aberrations sur la fonction d'étalement du point (*point-spread-function*).⁽³⁰⁾ Par conséquent, même si l'augmentation de la valeur RMS des différents coefficients de Zernike est habituellement associée à une diminution de la performance visuelle, celle-ci n'est pas directement liée à la qualité de l'image rétinienne de l'œil considéré.⁽²⁵⁾

Pour tenir compte de cet aspect, l'indice du ratio visuel de Strehl (VSX) a été développé pour évaluer la performance optique d'un système visuel. Ce ratio compare le pic de la fonction d'étalement du point (PSF) d'un système visuel réel à celui d'un système visuel fictif sans aberrations oculaires.⁽³¹⁾ De plus, son logarithme (logVSX) a démontré un haut niveau de corrélation avec l'AVHC, ce qui suggère que cette donnée pourrait prédire la performance d'un système visuel. C'est pourquoi ces données ont été prises en compte au cours de l'expérience.

Lorsqu'on observe les résultats obtenus, on remarque d'abord que l'augmentation du \varnothing_{pup} est associée à une diminution de la valeur VSX et de logVSX autant chez le groupe 1 que le groupe 2, ce qui serait lié à une diminution de la performance visuelle.

Lors de l'analyse de l'impact de l'asphéricité pour le groupe 1, des différences significatives ont été soulignées pour les \varnothing_{pup} 3 mm et 4 mm entre les différentes LC pour le ratio VSX. Notamment, la valeur de VSX est significativement plus petite avec la LC C ($e = 0,6$) qu'avec la LC A ($e = 0$) ou D ($e_{\text{post}} = 0,3$) pour ces deux \varnothing_{pup} . De plus, pour le \varnothing_{pup} 3 mm seulement, une

valeur de VSX significativement plus faible est obtenue avec la LC B ($e = 0,4$) par rapport à la LC D ($e_{\text{post}} = 0,3$). Pour ce qui a trait à $\log\text{VSX}$, la LC C obtient à nouveau un score de $\log\text{VSX}$ significativement plus faible et négatif que la LC A, B et D. Ainsi, du point de vue des indices VSX et $\log\text{VSX}$, les LC A ($e = 0$) et D ($e_{\text{post}} = 0,3$) permettent d'obtenir la meilleure performance optique (valeur VSX le plus près de 1 ou valeur $\log\text{VSX}$ la plus près de zéro).

Ces observations concordent avec le fait que les valeurs d'AOS totales sont plus élevées avec la LC C ($e = 0,6$) chez le groupe 1 (participants normaux) par rapport aux autres. Cette donnée est importante, car même en l'absence d'un changement significatif d'AVHC ou d'AVBC, la modification du profil d'asphéricité pourrait avoir un impact sur la fonction d'étalement du point et, ainsi, sur la performance visuelle du patient.

Auprès du groupe 2, une différence entre la LC A et la LC B a été détectée pour le ratio VSX : la LC B ($e = 0,4$) obtient un score légèrement plus élevé et performant que la LC A ($e = 0$). Les autres comparaisons étaient non-significatives. Quant à l'indice $\log\text{VSX}$ chez ce même groupe, les LC B ($e = 0,4$) et C ($e = 0,6$) obtiennent un score de $\log\text{VSX}$ significativement plus performant que la LC A ($e = 0$). De plus, la LC B obtient un score significativement plus performant que la LC D ($e_{\text{post}} = 0,3$). Les autres comparaisons entre les LC n'ont pas permis de déceler de différences significatives.

Étonnamment, chez le groupe 2, des différences significatives ont été soulignées pour plus de comparaison lors de l'analyse de $\log\text{VSX}$ que lors de l'analyse de VSX. Bien que les tendances découlant de ces analyses demeurent légèrement floues, celles-ci suggèrent que la LC B permettraient d'obtenir une meilleure performance visuelle que les LC A et D chez la cohorte de participants atteints de KC. Bien que la valeur totale d'AOS totale ne soit pas modifiée significativement par le changement d'asphéricité chez le groupe 2, celui pourrait tout de même entraîner des modifications de la performance visuelle selon l'analyse de ces indices. La coma totale et l'aberration sphérique ont diminué significativement lors du port des LC B ($e = 0,4$) et C ($e = 0,6$), mais les résultats bruts soulignent que le trèfle total tend à augmenter (de façon non significative). Il importe de se rappeler que les valeurs RMS de l'AOS ne tiennent pas compte de l'interaction entre les différents types d'aberrations sur la fonction d'étalement du point (*point-spread-function*).⁽³⁰⁾ De plus, les coefficients au centre de la pyramide (coma et aberration

sphérique) peuvent avoir plus d'impact sur la fonction d'étalement du point⁽²⁴⁾, ce qui pourrait expliquer que des différences entre les LC puisse être constatées au pour les ratios VSX et logVSX même si la quantité d'AOS totale n'est pas diminuée.

4.4 Fiabilité des mesures de décentrement des SL

Dans le cadre de cette expérience, le décentrement des SL est mesuré en comparant la position du centre géométrique de la SL par rapport au centre de la pupille à l'aide du topographe Medmont.

Tout d'abord, le décentrement moyen de la SL pour le groupe 1 (participants normaux) de cette étude varie de $(0,496 \pm 0,382)$ mm à $(0,553 \pm 0,376)$ mm (selon le type de LC) en inférieur pour le décentrement vertical. Le décentrement moyen horizontal chez ce même groupe varie de $(0,494 \pm 0,303)$ mm à $(0,620 \pm 0,257)$ mm (selon le type de LC) en direction temporale.

Ensuite, pour le groupe 2, le décentrement moyen de la SL varie de $(0,483 \pm 0,201)$ mm à $(0,704 \pm 0,411)$ mm en inférieur pour le décentrement moyen vertical. Le décentrement moyen horizontal chez ce même groupe varie de $(0,565 \pm 0,266)$ mm à $(0,783 \pm 0,198)$ mm en direction temporale. D'ailleurs, les mesures de décentrement obtenues varient en fonction du profil d'asphéricité de la LC portée pour les deux groupes.

En comparaison, Vincent et collab. rapportent que le décentrement moyen de la SL de $0,62 \pm 0,18$ mm en temporal et de $0,91 \pm 0,33$ mm en inférieur avec la prise de mesure topographique.⁽⁵¹⁾

Lors de la prise de mesure, le centre géométrique de la SL est déterminé manuellement en délimitant la zone optique de la SL. Les vecteurs verticaux et horizontaux sont ensuite mesurés à l'aide d'un régllet intégré dans le logiciel. L'extraction des données a été réalisée par deux observateurs indépendants et l'accord ICC a été évalué pour déterminer la cohérence entre les résultats obtenus pour les deux observateurs. Un excellent accord était présent entre les deux observateurs pour les LC A et D autant pour les mesures de décentrement verticaux que les mesures de décentrement horizontal. Par contre, ce degré d'accord diminue énormément pour l'extraction des données de décentrement horizontal pour les LC B (profil d'asphéricité $e = 0,4$) et les LC C (profil d'asphéricité $e = 0,6$). Néanmoins, l'accord est demeuré assez bon entre les deux observateurs pour le décentrement vertical même pour les LC B et C.

En théorie, les quatre SL possèdent les mêmes caractéristiques de sagittales, d'alignement des bords sur la sclère et de puissance. De ce fait, il aurait été attendu que les valeurs de décentrement obtenus soient assez identiques malgré un changement du profil d'asphéricité. Or, malgré le haut degré d'accord entre les deux observateurs pour les décentrement verticaux, une différence significative de $0,1575 \pm 0,05853$ mm (différence moyenne \pm erreur type) a été détectée entre les décentrement verticaux mesurés avec la LC A et les décentrement de la LC C. Une différence de $0,1736 \pm 0,05935$ mm (différence moyenne \pm erreur type) a été détectée pour les comparaisons entre les LC B et C. Une différence de $0,1354 \pm 0,0601$ mm (différence moyenne \pm erreur type) a été détectée entre les LC B et D. L'analyse n'a pas détecté d'effet significatif du facteur LC sur les mesures de décentrement horizontaux.

Cette situation suggère que la présence d'asphéricité sur la face antérieure augmente le niveau de complexité de l'extraction des données. Dans ce cas, la position du centre géométrique devient plus difficile à déterminer à l'aide des cartes tangentielles avec échelle standard. De même, il faut aussi prendre en compte que cette technique prenait en compte à la base un seul design de zone optique sans asphéricité et que la précision de la mesure peut être diminuée par la présence de flexion de la SL ou par un film lacrymal instable.⁽⁶¹⁾ L'expérience acquise durant cette étude suggère que la modification de l'asphéricité antérieure pourrait affecter elle aussi la précision de l'extraction des données et la répétabilité de la prise de mesure.

4.5 Influence du décentrement l'amplitude des AOS

Des corrélations de Spearman ont été menées afin de déterminer si le décentrement des LC pouvait avoir un impact sur la valeur RMS des différents coefficients d'AOS. Bien que certaines associations positives et négatives puissent être soulignées entre les décentrement des LC et certains coefficients d'AOS (voir section 3.6), les résultats obtenus ne permettent pas d'établir, à ce jour, un lien de causalité ni de tendances claires pour ce qui a trait à l'impact du décentrement sur les valeurs d'AOS.

4.6 Limitations de l'étude

La méthodologie utilisée afin de mener cette expérience comporte certaines lacunes qui méritent d'être prises en compte.

Premièrement, les échantillons des deux groupes peuvent difficilement représenter l'ensemble de la population normale et de la population atteinte de KC. En effet, la taille d'échantillon limité pour les deux groupes provoque une baisse de la puissance statistique. Les effets de cette perte de puissance se sont présentés de manière plus marquée chez le groupe de participants atteints de KC que chez le groupe de participants normaux, puisque l'expérience a été effectuée chez seulement 9 participants. Ensuite, la position de l'apex du KC et sa sévérité influenceront nécessairement la quantité d'AOS résiduelle lors du port de SL provenant des composantes internes de l'œil.⁽⁸⁾ Parallèlement, la capture des données de valeur RMS des AOS a été impossible pour certains participants à des diamètres pupillaires plus élevés. Cette situation amène évidemment une perte de donnée supplémentaire. Par exemple, les valeurs RMS des différents types d'AOS à un \varnothing_{pup} de 6 mm n'ont pu être mesurées pour certaines LC chez deux participants chez le groupe 1 et deux participants chez le groupe 2.

