



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Oran 1, Ahmed Ben Bella

Institut des Sciences et Techniques Appliquées

Thème

La prise en charge de la myopie évolutive par l'orthokératologie

Par

Mlle ABAIDIA Hadil

Mlle SOUMMAR Insaf

Projet présenté à l'Institut des sciences et techniques appliquées

En vue de l'obtention du diplôme de master optométrie

Soutenu le 02 juin 2025 devant le jury composé de :

Dr LARBI DAHO BACHIR Nadjat

Président

Pr KAIL Fatiha

Examineur

Dr OUZZANI Mhamed

Encadreur

Dr MERZOUUD Islam Yamina

Co-encadreur

Remerciements

*Nous remercions tout d'abord notre **grand Dieu**, le Tout-Puissant, le Tout-Savant, de nous avoir donné le courage d'entamer et d'achever ce modeste travail.*

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

*Nous adressons nos sincères remerciements à Madame la Présidente **LARBI DAHO Nadjet**, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de notre soutenance, pour son enseignement scientifique et la grandeur de ses connaissances. Veuillez trouver ici, Madame, l'expression de notre haute estime.*

*Nous exprimons également nos sincères remerciements à Madame l'Examinatrice **KAIL Fatiha**, pour avoir bien voulu examiner notre travail, ainsi que pour l'intérêt et le soutien chaleureux dont elle a toujours fait preuve.*

*Nous remercions chaleureusement notre encadreur, **Dr Ouzzani Mhamed**, pour son accompagnement, ses conseils avisés, sa disponibilité et sa bienveillance tout au long de ce travail. Vos compétences et votre générosité dans le travail constituent pour nous une véritable référence.*

*Nous remercions aussi notre co-encadrante, **Madame MERZOUZ Islam Yamina**, pour sa remarquable aide et l'intérêt qu'elle a manifesté pour notre travail.*

*Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble **des enseignants du Master** pour la qualité de leur enseignement, leur rigueur scientifique et leur passion pour la discipline. Ils nous ont permis d'acquérir des connaissances solides et de développer un esprit analytique.*

*Un grand merci aux directeurs **d'IBN AL HAYTHAM, Dr Mekki, et d'Optique EL YAQINE, M. SMAINE Mahdi**, qui nous ont accueillis à bras ouverts, ainsi qu'à toute leur équipe pour leur accueil, leur soutien et leur partage d'expérience sur le terrain.*

*Nous tenons également à remercier **nos collègues de promotion**, avec qui nous avons partagé ces deux années riches en apprentissages et en émotions. Leur soutien et leur camaraderie ont été précieux tout au long de ce parcours.*

*Enfin, nous dédions ce mémoire à **nos familles** respectives et à **nos proches**, pour leur amour, leur patience et leurs encouragements constants, sans lesquels ce travail n'aurait pas été possible.*

Liste des figures

Figure 1 : Schéma optique d'un œil myope vs œil emmétrype [6]	4
Figure 2 : La prévalence de la myopie dans le monde [11].....	7
Figure 3 : Mécanismes proposés pour le développement de la myopie [20].....	9
Figure 4 : Prévalence de la myopie chez les enfants avec aucun parent myope (NPM), un parent myope (OPM), et deux parents myopes (TPM) [20].....	10
Figure 5 : Erreurs de réfraction centrale et périphérique, et longueur axiale en fonction de l'ethnicité d'après [5].	11
Figure 6 : Schéma de la signalisation de croissance oculaire (défocus et allongement axial) [32]	14
Figure 7 : Différence entre angle irido-cornéen dans le cas d'un glaucome à angle ouvert et glaucome aigu [34].	16
Figure 8 : Illustration de la traction maculaire myopique [42]	17
Figure 9 : Caractéristiques démographiques de la cohorte témoin et de la cohorte test à l'inclusion, et effectifs aux visites de suivi jusqu'à 24 mois [50]	25
Figure 10 : Moyennes et écarts-types des changements de réfraction non ajustés (autorégulation cyclonique équivalente sphérique [SECAR]) par rapport à la valeur initiale. Un astérisque (*) indique une baisse significative de la taille des échantillons à 18 et 24 mois [50]	25
Figure 11 : Représentation du fonctionnement d'une lentille d'orthokératologie [66]	33
Figure 12 : Aspect lampe à fente avec fluorescéine des lentilles d'orthokératologie [67]	33
Figure 13 : Effet de correction du shift hypermétropique périphérique par la lentille d'orthokératologie [69].	34
Figure 14 : Défocus dans une myopie non corrigée, une myopie corrigée de façon traditionnelle ou par orthokératologie [71]	35
Figure 15 : Lentille d'orthokératologie à géométrie inversée utilisée pour le remodelage cornéen nocturne [77]	37
Figure 16 : Géométrie inversée dans une lentille d'orthokératologie [78]	39
Figure 17 : Aspect topographique avant-après le port de l'orthokératologie [79]	46
Figure 18 : Biomètre optique (IOL Master) utilisé pour le suivi précis de la longueur axiale de l'œil [80].	51
Figure 19 : Topographe cornéen de type Scheimpflug (Pentacam) utilisé pour l'analyse tridimensionnelle de la cornée avant et après l'adaptation en orthokératologie [80]	52
Figure 20 : Lampe à fente utilisée pour l'examen biomicroscopique de l'œil, notamment l'évaluation de la surface oculaire et l'ajustement lenticulaire [80]	52
Figure 21 : projecteur d'échelle d'acuité visuelle permettant l'évaluation de l'acuité visuelle à chaque visite de suivi [80]	53
Figure 22 : Boîte d'essai et réfracteur , la boîte d'essai permet d'évaluer précisément la réfraction de base, tandis que le réfracteur facilite un suivi standardisé de l'évolution visuelle [80]	53
Figure 23 : Tonomètre de goldman (à aplanation) utilisé pour mesurer la pression intraoculaire et surveiller les risques associés [80]	54
Figure 24 : Lentilles d'orthokératologie (modèle DRLM – Double Réservoir de Larmes Myopes), fournies par le laboratoire Precilens, adaptées selon les paramètres cornéens et réfractifs de chaque patient [81]	54
Figure 25 : Lentilles d'orthokératologie (modèle DRLM – Double Réservoir de Larmes Myopes), fournies par le laboratoire Precilens, adaptées selon les paramètres cornéens et réfractifs de chaque patient [81]	55
Figure 26 : Évolution de la surface cornéenne avec l'utilisation de lentilles orthokératologiques (Ortho-K) [79]	56
Figure 27 : Distribution des cas clinique selon le sexe	58
Figure 28 : La distribution des patients selon les tranches d'âge	59
Figure 29 : La répartition des degrés de myopie selon le sexe	60
Figure 30 : Présente la répartition des degrés de myopie en fonction des tranches d'âge des patients	61
Figure 31 : Les moyennes et écarts-types du diamètre de la zone optique en fonction du degré de la myopie $\pm$ 4D	62
Figure 32 : Une carte de topographie différentielle après port de lentilles Ortho-K [70].....	63
Figure 33 : Représentation des valeurs d'addition myopique mi-périphérique mesurées selon quatre positions :	

nasale (POST horiz N), temporale (POST horiz T), supérieure (POST vertical 90) et inférieure (POST vertical 270) 66

Liste des tableaux

Tableau 1 : Rôle fonctionnel de chaque zone de la lentille ortho-K .	38
Tableau 2 : Comparaison des motifs topographiques courants en orthokératologie .	45
Tableau 3: Les données collectées durant la prise en charge des cas cliniques. .	57
Tableau 4 : les valeurs moyennes du diamètre de la zone optique selon le groupe de myopie .	64

Liste des abréviations

OCT :	Optical Coherent Tomography .
FO :	Fond d'œil .
PIO :	La pression intraoculaire .
TLT :	L'épaisseur du ménisque lacrymal .
BOZD :	Diamètre de la zone optique postérieure de la lentille .
ZOP :	Rayon de la zone optique postérieure .
BPR1 :	Première courbe postérieure périphérique .
BPD1 :	Diamètre de la première courbe postérieure périphérique .
BPR2 :	Deuxième courbe postérieure périphérique .
BPR3 :	Troisième courbes postérieures périphériques .
BPR3 :	Quatrième courbe postérieure périphérique .
ZOH :	Diamètre de la zone optique dans l'axe horizontal .
ZOV :	Diamètre de la zone optique dans l'axe vertical .
PPR :	Puissance positive relative .