Dans ce contexte, il a été difficile d'établir des corrélations entre l'impact du décentrement sur les valeurs résiduelles d'AOS lors du port de SL. De plus, peut-être que l'augmentation de la puissance statistique aurait permis de mieux comprendre la relation entre la modification du profil d'asphéricité et les changements de trèfle.

Par ailleurs, il est nécessaire de souligner les limitations des différents appareils de mesure. Tout d'abord, il est connu que les mesures des aberrations oculaires par l'OPD-Scan

peuvent fluctuer en fonction de plusieurs facteurs individuels et réduire la précision de celles-ci. Parmi les éléments impliqués dans cette perte de précision, il faut prendre en compte que les AOS peuvent fluctuer en fonction du clignement, de la stabilité du film lacrymal et de la mouillabilité de la LC. De plus, des fluctuations de l'accommodation et du diamètre pupillaire peuvent, eux aussi, affecter la précision de la mesure.⁽⁹⁰⁻⁹⁴⁾ La présence de flexion chez les SL pourrait, elle aussi, entraîner des fluctuations des valeurs RMS des AOS.^(3, 63) Pour ce qui a trait aux mesures de décentrement effectuées avec le topographe Medmont, les mesures peuvent, elles aussi, fluctuer en fonction du design de la lentille, de la flexion de la lentille et de la mouillabilité de la surface de la lentille.⁽⁶¹⁾ Comme discuté plus tôt, la modification de l'asphéricité antérieure de la SL semble affecter la précision de cette méthode.

Pour ce qui a trait aux mesures d'AVHC et d'AVBC, malgré le fait que différentes échelles d'acuité visuelle de type ETDRS ont été utilisées de manière randomisée pour prendre les mesures d'AV, un biais de mémorisation de différents sous-ensembles de lettres suite à de nombreuses prises de mesures pourrait réduire la validité du test d'acuité visuelle.⁽⁹⁵⁾ De plus, les acuités visuelles ont été mesurées dans un environnement photopique dans lequel la mesure moyenne du diamètre pupillaire était de $3,9 \pm 0,6$ mm chez le groupe 1 et de $3,8 \pm 0,4$ mm chez le groupe 2. Puisque les modifications les plus significatives de valeur RMS ont été détectées à partir de 5 et 6 mm pour la majorité des coefficients évalués, l'AVHC et AVBC en condition photopique ne représentera pas nécessairement la modification de la performance visuelle associée aux changements d'AOS.

Comme les ressources étaient limitées en termes de SL disponibles et de temps de visite pour cette étude, les mesures ont donc été effectuées avec des lentilles diagnostiques pour chacun des participants. Cette limitation amène évidemment une difficulté à contrôler l'ensemble des paramètres du système optique créée par le port des SL. Au premier abord, bien que l'étude contrôle le dégagement central entre la LC et la cornée, elle ne prend pas en compte la relation entre la kératométrie cornéenne et la courbure de base de la LC (R_0) qui pourrait affecter la puissance du réservoir lacrymal et de ses aberrations.⁽⁹⁶⁾ Ensuite, l'étude ne prend pas en compte l'effet possible de l'épaisseur de la SL, du rayon de courbure antérieure de la SL ni de l'effet de la puissance de la SL sur les mesures des AOS. Aussi, puisque l'ajustement de la périphérie est

identique pour chaque lentille diagnostique (Cambré -75 μm , Plat +75 μm), l'alignement de celle-ci sur la sclère n'a pas pu être optimisé pour chaque participant. En conséquence, cet ajustement potentiellement inadéquat de la périphérie d'une SL par rapport à la sclère pourrait augmenter la flexion de la SL et, par le fait même, influencer les mesures de la surréfraction et des AOS. ^(3, 63) De plus, puisque les participants ne portaient pas la meilleure correction réfractive, il est possible que la fluctuation de l'accommodation affecte la qualité des mesures de l'aberromètre. ⁽⁹⁴⁾ Enfin, bien que les paramètres des SL (courbure de base, courbure périphérique, profil des bords) sont théoriquement identiques entre les LC A, B, C et D pour une même valeur SAG, cette expérience n'a pu effectuer une vérification précise de l'ensemble des paramètres des lentilles diagnostiques utilisées dans l'expérience. Ainsi, des différences légères pourraient être présentes entre ces LC même si celles-ci sont tolérées selon les normes de fabrication et que ces SL sont considérées comme identiques sur papier. Cette situation pourrait influencer la précision des données obtenues lors de notre expérience et même influencer le comportement de la SL sur l'œil du participant.

4.7 Implications cliniques

Cette expérience a permis d'établir que la modification du profil d'asphéricité d'une SL entraîne des changements significatifs de valeurs RMS de certains coefficients d'AOS plus particulièrement pour des \varnothing_{pup} de 5 à 6 mm. Ces changements concernent plus spécifiquement l'aberration sphérique et la coma. En revanche, la relation entre le changement du profil d'asphéricité et la valeur RMS de trèfle demeure plus floue.

En ce qui concerne l'influence de l'asphéricité sur l'aberration sphérique, cette expérience souligne que l'augmentation de l'ASA (valeur e positive, forme prolata) augmente la quantité d'aberrations sphériques en direction négative chez les deux groupes. Ainsi, ce changement augmente la valeur totale d'aberration sphérique résiduelle chez le groupe 1, mais diminue l'aberration sphérique résiduelle positive (et totale) chez le groupe 2. Inversement, une valeur d'asphéricité e négative (forme oblate) pourrait théoriquement être utilisée pour produire de l'aberration sphérique en direction positive (ou une diminution de l'aberration sphérique négative).

Dans un autre ordre d'idée, le changement d'asphéricité a entraîné des modifications au niveau de la quantité de coma chez les deux groupes. Tout d'abord, il faut comprendre qu'un décentrement inférieur et temporal de la SL est attendu pour la majorité des porteurs.⁽⁶¹⁾ Si tel est le cas, le décentrement de la zone optique de ces LC génère une certaine quantité de coma pour certains profils d'asphéricité. Ainsi, une augmentation de l'ASA (valeur e positive) tend à produire des changements de valeur RMS de coma verticale et horizontale en direction négative pour un œil droit (décentrement à gauche et en bas). Bien que l'on puisse présumer que le même changement d'asphéricité entraînera aussi une augmentation de la coma verticale en direction négative pour un œil gauche (décentrement à droite et en bas), on peut plutôt s'attendre à voir une diminution de la coma horizontale négative (ou une augmentation de la coma horizontale positive). Cela s'explique par le fait que le décentrement horizontal se produira dans la direction opposée dans un œil droit par rapport à l'œil gauche.

Bien que cette expérience ne puisse établir clairement le lien entre le décentrement d'une SL et la quantité de coma, la littérature suggère que la quantité de coma générée par une surface produisant de l'aberration sphérique augmentera avec l'importance du décentrement de la zone optique du point de vue de la chirurgie réfractive LASIK⁽¹⁵⁻¹⁸⁾ et de la chirurgie du remplacement du cristallin^(77, 78). De même, l'étude de Atchison et collab. (1995) rappelle, elle aussi, l'impact du décentrement d'une LCR PAG sur la quantité de coma perçue.⁽⁶²⁾

En revanche, la relation entre le profil d'asphéricité sur la quantité de trèfle total demeure floue. Pour le groupe 1 seulement (participants normaux), l'utilisation d'une asphéricité $e = 0,6$ a entraîné une augmentation significative de la quantité de trèfle total par rapport aux autres SL ($e = 0$, $e = 0,4$ et $e_{\text{post}} = 0,3$), mais celle-ci n'a pas produit de modification significative du trèfle total chez le groupe 2 (KC).

Enfin, cette étude suggère que les valeurs d'AOS totale étaient plus faibles avec les LC A et D pour le groupe 1, mais ne distingue pas d'effet significatif entre le type de LC portée pour le groupe 2. Puisque la manière avec laquelle les différentes aberrations interagissent a également un impact sur la performance visuelle même, l'interprétation des résultats ne doit pas se limiter seulement à l'évaluation de la valeur RMS des AOS totale.⁽³⁰⁾

À cet égard, l'influence de l'asphéricité sur la performance visuelle a été aussi évaluée à l'aide de l'indice VSX et logVSX. Ces indices suggèrent que la performance visuelle serait meilleure avec les LC A et D pour le groupe 1, mais plutôt avec les LC B et C chez le groupe 2. Ces résultats peuvent être associés à la réduction de la coma et l'aberration sphérique résiduelle chez les deux groupes, malgré un impact faible lors de la prise en compte de la valeur d'AOS totale.

D'un point de vue clinique, les données de cette expérience suggèrent qu'il faudrait éviter de proposer des SL ayant une asphéricité supérieure à une valeur de $e = 0,4$ chez un porteur de SL sans déformation cornéenne. Bien qu'une SL ayant une asphéricité $e = 0,4$ permet de réduire la quantité de coma totale chez les patients normaux à des diamètres pupillaires de 5 mm et plus, celle-ci augmente malheureusement l'aberration sphérique négative. Ainsi, la quantité AOS totale ne diminue pas significativement en passant d'une LC ayant un profil $e = 0$ à un profil $e = 0,4$. De même, l'utilisation d'une asphéricité plus élevée augmente significativement la quantité résiduelle de coma totale, d'aberrations sphériques et d'AOS totale, ce qui, de façon présumée, nuira à la performance visuelle. Enfin, le fait que les indices VSX et logVSX suggèrent une plus faible performance visuelle chez les patients sans anomalie cornéenne pendant le port d'une LC C ($e = 0,6$) renforce cette idée.

Quant aux participants atteints de KC, la modification du profil d'asphéricité pourrait s'avérer une option intéressante afin de réduire légèrement les valeurs RMS de coma totale et d'aberration sphérique chez certains patients ayant un grand diamètre pupillaire. Même si la valeur RMS d'AOS totale n'est pas significativement réduite avec l'augmentation de l'ASA, les indices VSX et logVSX suggèrent une amélioration de la performance visuelle du participant du groupe 2 lors du port des LC B ($e = 0,4$) et C ($e = 0,6$). Cependant, puisque la position de l'apex de l'ectasie et sa sévérité aura un impact sur le profil d'AOS résiduelle l'optique asphérique devrait idéalement être adaptée et personnalisée en fonction de chaque cas. À ce jour, il est difficile de déterminer la recette exacte à appliquer en fonction du profil des AOS résiduels présents lors du port de SL. Le tableau 62 émet des suggestions de profils d'asphéricité idéaux pour réduire la valeur RMS des différents types d'aberrations en fonction du diamètre pupillaire du patient. Le tableau 63 effectue la même analyse quant aux indices de la performance visuelle VSX et logVSX.

Tableau 62. – Choix du profil d’asphéricité idéal pour réduire la valeur RMS des différents types d’AOS en fonction des résultats obtenus lors de cette expérience

Type d’aberration	Diamètre pupillaire			
	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
Groupe 1 – Normal				
Coma totale	NS	NS	LC A, B ou D	LC B
Aberration sphérique	NS	NS	LC A	LC A
Trèfle totale	NS	NS	LC A, B ou D	LC A, B ou D
AOS totale	NS	LC A, B ou D	LC A, B ou D	LC A, B ou D
Groupe 2 - KC				
Coma totale	NS	NS	LC B ou C	LC B ou C
Aberration sphérique	NS	LC C	LC C	LC C
Trèfle totale	NS	NS	NS	NS
AOS totale	NS	NS	NS	NS

Note 1 : Les excentricités des différentes SL testées correspondent aux valeurs suivantes. LC A : $e = 0$ LC B $e = 0,4$ LC C $e = 0,6$ LC D $e_{post} = 0,3$. La mention NS signale qu’aucune LC n’a démontré d’avantage statistiquement significatif par rapport aux autres.

Note 2 : Les recommandations associées au groupe KC sont applicables seulement pour l’échantillon de l’étude). Cette recommandation peut différer en fonction de la sévérité du KC et la position de l’apex de celui-ci.

Tableau 63. – Choix du profil d’asphéricité idéal permettant d’optimiser la performance visuelle selon les indices VSX et logVSX en fonction des résultats obtenus lors de cette expérience

Indice de la performance visuelle	Diamètre pupillaire			
	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
Groupe 1 – Normal				
VSX	LC A ou D	LC A ou D	NS	NS
LogVSX	LC A, B ou D	LC A, B ou D	LC A, B ou D	LC A, B ou D
Groupe 2 - KC				
VSX	LC B	LC B	LC B	LC B
LogVSX	LC B ou C	LC B ou C	LC B ou C	LC B ou C

Note 1 : Les excentricités des différentes SL testées correspondent aux valeurs suivantes. LC A : $e = 0$ LC B $e = 0,4$ LC C $e = 0,6$ LC D $e_{post} = 0,3$. La mention NS signale qu’aucune LC n’a démontré d’avantage statistiquement significatif par rapport aux autres.

Note 2 : Les recommandations associées au groupe KC sont applicables seulement pour l’échantillon de l’étude). Cette recommandation peut différer en fonction de la sévérité du KC et la position de l’apex de celui-ci.

En dépit des bénéfices qui peuvent découler de l'utilisation d'optiques asphériques, les avantages de celles-ci comportent certaines limites.

Tout d'abord, puisque le décentrement de la zone optique peut varier en fonction du participant et de l'ajustement de la SL, la modification l'asphéricité de la SL n'entraînera pas nécessairement la même amplitude de changement de valeur RMS de coma pour chaque participant. De même, le profil optimal pour réduire la coma verticale en valeur absolue ne permettra pas toujours d'obtenir une réduction significative de la coma horizontale en valeur absolue. Par exemple, si un premier vecteur (vertical) demeure bien corrigé, le deuxième vecteur (horizontal) pourrait être sous-corrigé ou sur-corrigé, ce qui limiterait le potentiel correcteur de cette méthode. Enfin, cette méthode produit des changements significatifs de l'amplitude des AOS totale, coma et aberration sphérique plus spécifiquement pour des diamètres pupillaires plus élevés (5 et 6 mm) : les patients ayant un plus petit diamètre pupillaire auront un bénéfice négligeable.

Il est vrai que le passage de la LC D (Design original de la Onefit Med, $e_{\text{post}} = 0,3$) à une LC C ($e = 0,6$) permet une réduction de la coma totale moyenne de 0,2369 unité RMS ($p = 0,0001$) et de l'aberration sphérique de 0,21 unité RMS ($p = 0,0001$) pour un diamètre de 6 mm auprès du groupe 2 (KC). Par contre, l'impact sur les AOS totales pour une pupille de 6 mm est non significatif (diminution de 0,05493 unité RMS, $p = 0,168$). Cette contradiction pourrait être expliquée par une augmentation légère (non significative) des aberrations de type trèfle lors de l'augmentation de l'asphéricité chez ce même groupe. De futures études possédant une puissance statistique plus élevée pourraient souligner un résultat différent chez une cohorte de participants atteint de KC.

Bien que la modification du profil d'asphéricité d'une SL permet une certaine réduction des AOS chez certains patients, l'efficacité de cette méthode demeure toutefois limitée par rapport aux SL permettant la correction du front d'onde sur mesure. En comparaison, à l'aide de SL permettant la correction du front d'onde résiduel sur mesure, l'équipe de Sabesan et collab. a réduit les AOS totales moyennes de $1,17 \pm 0,57$ unité RMS (lentilles sclérales conventionnelles) à $0,37 \pm 0,19$ unité RMS (SL avec correction du front d'onde) pour un diamètre pupillaire de 6 mm chez des patients atteints de KC ($n = 11$).⁽²⁾

Dans le futur, il sera intéressant de déterminer quel est l'impact de changement d'asphéricité plus important (valeur $e > 0,6$) et de valeurs d'asphéricité négative (valeur $e < 0$) sur les AOS. Ensuite, la relation entre la modification du profil d'asphéricité sur la valeur RMS des différentes composantes du trèfle (Z_3^{-3} , Z_3^{-3} ou trèfle total) devra être investigué de manière plus approfondie. De plus, il pourrait être pertinent de quantifier l'impact du décentrement d'une SL sphérique ou asphérique sur le profil des AOS. Dans le cas où le décentrement d'une SL est plus difficile à contrôler par les méthodes conventionnelles (ajustement de la périphérie de la lentille, optimisation du poids de la lentille, etc.), il serait souhaitable de déterminer si un certain profil d'asphéricité permet de réduire l'impact du décentrement de SL sur le profil d'AOS. Ces études nécessiteront cependant une très grande puissance statistique afin d'obtenir un portrait clair de la situation.

Chapitre 5. Conclusion

Cette étude a permis de comprendre que le changement d'asphéricité d'une SL influence l'amplitude de différents types d'aberrations incluant l'aberration sphérique, la coma, le trèfle total et l'AOS totale. Ces changements d'asphéricité ont d'ailleurs un effet plus important à des diamètres pupillaires plus élevés.

Ces nouvelles données suggèrent que les participants sans anomalie cornéenne ont avantage à poursuivre le port de SL sans asphéricité antérieure : l'augmentation de l'asphéricité antérieure mène à une augmentation de l'aberration sphérique négative, de la coma totale, du trèfle total et de l'AOS totale. Pour les participants ayant un diagnostic de KC, selon le profil des AOS résiduelles mesurées lors d'un port de SL sans asphéricité, l'augmentation de l'asphéricité antérieure permettrait dans certains cas de réduire la quantité de coma totale et d'aberration sphérique. Cependant, ces changements d'asphéricité n'ont pas entraîné de réduction significative de l'AOS totale auprès de l'échantillon de participants atteint de KC recruté pour cette étude. Les modifications des profils d'asphéricité n'ont pas influencé significativement les mesures d'AVHC et d'AVBC.

Bien que des études supplémentaires soient nécessaires pour comprendre l'influence exacte de l'asphéricité d'une SL sur les AOS des participants atteints de KC, la manipulation de l'asphéricité antérieure d'une SL permettrait dans certains cas de réduire l'amplitude d'aberration sphérique et de coma totale.

Références bibliographiques

1. Schornack MM. Scleral Lenses: A Literature Review. *Eye and Contact Lens*. 2015;41(1):3-11.
2. Sabesan R, Johns L, Tomashevskaya O, Jacobs DS, Rosenthal P, Yoon G. Wavefront-Guided Scleral Lens Prosthetic Device for Keratoconus. *Optom Vis Sci*. 2013;90(4):314-23.
3. Vincent SJ, Fadel D. Optical considerations for scleral contact lenses: A review. *Contact Lens and Anterior Eye*. 2019;42(6):598-613.
4. Mas Tur V, MacGregor C, Jayaswal R, O'Brart D, Maycock N. A review of keratoconus: Diagnosis, pathophysiology, and genetics. *Survey of Ophthalmology*. 2017;62(6):770-83.
5. Gomes JA, Tan D, Rapuano CJ, Belin MW, Ambrosio R, Jr., Guell JL, et al. Global consensus on keratoconus and ectatic diseases. *Cornea*. 2015;34(4):359-69.
6. Goggin M, Alpins N, Schmid LM. Management of irregular astigmatism. *Curr Opin Ophthalmol*. 2000;11(4):260-6.
7. Read SA, Collins MJ, Carney LG. A review of astigmatism and its possible genesis. *Clinical & experimental optometry*. 2007;90(1):5-19.
8. Chen M, Yoon G. Posterior corneal aberrations and their compensation effects on anterior corneal aberrations in keratoconic eyes. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2008;49(12):5645-52.
9. Nakagawa T, Maeda N, Kosaki R, Hori Y, Inoue T, Saika M, et al. Higher-order aberrations due to the posterior corneal surface in patients with keratoconus. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2009;50(6):2660-5.
10. Berrio E, Tabernero J, Artal P. Optical aberrations and alignment of the eye with age. *Journal of Vision*. 2010;10(14):34.
11. Young L, Love G, Smithson H. Different aberrations raise contrast thresholds for single-letter identification in line with their effect on cross-correlation-based confusability. *Journal of vision*. 2013;13(12):1-14.
12. Lindskoog Pettersson A, Jarkö C, Alvin A, Unsbo P, Brautaset R. Spherical aberration in contact lens wear. *Contact lens & anterior eye : the journal of the British Contact Lens Association*. 2008;31(4):189-93.
13. Valentina BS, Ramona B, Speranta S, Calin T. The influence of optical aberrations in refractive surgery. *Rom J Ophthalmol*. 2015;59(4):217-22.
14. Bühren J, Yoon G, Kenner S, MacRae S, Huxlin K. The effect of optical zone decentration on lower- and higher-order aberrations after photorefractive keratectomy in a cat model. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2007;48(12):5806-14.
15. Mrochen M, Kaemmerer M, Mierdel P, Seiler T. Increased higher-order optical aberrations after laser refractive surgery: A problem of subclinical decentration. *J Cataract Refract Surg*. 2001;27(3):362-9.
16. Padmanabhan P, Basuthkar SS, Joseph R. Ocular aberrations after wavefront optimized LASIK for myopia. *Indian J Ophthalmol*. 2010;58(4):307-12.
17. Chan TCY, Wan KH, Kang DSY, Tso THK, Cheng GPM, Wang Y. Effect of corneal curvature on optical zone decentration and its impact on astigmatism and higher-order aberrations in SMILE and LASIK. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology = Albrecht von Graefes Archiv fur klinische und experimentelle Ophthalmologie*. 2019;257(1):233-40.

18. Yu Y, Zhang W, Cheng X, Cai J, Chen H. Impact of Treatment Decentration on Higher-Order Aberrations after SMILE. *J Ophthalmol*. 2017;2017:9575723.
19. Maeda N, Fujikado T, Kuroda T, Mihashi T, Hirohara Y, Nishida K, et al. Wavefront aberrations measured with Hartmann-Shack sensor in patients with keratoconus. *Ophthalmology*. 2002;109(11):1996-2003.
20. Okamoto C, Okamoto F, Samejima T, Miyata K, Oshika T. Higher-order wavefront aberration and letter-contrast sensitivity in keratoconus. *Eye (London, England)*. 2008;22(12):1488-92.
21. Marsack JD, Pesudovs K, Sarver EJ, Applegate RA. Impact of Zernike-fit error on simulated high- and low-contrast acuity in keratoconus: implications for using Zernike-based corrections. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*. 2006;23(4):769-76.
22. McAlinden C, McCartney M, Moore J. Mathematics of Zernike polynomials: a review. *Clin Experiment Ophthalmol*. 2011;39(8):820-7.
23. Maeda N. Wavefront technology in ophthalmology. *Curr Opin Ophthalmol*. 2001;12(4):294-9.
24. Applegate RA, Sarver EJ, Khemsara V. Are All Aberrations Equal? *J Refract Surg*. 2002;18(5):S556-S62.
25. Marsack JD, Thibos LN, Applegate RA. Metrics of optical quality derived from wave aberrations predict visual performance. *Journal of Vision*. 2004;4(4):322-8.
26. Lombardo M, Lombardo G. Wave aberration of human eyes and new descriptors of image optical quality and visual performance. *Journal of cataract and refractive surgery*. 2010;36(2):313-31.
27. Lawless MA, Hodge C. Wavefront's role in corneal refractive surgery. *Clinical & experimental ophthalmology*. 2005;33(2):199-209.
28. Sawides L, Marcos S, Ravikumar S, Thibos L, Bradley A, Webster M. Adaptation to astigmatic blur. *J Vis*. 2010;10(12):22.
29. Vinas M, Sawides L, de Gracia P, Marcos S. Perceptual adaptation to the correction of natural astigmatism. *PLoS One*. 2012;7(9):e46361.
30. Applegate RA, Marsack JD, Ramos R, Sarver EJ. Interaction between aberrations to improve or reduce visual performance. *Journal of cataract and refractive surgery*. 2003;29(8):1487-95.
31. Salmon TO, van de Pol C. Normal-eye Zernike coefficients and root-mean-square wavefront errors. *Journal of cataract and refractive surgery*. 2006;32(12):2064-74.
32. Agarwal A, Prakash G, Jacob S, Ashokkumar D, Agarwal A. Can uncompensated higher order aberration profile, or aberropia be responsible for subnormal best corrected vision and pseudo-amblyopia. *Med Hypotheses*. 2009;72(5):574-7.
33. Gordon-Shaag A, Millodot M, Ifrah R, Shneur E. Aberrations and topography in normal, keratoconus-suspect, and keratoconic eyes. *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry*. 2012;89(4):411-8.
34. Jinabhai A, Radhakrishnan H, O'donnell C. Higher order aberrations in keratoconus: A review. *Optometry in Practice*. 2009;10:141-60.
35. Marsack JD, Parker KE, Pesudovs K, DONNELLY WJI, APPLGATE RA. Uncorrected Wavefront Error and Visual Performance During RGP Wear in Keratoconus. *Optom Vis Sci*. 2007;84(6):463-70.

36. Delgado S, Velazco J, Delgado Pelayo RM, Ruiz-Quintero N. Correlation of higher order aberrations in the anterior corneal surface and degree of keratoconus measured with a Scheimpflug camera. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología (English Edition)*. 2016;91(7):316-9.
37. Lim L, Wei RH, Chan WK, Tan DT. Evaluation of higher order ocular aberrations in patients with keratoconus. *J Refract Surg*. 2007;23(8):825-8.
38. Applegate RA, Hilmantel G, Howland HC, Tu EY, Starck T, Zayac EJ. Corneal First Surface Optical Aberrations and Visual Performance. *J Refract Surg*. 2000;16(5):507-14.
39. Chalita MR, Chavala S, Xu M, Krueger RR. Wavefront analysis in post-LASIK eyes and its correlation with visual symptoms, refraction, and topography. *Ophthalmology*. 2004;111(3):447-53.
40. Williams D, Yoon GY, Porter J, Guirao A, Hofer H, Cox I. Visual benefit of correcting higher order aberrations of the eye. *J Refract Surg*. 2000;16(5):S554-9.
41. Yoon G-Y, Williams DR. Visual performance after correcting the monochromatic and chromatic aberrations of the eye. *Journal of the Optical Society of America A*. 2002;19(2):266-75.
42. LEGRAS R, CHATEAU N, CHARMAN WN. Assessment of Just-Noticeable Differences for Refractive Errors and Spherical Aberration Using Visual Simulation. *Optom Vis Sci*. 2004;81(9):718-28.
43. Wang Y, Zhao K, Yang X, He J, Wang W. Higher order aberrations and low contrast vision function in myopic eyes (-3.00 to -6.00 d) under mesopic conditions. *J Refract Surg*. 2011;27(2):127-34.
44. Cheng X, Bradley A, Thibos LN. Predicting subjective judgment of best focus with objective image quality metrics. *Journal of Vision*. 2004;4(4):7.
45. Ravikumar A, Sarver EJ, Applegate RA. Change in visual acuity is highly correlated with change in six image quality metrics independent of wavefront error and/or pupil diameter. *J Vis*. 2012;12(10):11.
46. Hastings GD, Applegate RA, Nguyen LC, Kauffman MJ, Hemmati RT, Marsack JD. Comparison of Wavefront-guided and Best Conventional Scleral Lenses after Habituation in Eyes with Corneal Ectasia. *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry*. 2019;96(4):238-47.
47. ISKANDER DR. Computational Aspects of the Visual Strehl Ratio. *Optom Vis Sci*. 2006;83(1):57-9.
48. Fedtke C, Ehrmann K, Thomas V, Bakaraju RC. Association between multifocal soft contact lens decentration and visual performance. *Clin Optom (Auckl)*. 2016;8:57-69.
49. Marsack JD, Parker KE, Applegate RA. Performance of wavefront-guided soft lenses in three keratoconus subjects. *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry*. 2008;85(12):E1172-8.
50. Jinabhai AN. Customised aberration-controlling corrections for keratoconic patients using contact lenses. *Clinical & experimental optometry*. 2020;103(1):31-43.
51. Read SA, Vincent SJ, Collins MJ. The visual and functional impacts of astigmatism and its clinical management. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*. 2014;34(3):267-94.

52. Jinabhai A, Radhakrishnan H, Tromans C, O'Donnell C. Visual performance and optical quality with soft lenses in keratoconus patients. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*. 2012;32(2):100-16.
53. Mohd-Ali B, Abdu M, Mohidin N. Visual performance and aberration associated with contact lens wear in patients with keratoconus: a pilot study. *Clinical Optometry*. 2014;6 47–57.
54. Gumus K, Gire A, Pflugfelder SC. The impact of the Boston ocular surface prosthesis on wavefront higher-order aberrations. *Am J Ophthalmol*. 2011;151(4):682-90 e2.
55. Pullum KW, Buckley RJ. A study of 530 patients referred for rigid gas permeable scleral contact lens assessment. *Cornea*. 1997;16(6):612-22.
56. Jinabhai A, Radhakrishnan H, O'Donnell C. Visual acuity and ocular aberrations with different rigid gas permeable lens fittings in keratoconus. *Eye & contact lens*. 2010;36(4):233-7.
57. Negishi K, Kumanomido T, Utsumi Y, Tsubota K. Effect of higher-order aberrations on visual function in keratoconic eyes with a rigid gas permeable contact lens. *Am J Ophthalmol*. 2007;144(6):924-9.
58. Vincent SJ, Alonso-Caneiro D, Collins MJ. The temporal dynamics of miniscleral contact lenses: Central corneal clearance and centration. *Contact lens & anterior eye : the journal of the British Contact Lens Association*. 2018;41(2):162-8.
59. Visser E-S, Van der Linden BJ, Otten HM, Van der Lelij A, Visser R. Medical Applications and Outcomes of Bitangential Scleral Lenses. *Optom Vis Sci*. 2013;90(10):1078-85.
60. Consejo A, Behaegel J, Van Hoey M, Iskander DR, Rozema JJ. Scleral asymmetry as a potential predictor for scleral lens compression. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*. 2018;38:609-16.
61. Vincent SJ, Collins MJ. A topographical method to quantify scleral contact lens decentration. *Contact Lens and Anterior Eye*. 2019;42(4):462-6.
62. Atchison DA. Aberrations associated with rigid contact lenses. *Journal of the Optical Society of America A*. 1995;12(10):2267-73.
63. Vincent SJ, Kowalski LP, Alonso-Caneiro D, Kricancic H, Collins MJ. The influence of centre thickness on miniscleral lens flexure. *Contact lens & anterior eye : the journal of the British Contact Lens Association*. 2019;42(1):63-9.
64. Sarver MD. THE EFFECT OF CONTACT LENS TILT UPON RESIDUAL ASTIGMATISM*. *Optom Vis Sci*. 1963;40(12):730-44.
65. Hwang HB, Kim HS, Kim MS, Kim EC. The Effect of Corneal Higher Order Aberrations on Postoperative Residual Astigmatism after Toric IOL Implantation. *Semin Ophthalmol*. 2019;34(3):138-45.
66. Zhou W, Stojanovic A, Utheim TP. Assessment of refractive astigmatism and simulated therapeutic refractive surgery strategies in coma-like-aberrations-dominant corneal optics. *Eye Vis (Lond)*. 2016;3:13.
67. Bennett ES. Contemporary Scleral Lenses: Theory and Application. 2018;95(8):687.
68. Mikaelian G, Caroline P. Quality of vision improvements with decentered multifocal optics in scleral contact lenses. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2022;63(7):549 – A0247-549 – A.
69. Marsack JD, Ravikumar A, Nguyen C, Ticak A, Koenig DE, Elswick JD, et al. Wavefront-guided scleral lens correction in keratoconus. *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry*. 2014;91(10):1221-30.

70. Gatinel D, Haouat M, Hoang-Xuan T. [A review of mathematical descriptors of corneal asphericity]. *J Fr Ophtalmol*. 2002;25(1):81-90.
71. Calossi A. Corneal Asphericity and Spherical Aberration. *Journal of refractive surgery (Thorofare, NJ : 1995)*. 2007;23:505-14.
72. Heydarian S, Hashemi H, Shokrollahzadeh F, Yekta AA, Ostadimoghaddam H, Derakhshan A, et al. The normal distribution of corneal eccentricity and its determinants in two rural areas of north and south of Iran. *J Curr Ophthalmol*. 2018;30(2):147-51.
73. Pinero DP, Alio JL, Aleson A, Escaf Vergara M, Miranda M. Corneal volume, pachymetry, and correlation of anterior and posterior corneal shape in subclinical and different stages of clinical keratoconus. *Journal of cataract and refractive surgery*. 2010;36(5):814-25.
74. Wang J, Ren Y, Liang K, Jiang Z, Tao L. Changes of corneal high-order aberrations after femtosecond laser-assisted in situ keratomileusis. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97(18):e0618.
75. Kasper T, Bühren J, Kohnen T. Intraindividual comparison of higher-order aberrations after implantation of aspherical and spherical intraocular lenses as a function of pupil diameter. *Journal of cataract and refractive surgery*. 2006;32(1):78-84.
76. Su PY, Hu FR. Intraindividual comparison of functional vision and higher order aberrations after implantation of aspheric and spherical intraocular lenses. *J Refract Surg*. 2009;25(3):265-72.
77. Pieh S, Fiala W, Malz A, Stork W. In vitro strehl ratios with spherical, aberration-free, average, and customized spherical aberration-correcting intraocular lenses. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2009;50(3):1264-70.
78. Eppig T, Scholz K, Löffler A, Messner A, Langenbacher A. Effect of decentration and tilt on the image quality of aspheric intraocular lens designs in a model eye. *Journal of cataract and refractive surgery*. 2009;35(6):1091-100.
79. Ale JB. Intraocular lens tilt and decentration: a concern for contemporary IOL designs. *Nepal J Ophthalmol*. 2011;3(1):68-77.
80. Altmann GE, Nichamin LD, Lane SS, Pepose JS. Optical performance of 3 intraocular lens designs in the presence of decentration. *Journal of cataract and refractive surgery*. 2005;31(3):574-85.
81. Hussoin T, Le HG, Carrasquillo KG, Johns L, Rosenthal P, Jacobs DS. The effect of optic asphericity on visual rehabilitation of corneal ectasia with a prosthetic device. *Eye & contact lens*. 2012;38(5):300-5.
82. Jagadeesh D, Mahadevan R. Visual performance with changes in eccentricity in PROSE device: a case report. *Journal of optometry*. 2014;7(2):108-10.
83. Kerns RL. Clinical evaluation of the merits of an aspheric front surface contact lens for patients manifesting residual astigmatism. *Am J Optom Physiol Opt*. 1974;51(10):750-7.
84. Gemoules G, Morris KM. Rigid gas-permeable contact lenses and severe higher-order aberrations in postsurgical corneas. *Eye & contact lens*. 2007;33(6 Pt 1):304-7.
85. Tackman G. Mapping the aspheric characteristics of the Boston Envision contact lens using the EyeSys corneal topographer 1995 [2020-10-07]. Available from: <http://fir.ferris.edu:8080/xmlui/bitstream/handle/2323/4151/1995%20Tackman%20Mapping%20the%20aspheric%20characteristics%20of%20the%20Boston%20Envision%20contact%20lens%20using%20the%20EyeSys%20corneal%20topographer.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
86. Contamac - Optimum Material

- [cited 2023 1 février 2023]. Available from: <https://www.contamac.com/product/optimum>.
87. Patel S, Tutchenko L. The refractive index of the human cornea: A review. *Contact Lens and Anterior Eye*. 2019;42(5):575-80.
 88. Hieda O, Kinoshita S. Measuring of ocular wavefront aberration in large pupils using OPD-scan. *Semin Ophthalmol*. 2003;18(1):35-40.
 89. Wang Y, Zhao K, Jin Y, Niu Y, Zuo T. Changes of Higher Order Aberration With Various Pupil Sizes in the Myopic Eye. *J Refract Surg*. 2003;19(2):S270-S4.
 90. Hofer H, Artal P, Singer B, Aragón JL, Williams DR. Dynamics of the eye's wave aberration. *Journal of the Optical Society of America A*. 2001;18(3):497-506.
 91. Ninomiya S, Fujikado T, Kuroda T, Maeda N, Tano Y, Oshika T, et al. Changes of ocular aberration with accommodation. *Am J Ophthalmol*. 2002;134(6):924-6.
 92. Cheng X, Himebaugh NL, Kollbaum PS, Thibos LN, Bradley A. Test-retest reliability of clinical Shack-Hartmann measurements. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2004;45(1):351-60.
 93. Montes-Mico R, Alio JL, Munoz G, Charman WN. Temporal changes in optical quality of air-tear film interface at anterior cornea after blink. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2004;45(6):1752-7.
 94. Lopez-Gil N, Fernandez-Sanchez V. The change of spherical aberration during accommodation and its effect on the accommodation response. *J Vis*. 2010;10(13):12.
 95. McMonnies CW. Passive letter subset memory and reliability of visual acuity assessment. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2010;51(12):6907-8.
 96. Bray C, Britton S, Yeung D, Haines L, Sorbara L. Change in over-refraction after scleral lens settling on average corneas. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*. 2017;37(4):467-72.

Annexes

A. Tableaux de statistiques descriptives – Valeurs RMS des coefficients d’AOS en fonction de la LC et du \varnothing_{pup} chez le groupe 1 (normal)

Tableau 64. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS de trèfle Z_3^{-3} et Z_3^{+3} en fonction de type de LC et du \varnothing_{pup} pour le groupe 1

Lentille	Trèfle 6 (Z_3^{-3}) / Groupe 1					Trèfle 9 (Z_3^{+3}) / Groupe 1			
	N	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Min	Max
3 mm									
Sans LC	12	-0,036	0,034	-0,114	0,026	0,013	0,036	-0,043	0,095
LC A	12	-0,001	0,041	-0,069	0,064	0,011	0,025	-0,029	0,049
LC B	12	-0,012	0,041	-0,056	0,062	0,000	0,035	-0,048	0,069
LC C	12	0,004	0,057	-0,082	0,127	-0,002	0,074	-0,122	0,146
LC D	12	-0,010	0,035	-0,037	0,093	0,004	0,022	-0,035	0,045
4 mm									
Sans LC	12	-0,071	0,072	-0,222	0,075	0,021	0,066	-0,099	0,165
LC A	12	-0,002	0,070	-0,138	0,090	0,022	0,044	-0,047	0,089
LC B	12	-0,020	0,062	-0,089	0,094	0,003	0,051	-0,060	0,088
LC C	12	-0,003	0,095	-0,162	0,195	0,003	0,118	-0,201	0,215
LC D	12	-0,025	0,062	-0,083	0,152	0,014	0,038	-0,056	0,071
5 mm									
Sans LC	12	-0,119	0,118	-0,351	0,128	0,03	0,110	-0,184	0,255
LC A	12	-0,025	0,122	-0,239	0,165	0,043	0,067	-0,048	0,160
LC B	12	-0,023	0,101	-0,127	0,168	0,008	0,076	-0,091	0,168
LC C	12	-0,003	0,150	-0,252	0,242	0,003	0,173	-0,274	0,286
LC D	12	-0,039	0,096	-0,145	0,196	0,021	0,057	-0,082	0,118
6 mm									
Sans LC	11	-0,181	0,179	-0,526	0,168	0,032	0,187	-0,310	0,395
LC A	11	-0,025	0,190	-0,404	0,320	0,078	0,087	-0,074	0,236
LC B	11	-0,036	0,107	-0,218	0,128	0,017	0,114	-0,114	0,257
LC C	10	-0,036	0,213	-0,395	0,258	0,027	0,217	-0,355	0,361
LC D	10	-0,074	0,136	-0,211	0,225	0,057	0,070	-0,029	0,212

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 65. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS de coma verticale Z_3^{-1} et horizontale Z_3^{+1} en fonction de type de LC et du \varnothing_{pup} pour le groupe 1

Lentille	Coma verticale (Z_3^{-1}) / Groupe 1					Coma horizontale (Z_3^{+1}) / Groupe 1			
	N	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Min	Max
3 mm									
Sans LC	12	0,006	0,019	-0,016	0,052	-0,005	0,011	-0,022	0,013
LC A	12	0,002	0,019	-0,031	0,029	0,003	0,010	-0,013	0,015
LC B	12	-0,007	0,020	-0,039	0,034	-0,000	0,016	-0,028	0,029
LC C	12	-0,027	0,030	-0,089	0,013	-0,014	0,018	-0,041	0,015
LC D	12	0,011	0,015	-0,013	0,028	0,011	0,010	-0,003	0,023
4 mm									
Sans LC	12	0,021	0,047	-0,035	0,143	-0,013	0,022	-0,040	0,023
LC A	12	0,025	0,039	-0,026	0,098	0,020	0,022	-0,016	0,054
LC B	12	0,004	0,038	-0,048	0,078	-0,004	0,030	-0,042	0,061
LC C	12	-0,049	0,055	-0,154	0,022	-0,048	0,044	-0,104	0,038
LC D	12	0,042	0,032	-0,013	0,088	0,026	0,017	-0,003	0,054
5 mm									
Sans LC	12	0,041	0,095	-0,078	0,276	-0,027	0,040	-0,088	0,034
LC A	12	0,076	0,073	-0,018	0,219	0,036	0,055	-0,069	0,115
LC B	12	0,025	0,063	-0,073	0,131	-0,015	0,050	-0,072	0,092
LC C	12	-0,081	0,086	-0,257	0,014	-0,104	0,098	-0,227	0,134
LC D	12	0,093	0,061	-0,036	0,204	0,049	0,036	-0,004	0,117
6 mm									
Sans LC	11	0,052	0,150	-0,113	0,421	-0,052	0,070	-0,146	0,090
LC A	11	0,134	0,120	-0,032	0,346	0,048	0,089	-0,115	0,141
LC B	11	0,035	0,103	-0,137	0,177	-0,019	0,074	-0,096	0,137
LC C	10	-0,100	0,090	-0,211	-0,001	-0,223	0,099	-0,374	-0,092
LC D	10	0,142	0,112	-0,047	0,375	0,063	0,066	-0,027	0,180

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 66. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS de tetrafoil Z_4^{-4} et horizontale Z_4^{+4} chez en fonction de type de LC et et du \varnothing_{pup} pour le groupe 1

Lentille	Tetrafoil (Z_4^{-4}) / Groupe 1					Tetrafoil (Z_4^{+4}) / Groupe 1			
	N	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Min	Max
3 mm									
Sans LC	12	-0,009	0,015	-0,032	0,021	0,004	0,019	-0,023	0,039
LC A	12	0,013	0,024	-0,016	0,061	-0,002	0,018	-0,027	0,033
LC B	12	0,006	0,030	-0,057	0,053	-0,005	0,021	-0,039	0,036
LC C	12	0,020	0,019	-0,009	0,051	0,010	0,021	-0,027	0,039
LC D	12	0,005	0,025	-0,040	0,036	0,008	0,016	-0,017	0,029
4 mm									
Sans LC	12	-0,009	0,021	-0,052	0,031	0,009	0,025	-0,032	0,046
LC A	12	0,020	0,031	-0,023	0,088	0,000	0,023	-0,029	0,052
LC B	12	0,029	0,033	-0,030	0,089	0,000	0,027	-0,037	0,044
LC C	12	0,029	0,026	-0,016	0,063	0,015	0,032	-0,034	0,078
LC D	12	0,012	0,031	-0,039	0,061	0,014	0,023	-0,019	0,048
5 mm									
Sans LC	12	-0,007	0,036	-0,082	0,044	0,009	0,032	-0,049	0,052
LC A	12	0,026	0,033	-0,024	0,083	0,006	0,034	-0,044	0,092
LC B	12	0,044	0,036	-0,03	0,096	0,012	0,032	-0,051	0,060
LC C	12	0,047	0,055	-0,025	0,184	0,032	0,046	-0,073	0,109
LC D	12	0,030	0,048	-0,026	0,126	0,023	0,029	-0,011	0,070
6 mm									
Sans LC	11	0,001	0,065	-0,161	0,065	0,013	0,053	-0,068	0,100
LC A	11	0,035	0,041	-0,049	0,094	0,025	0,068	-0,074	0,184
LC B	11	0,061	0,037	0,006	0,113	0,032	0,033	-0,015	0,081
LC C	10	0,052	0,045	-0,028	0,097	0,017	0,080	-0,170	0,139
LC D	10	0,031	0,041	-0,018	0,095	0,040	0,036	-0,028	0,085

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 67. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS d’astigmatisme secondaire Z_4^{-2} et Z_4^{+2} en fonction de type de LC et et du \varnothing_{pup} pour le groupe 1

Lentille	Astigmatisme secondaire (Z_4^{-2}) / Groupe 1					Astigmatisme secondaire (Z_4^{+2}) / Groupe 1			
	N	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Min	Max
3 mm									
Sans LC	12	0,002	0,005	-0,009	0,009	0,000	0,006	-0,011	0,009
LC A	12	0,000	0,006	-0,008	0,016	-0,001	0,006	-0,01	0,01
LC B	12	-0,002	0,004	-0,008	0,006	0,002	0,006	-0,008	0,013
LC C	12	0,004	0,008	-0,006	0,022	-0,002	0,008	-0,019	0,01
LC D	12	0,000	0,004	-0,007	0,006	-0,004	0,007	-0,014	0,007
4 mm									
Sans LC	12	0,004	0,013	-0,025	0,024	-0,003	0,017	-0,028	0,024
LC A	12	0,001	0,016	-0,019	0,040	-0,004	0,015	-0,026	0,033
LC B	12	-0,004	0,012	-0,022	0,024	0,006	0,015	-0,021	0,038
LC C	12	0,014	0,027	-0,015	0,082	-0,007	0,025	-0,068	0,028
LC D	12	0,001	0,010	-0,019	0,017	-0,013	0,02	-0,046	0,02
5 mm									
Sans LC	12	0,004	0,023	-0,042	0,053	-0,010	0,029	-0,063	0,032
LC A	12	0,007	0,033	-0,024	0,100	-0,003	0,028	-0,036	0,068
LC B	12	0,004	0,033	-0,040	0,085	0,007	0,025	-0,035	0,066
LC C	12	0,026	0,039	-0,014	0,123	-0,009	0,03	-0,059	0,046
LC D	12	0,005	0,022	-0,028	0,052	-0,018	0,032	-0,069	0,036
6 mm									
Sans LC	11	-0,003	0,026	-0,054	0,032	-0,022	0,050	-0,102	0,053
LC A	11	0,013	0,077	-0,097	0,223	-0,023	0,049	-0,120	0,060
LC B	11	0,009	0,056	-0,086	0,128	0,000	0,028	-0,034	0,068
LC C	10	0,030	0,033	-0,006	0,086	0,018	0,078	-0,082	0,203
LC D	10	-0,008	0,045	-0,111	0,04	-0,014	0,044	-0,084	0,055

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 68. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS aberration sphérique Z_4^0 à gauche et d'aberrations d'ordres supérieures totale (AOS totale) à droite en fonction de type de LC et du \varnothing_{pup} pour le groupe 1

Lentille	Aberration sphérique (Z_4^0) / Groupe 1					AOS totale / Groupe 1			
	N	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Min	Max
3 mm									
Sans LC	12	0,001	0,008	-0,011	0,017	0,065	0,029	0,037	0,136
LC A	12	-0,003	0,009	-0,023	0,011	0,062	0,025	0,032	0,111
LC B	12	-0,007	0,007	-0,019	0,004	0,068	0,015	0,035	0,094
LC C	12	-0,011	0,011	-0,036	0,007	0,098	0,048	0,054	0,206
LC D	12	0,000	0,006	-0,006	0,010	0,054	0,018	0,028	0,101
4 mm									
Sans LC	12	0,008	0,026	-0,032	0,055	0,128	0,060	0,050	0,280
LC A	12	-0,005	0,023	-0,058	0,038	0,105	0,039	0,036	0,161
LC B	12	-0,020	0,022	-0,053	0,014	0,110	0,019	0,064	0,135
LC C	12	-0,035	0,033	-0,108	0,020	0,176	0,076	0,087	0,342
LC D	12	-0,004	0,046	-0,140	0,035	0,104	0,032	0,057	0,175
5 mm									
Sans LC	12	0,031	0,055	-0,070	0,131	0,222	0,099	0,087	0,487
LC A	12	-0,008	0,037	-0,069	0,043	0,185	0,083	0,066	0,327
LC B	12	-0,030	0,039	-0,088	0,036	0,165	0,032	0,117	0,238
LC C	12	-0,061	0,040	-0,130	0,021	0,294	0,107	0,133	0,466
LC D	12	0,029	0,032	-0,012	0,090	0,187	0,051	0,071	0,274
6 mm									
Sans LC	11	0,053	0,112	-0,177	0,220	0,360	0,149	0,168	0,754
LC A	11	0,010	0,060	-0,083	0,090	0,292	0,150	0,137	0,598
LC B	11	-0,065	0,066	-0,154	0,059	0,236	0,056	0,177	0,356
LC C	10	-0,127	0,069	-0,222	-0,028	0,425	0,161	0,183	0,687
LC D	10	0,058	0,070	-0,045	0,188	0,280	0,087	0,126	0,462

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 69. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS de coma totale à gauche et trèfle totale à droite en fonction de type de LC et et du \varnothing_{pup} pour le groupe 1

Lentille	Aberration sphérique (Z_4^0) / Groupe 1					AOS totale / Groupe 1			
	N	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Min	Max
3 mm									
Sans LC	12	0,020	0,009	0,008	0,031	0,053	0,032	0,011	0,117
LC A	12	0,021	0,014	0,002	0,048	0,044	0,024	0,013	0,077
LC B	12	0,039	0,024	0,010	0,089	0,050	0,018	0,024	0,089
LC C	12	0,021	0,010	0,004	0,036	0,074	0,053	0,013	0,176
LC D	12	0,020	0,009	0,008	0,031	0,037	0,020	0,015	0,094
4 mm									
Sans LC	12	0,044	0,036	0,017	0,148	0,105	0,060	0,01	0,228
LC A	12	0,047	0,027	0,013	0,099	0,075	0,037	0,017	0,142
LC B	12	0,043	0,020	0,014	0,086	0,075	0,029	0,033	0,120
LC C	12	0,085	0,046	0,022	0,166	0,122	0,081	0,013	0,28
LC D	12	0,053	0,029	0,011	0,092	0,068	0,033	0,027	0,158
5 mm									
Sans LC	12	0,088	0,069	0,016	0,285	0,176	0,093	0,012	0,366
LC A	12	0,103	0,066	0,013	0,222	0,126	0,069	0,035	0,241
LC B	12	0,073	0,039	0,018	0,142	0,107	0,045	0,036	0,178
LC C	12	0,169	0,071	0,056	0,259	0,190	0,113	0,009	0,366
LC D	12	0,114	0,054	0,035	0,215	0,109	0,046	0,034	0,205
6 mm									
Sans LC	11	0,142	0,105	0,055	0,438	0,278	0,140	0,057	0,562
LC A	11	0,178	0,099	0,048	0,357	0,185	0,115	0,068	0,405
LC B	11	0,115	0,052	0,015	0,180	0,140	0,068	0,033	0,263
LC C	10	0,257	0,102	0,097	0,393	0,255	0,150	0,003	0,408
LC D	10	0,172	0,104	0,051	0,391	0,156	0,076	0,036	0,237

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

B. Tableaux de statistiques descriptives – Valeurs RMS des coefficients d’AOS en fonction de la LC et du \varnothing_{pup} chez le groupe 2 (KC)

Tableau 70. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS de trèfle Z_3^{-1} et horizontale Z_3^{+1} en fonction de type de LC et du \varnothing_{pup} pour le groupe 2

Lentille	Trèfle 6 (Z_3^{-2}) / Groupe 2					Trèfle (Z_3^{+3}) / Groupe 2			
	N	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Min	Max
3 mm									
Sans LC	7	0,145	0,266	-0,207	0,615	-0,117	0,362	-0,759	0,459
LC A	9	-0,085	0,062	-0,175	0,002	0,019	0,157	-0,155	0,340
LC B	9	-0,034	0,090	-0,134	0,136	-0,031	0,113	-0,246	0,137
LC C	9	-0,046	0,090	-0,196	0,079	-0,027	0,133	-0,230	0,196
LC D	9	-0,063	0,075	-0,189	0,058	-0,011	0,114	-0,183	0,160
4 mm									
Sans LC	7	0,305	0,472	-0,364	1,102	-0,185	0,608	-1,206	0,828
LC A	9	-0,146	0,100	-0,292	0,004	-0,002	0,179	-0,229	0,285
LC B	9	-0,071	0,149	-0,255	0,201	-0,011	0,174	-0,269	0,299
LC C	9	-0,084	0,144	-0,282	0,123	-0,012	0,214	-0,305	0,387
LC D	9	-0,114	0,110	-0,310	0,024	-0,006	0,186	-0,275	0,306
5 mm									
Sans LC	7	0,181	0,961	-1,385	1,607	-0,127	0,937	-1,676	1,503
LC A	9	-0,227	0,159	-0,478	-0,022	-0,033	0,280	-0,361	0,451
LC B	9	-0,097	0,225	-0,393	0,331	-0,011	0,284	-0,415	0,485
LC C	9	-0,125	0,208	-0,439	0,199	-0,015	0,334	-0,497	0,595
LC D	8	-0,188	0,143	-0,430	0,007	0,032	0,299	-0,377	0,555
6 mm									
Sans LC	6	0,679	1,067	-0,873	2,253	-0,729	0,958	-2,514	0,072
LC A	6	-0,251	0,139	-0,398	-0,077	0,177	0,410	-0,425	0,775
LC B	8	-0,146	0,357	-0,569	0,514	0,020	0,506	-0,698	0,835
LC C	6	-0,271	0,362	-0,700	0,329	0,132	0,483	-0,427	0,999
LC D	7	-0,237	0,190	-0,591	-0,03	0,062	0,521	-0,592	0,967

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 71. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS de coma verticale Z_3^{-1} et horizontale Z_3^{+1} en fonction de type de LC et du \varnothing_{pup} pour le groupe 2

Lentille	Coma verticale (Z_3^{-1}) / Groupe 2					Coma horizontale (Z_3^{+1}) / Groupe 2			
	N	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Min	Max
3 mm									
Sans LC	7	-0,133	0,170	-0,403	0,066	-0,026	0,091	-0,224	0,052
LC A	9	0,080	0,063	-0,019	0,18	0,031	0,036	-0,018	0,088
LC B	9	0,063	0,059	-0,039	0,139	0,026	0,063	-0,018	0,176
LC C	9	0,056	0,055	-0,029	0,142	-0,004	0,030	-0,048	0,049
LC D	9	0,093	0,055	0,004	0,158	0,030	0,048	-0,062	0,102
4 mm									
Sans LC	7	-0,332	0,413	-0,997	0,216	-0,053	0,224	-0,539	0,151
LC A	9	0,176	0,134	-0,035	0,418	0,077	0,088	-0,073	0,210
LC B	9	0,137	0,117	-0,017	0,338	0,038	0,069	-0,020	0,176
LC C	9	0,106	0,115	-0,058	0,322	-0,010	0,058	-0,078	0,090
LC D	9	0,171	0,121	-0,026	0,367	0,101	0,074	0,016	0,242
5 mm									
Sans LC	7	-0,366	0,716	-1,736	0,488	-0,243	0,425	-0,976	0,087
LC A	9	0,296	0,260	-0,056	0,828	0,149	0,176	-0,165	0,408
LC B	9	0,216	0,209	-0,040	0,657	0,061	0,115	-0,047	0,310
LC C	9	0,166	0,211	-0,109	0,643	-0,031	0,115	-0,164	0,150
LC D	8	0,224	0,173	-0,065	0,442	0,167	0,112	0,019	0,411
6 mm									
Sans LC	6	-1,247	0,972	-2,833	-0,360	-0,260	0,716	-1,567	0,396
LC A	6	0,278	0,285	-0,108	0,698	0,157	0,270	-0,270	0,508
LC B	8	0,123	0,268	-0,299	0,614	0,079	0,207	-0,100	0,529
LC C	6	0,108	0,182	-0,191	0,301	-0,136	0,118	-0,267	0,057
LC D	7	0,333	0,307	-0,131	0,708	0,280	0,182	0,055	0,640

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 72. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS de tetrafoil Z_4^{-4} et Z_4^{+4} chez en fonction de type de LC et du \varnothing_{pup} pour le groupe 2

Lentille	Tetrafoil (Z_4^{-4}) / Groupe 2					Tetrafoil (Z_4^{+4}) / Groupe 2			
	N	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Min	Max
3 mm									
Sans LC	7	-0,033	0,115	-0,284	0,073	0,008	0,039	-0,048	0,078
LC A	9	0,003	0,065	-0,079	0,142	0,037	0,036	-0,028	0,078
LC B	9	-0,013	0,043	-0,085	0,064	0,034	0,036	-0,005	0,094
LC C	9	-0,018	0,038	-0,100	0,033	0,029	0,037	-0,010	0,085
LC D	9	0,003	0,034	-0,077	0,042	0,025	0,040	-0,025	0,104
4 mm									
Sans LC	7	-0,039	0,186	-0,449	0,128	0,025	0,049	-0,037	0,107
LC A	9	0,005	0,089	-0,112	0,193	0,048	0,060	-0,057	0,136
LC B	9	-0,017	0,060	-0,133	0,082	0,040	0,044	-0,010	0,127
LC C	9	-0,007	0,036	-0,055	0,047	0,037	0,047	-0,019	0,098
LC D	9	-0,004	0,047	-0,120	0,040	0,037	0,055	-0,023	0,139
5 mm									
Sans LC	7	-0,025	0,266	-0,616	0,167	0,068	0,086	-0,026	0,224
LC A	9	-0,005	0,108	-0,162	0,223	0,054	0,096	-0,120	0,227
LC B	9	-0,015	0,088	-0,211	0,083	0,065	0,065	-0,002	0,185
LC C	9	-0,008	0,064	-0,138	0,071	0,055	0,065	-0,050	0,162
LC D	8	0,002	0,195	-0,250	0,400	0,057	0,077	-0,035	0,174
6 mm									
Sans LC	6	-0,010	0,339	-0,659	0,334	0,043	0,083	-0,040	0,187
LC A	6	-0,020	0,206	-0,296	0,318	0,065	0,078	-0,015	0,172
LC B	8	-0,025	0,172	-0,388	0,192	0,082	0,082	-0,007	0,220
LC C	6	-0,037	0,123	-0,287	0,032	0,051	0,133	-0,163	0,244
LC D	7	-0,027	0,158	-0,348	0,145	0,101	0,104	0,007	0,320

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 73. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS d’astigmatisme secondaire Z_4^{-2} et Z_4^{+2} en fonction de type de LC et du \varnothing_{pup} pour le groupe 2

Lentille	Astigmatisme secondaire (Z_4^{-2}) / Groupe 2					Astigmatisme secondaire (Z_4^{+2}) / Groupe 2			
	N	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Min	Max
3 mm									
Sans LC	7	0,017	0,046	-0,035	0,082	-0,01,	0,053	-0,107	0,061
LC A	9	-0,004	0,015	-0,036	0,010	0,002	0,017	-0,027	0,025
LC B	9	-0,006	0,020	-0,039	0,026	-0,009	0,037	-0,102	0,021
LC C	9	-0,006	0,017	-0,044	0,011	-0,006	0,023	-0,043	0,022
LC D	9	-0,009	0,012	-0,026	0,008	-0,004	0,019	-0,036	0,031
4 mm									
Sans LC	7	0,054	0,136	-0,110	0,246	-0,036	0,139	-0,303	0,104
LC A	9	-0,013	0,042	-0,102	0,030	0,007	0,049	-0,079	0,072
LC B	9	-0,014	0,051	-0,111	0,063	-0,003	0,059	-0,102	0,069
LC C	9	-0,022	0,043	-0,123	0,015	-0,003	0,051	-0,100	0,061
LC D	9	-0,026	0,028	-0,066	0,016	-0,016	0,053	-0,103	0,079
5 mm									
Sans LC	7	0,140	0,250	-0,122	0,498	-0,015	0,33,	-0,554	0,506
LC A	9	-0,033	0,080	-0,177	0,085	0,030	0,120	-0,149	0,227
LC B	9	-0,049	0,080	-0,214	0,045	0,000	0,146	-0,219	0,193
LC C	9	-0,057	0,082	-0,231	0,040	0,004	0,116	-0,203	0,179
LC D	8	-0,047	0,039	-0,102	0,006	-0,013	0,115	-0,187	0,172
6 mm									
Sans LC	6	0,270	0,349	-0,073	0,862	-0,187	0,408	-0,956	0,218
LC A	6	-0,071	0,130	-0,230	0,088	0,087	0,254	-0,185	0,487
LC B	8	-0,112	0,132	-0,335	0,054	-0,004	0,255	-0,371	0,473
LC C	6	-0,096	0,118	-0,296	0,055	-0,009	0,275	-0,510	0,299
LC D	7	-0,100	0,051	-0,171	-0,015	0,031	0,230	-0,273	0,448

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 74. – Statistiques descriptives concernant les valeurs RMS aberration sphérique Z_4^0 à gauche et d'aberrations d'ordres supérieures totale (AOS totale) à droite en fonction de type de LC et du \varnothing_{pup} pour le groupe 2

Lentille	Aberration sphérique (Z_4^0) / Groupe 2					AOS totale / Groupe 2			
	N	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Min	Max
3 mm									
Sans LC	7	-0,005	0,037	-0,054	0,051	0,451	0,295	0,062	0,875
LC A	9	0,015	0,020	-0,006	0,060	0,186	0,075	0,057	0,271
LC B	9	0,017	0,071	-0,110	0,160	0,177	0,090	0,047	0,343
LC C	9	0,005	0,017	-0,020	0,034	0,178	0,070	0,093	0,295
LC D	9	0,016	0,017	-0,013	0,042	0,178	0,072	0,049	0,256
4 mm									
Sans LC	7	-0,022	0,106	-0,177	0,111	0,881	0,534	0,161	1,628
LC A	9	0,054	0,061	-0,008	0,191	0,324	0,147	0,130	0,552
LC B	9	0,030	0,050	-0,031	0,091	0,292	0,138	0,016	0,477
LC C	9	0,009	0,045	-0,057	0,100	0,305	0,117	0,151	0,518
LC D	9	0,058	0,031	0,015	0,094	0,336	0,121	0,131	0,472
5 mm									
Sans LC	7	-0,083	0,210	-0,384	0,187	1,418	0,799	0,378	2,582
LC A	9	0,116	0,093	-0,012	0,306	0,594	0,244	0,311	1,063
LC B	9	0,073	0,080	-0,044	0,177	0,491	0,210	0,219	0,786
LC C	9	0,010	0,062	-0,086	0,111	0,483	0,202	0,236	0,798
LC D	8	0,117	0,043	0,040	0,182	0,507	0,203	0,246	0,821
6 mm									
Sans LC	6	-0,106	0,405	-0,716	0,363	1,894	1,244	0,736	4,060
LC A	6	0,157	0,101	0,068	0,347	0,740	0,331	0,391	1,321
LC B	8	0,090	0,122	-0,084	0,271	0,709	0,374	0,313	1,373
LC C	6	-0,028	0,118	-0,146	0,166	0,677	0,387	0,302	1,382
LC D	7	0,198	0,058	0,131	0,309	0,794	0,393	0,407	1,43

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 75. – Statistiques descriptives concernant les valeurs de coma totale à gauche et trèfle totale à droite en fonction de type de LC et du \varnothing_{pup} pour le groupe 2

Lentille	Coma totale / Groupe 2					Trèfle totale / Groupe 2			
	N	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Min	Max
3 mm									
Sans LC	7	0,179	0,146	0,048	0,403	0,387	0,261	0,032	0,759
LC A	9	0,096	0,057	0,027	0,193	0,129	0,063	0,034	0,218
LC B	9	0,091	0,057	0,016	0,185	0,123	0,079	0,030	0,248
LC C	9	0,071	0,042	0,022	0,142	0,144	0,075	0,072	0,278
LC D	9	0,095	0,050	0,033	0,170	0,128	0,068	0,018	0,219
4 mm									
Sans LC	7	0,456	0,332	0,145	0,999	0,688	0,430	0,061	1,212
LC A	9	0,209	0,121	0,082	0,455	0,227	0,091	0,089	0,334
LC B	9	0,162	0,107	0,025	0,344	0,204	0,107	0,062	0,363
LC C	9	0,138	0,089	0,057	0,327	0,236	0,114	0,134	0,471
LC D	9	0,219	0,103	0,088	0,413	0,205	0,118	0,023	0,34
5 mm									
Sans LC	7	0,866	0,544	0,347	1,763	0,999	0,592	0,116	1,722
LC A	9	0,386	0,235	0,160	0,924	0,355	0,147	0,156	0,566
LC B	9	0,260	0,194	0,058	0,671	0,318	0,168	0,085	0,569
LC C	9	0,231	0,173	0,081	0,660	0,359	0,168	0,198	0,693
LC D	8	0,320	0,123	0,158	0,478	0,315	0,194	0,007	0,583
6 mm									
Sans LC	6	1,299	0,963	0,560	2,893	1,218	0,832	0,220	2,621
LC A	6	0,446	0,194	0,260	0,758	0,452	0,236	0,206	0,871
LC B	8	0,287	0,213	0,062	0,657	0,528	0,299	0,126	0,975
LC C	6	0,251	0,087	0,109	0,364	0,545	0,342	0,245	1,143
LC D	7	0,506	0,220	0,242	0,772	0,469	0,347	0,032	1,006

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

C. Tableaux de statistiques descriptives – Valeur de VSX et logVSX

Tableau 76. – Statistiques descriptives concernant les valeurs de VSX à gauche et logVSX à droite en fonction de type de LC et du \varnothing_{pup} pour le groupe 1

Lentille	VSX (Z_4^0) / Groupe 1					logVSX / Groupe 1			
	N	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Min	Max
3 mm									
Sans LC	12	0,572	0,179	0,237	0,804	-0,268	0,164	-0,625	-0,095
LC A	12	0,614	0,158	0,417	0,859	-0,225	0,111	-0,380	-0,066
LC B	12	0,543	0,127	0,355	0,803	-0,276	0,100	-0,450	-0,095
LC C	12	0,432	0,209	0,133	0,670	-0,427	0,261	-0,876	-0,174
LC D	12	0,669	0,131	0,330	0,844	-0,184	0,105	-0,481	-0,074
4 mm									
Sans LC	12	0,279	0,138	0,099	0,658	-0,596	0,197	-1,004	-0,182
LC A	12	0,317	0,200	0,110	0,714	-0,577	0,273	-0,959	-0,146
LC B	12	0,273	0,098	0,150	0,522	-0,587	0,147	-0,824	-0,282
LC C	12	0,176	0,097	0,050	0,322	-0,828	0,278	-1,301	-0,492
LC D	12	0,326	0,130	0,125	0,568	-0,519	0,180	-0,903	-0,246
5 mm									
Sans LC	12	0,127	0,077	0,029	0,345	-0,958	0,246	-1,538	-0,462
LC A	12	0,174	0,137	0,029	0,474	-0,879	0,350	-1,538	-0,324
LC B	12	0,125	0,066	0,038	0,285	-0,958	0,230	-1,420	-0,545
LC C	12	0,068	0,044	0,015	0,162	-1,258	0,300	-1,824	-0,790
LC D	12	0,133	0,082	0,073	0,333	-0,932	0,219	-1,137	-0,478
6 mm									
Sans LC	11	0,058	0,030	0,015	0,129	-1,296	0,244	-1,824	-0,889
LC A	11	0,093	0,076	0,005	0,228	-1,226	0,506	-2,301	-0,642
LC B	11	0,069	0,029	0,008	0,120	-1,223	0,297	-2,097	-0,921
LC C	10	0,034	0,016	0,008	0,057	-1,523	0,256	-2,097	-1,244
LC D	10	0,074	0,028	0,045	0,133	-1,154	0,148	-1,347	-0,876

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.

Tableau 77. – Statistiques descriptives concernant les valeurs de VSX à gauche et logVSX à droite en fonction de type de LC et du \varnothing_{pup} pour le groupe 2

Lentille	VSX / Groupe 2					logVSX / Groupe 2			
	N	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Min	Max
3 mm									
Sans LC	7	0,133	0,168	0,020	0,492	-1,127	0,496	-1,699	-0,308
LC A	9	0,194	0,139	0,080	0,437	-0,795	0,273	-1,097	-0,36,
LC B	9	0,282	0,194	0,097	0,734	-0,627	0,269	-1,013	-0,134
LC C	9	0,209	0,111	0,060	0,378	-0,741	0,257	-1,222	-0,423
LC D	9	0,249	0,204	0,089	0,715	-0,706	0,299	-1,051	-0,146
4 mm									
Sans LC	7	0,055	0,077	0,004	0,221	-1,616	0,630	-2,398	-0,656
LC A	9	0,062	0,035	0,024	0,119	-1,271	0,255	-1,620	-0,924
LC B	9	0,089	0,053	0,029	0,175	-1,128	0,284	-1,538	-0,757
LC C	9	0,087	0,046	0,021	0,160	-1,123	0,265	-1,678	-0,796
LC D	9	0,067	0,035	0,029	0,133	-1,226	0,234	-1,538	-0,876
5 mm									
Sans LC	7	0,015	0,019	0,002	0,057	-2,081	0,502	-2,699	-1,244
LC A	9	0,025	0,011	0,007	0,042	-1,647	0,240	-2,155	-1,377
LC B	9	0,041	0,022	0,012	0,063	-1,469	0,296	-1,921	-1,201
LC C	9	0,041	0,022	0,010	0,072	-1,471	0,313	-2,000	-1,143
LC D	8	0,030	0,025	0,010	0,088	-1,623	0,285	-2,000	-1,056
6 mm									
Sans LC	6	0,010	0,012	0,001	0,034	-2,327	0,591	-3,000	-1,469
LC A	6	0,017	0,007	0,010	0,030	-1,802	0,180	-2,000	-1,523
LC B	8	0,040	0,035	0,007	0,120	-1,520	0,354	-2,155	-0,921
LC C	6	0,028	0,016	0,007	0,055	-1,627	0,299	-2,155	-1,26,
LC D	7	0,018	0,009	0,007	0,030	-1,811	0,251	-2,155	-1,523

Abréviations : \varnothing_{pup} = diamètre pupillaire analysé, LC = lentille, RMS = root-mean-squared.