Sommaire

Remerciements	2
Liste des figures	3
Liste des tableaux	2
Liste des abréviations	3
Résumé	1
Introduction générale.....	2
1. Introduction	4
2. Définition et classification de la myopie.....	4
3. Épidémiologie et prévalence mondiale et locale.....	6
4. Développement de la myopie	7
A. L’emmétropisation : un mécanisme physiologique clé.....	7
5. Evolution myopique, causes et conséquences.....	8
A. Facteurs responsables de la progression myopique.....	9
a) Facteur génétique	9
b) Le sexe.....	10
c) L’ethnicité	11
d) Myopie et travail de près :.....	12
B. Myopie évolutive et activités à l’extérieur :.....	13
6. physiopathologie de la myopie évolutive.....	14
7. Conséquences cliniques et complications	15
A. Le glaucome	16
B. L’atteinte maculaire	17
C. L’atteinte de la rétine	18
8. L’examen général et initial du patient myope.....	18
9. Conclusion.....	20
Chapitre II : Diagnostic de la myopie évolutive et les différents moyens de contrôle.....	21
1. Introduction	22
2. Protocole de diagnostic de la myopie évolutive.....	22
3. Méthodes de contrôle optiques traditionnels.....	23
A. Lunettes unifocales.....	23
B. Lentilles de contact sphériques classiques	24
4. Dispositifs optiques spécialisés.....	24
A. Lentilles de contact multifocales souples.....	24

B.	Lentilles avec aberrations sphériques positives	24
C.	Verres multifocaux et bifocaux (avec prismes ou segments).....	26
D.	Lentilles rigides perméables aux gaz (RGP classiques).....	26
5.	Agents pharmacologiques (atropine, pirenzepine ,7-méthylxanthine, timolol , etc)	27
6.	Facteurs comportementaux et environnementaux.....	29
A.	Rôle du temps passé à l'extérieur.....	29
B.	Réduction du temps d'exposition aux écrans et à la vision de près	29
7.	Orthokératologie (Ortho-K)	29
8.	Conclusion.....	30
Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive.....		31
1.	Introduction :	32
2.	Définition de l'orthokératologie.....	32
3.	Mécanismes de freination de la myopie par l'orthokératologie	33
4.	Influence du diamètre de la zone optique sur le défocus périphérique myopique en orthokératologie	34
5.	Matériaux utilisés en orthokératologie	35
6.	Géométrie des lentilles ortho-K	36
7.	Conception d'une lentille d'orthokératologie : éléments clés	39
8.	Protocole d'adaptation en orthokératologie :.....	41
A.	Examen préliminaire complet	41
B.	Sélection des lentilles	42
C.	Premier essai et évaluation.....	42
D.	Port nocturne et suivi immédiat	42
E.	Suivi régulier.....	43
F.	Ajustements éventuels.....	43
G.	Éducation et hygiène	43
9.	Evaluation de l'adaptation.....	43
10.	Topographie cornéenne : outil diagnostic et guide d'adaptation en Ortho-K.....	44
11.	Conclusion :	46
Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'Étude		47
1.	Introduction	48
2.	Objectif de l'étude.....	48
3.	Méthodologie d'étude	49
4.	Critères de sélection des patients	50

A.	Critères physiologiques	50
B.	Critères d'inclusion	50
C.	Critères d'exclusion.....	50
D.	Taille de l'échantillon.....	51
E.	Instrumentation et matérielle.....	51
5.	Suivi clinique et mesures réalisées	55
1.	Durée du suivi	55
2.	Paramètres à mesurer	55
3.	Type de lentille ortho-k utilisée	55
6.	Discussions et résultats des cas cliniques.....	56
a)	Répartition des patients selon le genre :	57
b)	Répartition des patients selon l'âge.....	59
c)	La sévérité de la myopie selon le sexe :	60
d)	La sévérité de la myopie selon l'âge :	61
e)	Diamètre de la zone optique selon le groupe de myopie.....	62
f)	Influence de l'addition myopique périphérique sur la freination de la myopie	66
g)	Identification des facteurs influençant l'efficacité de l'orthokératologie	69
➤	<i>Facteurs liés au patient</i>	69
➤	<i>Facteurs liés au design de la lentille</i>	70
➤	<i>Facteurs liés au suivi et à la compliance</i>	70
7.	Synthèse finale et perspectives de l'étude	70
A.	Synthèse des résultats clés.....	70
B.	Perspectives cliniques	71
	Conclusion.....	73
	Annexes.....	74
	Bibliographie	76

Résumé

La myopie évolutive constitue aujourd'hui un enjeu de santé publique mondial, avec une augmentation préoccupante de sa prévalence, notamment chez les enfants et les adolescents. Ce mémoire s'intéresse à l'orthokératologie comme stratégie optique de contrôle de cette progression. L'objectif principal est d'évaluer l'efficacité, les avantages et les limites de cette méthode dans le contexte de la pratique optométrique.

Après avoir présenté les fondements théoriques de la myopie, sa définition, ses mécanismes physiopathologiques, ses facteurs de risque et ses conséquences à long terme, le mémoire explore les différentes approches de contrôle disponibles. Parmi celles-ci, l'orthokératologie se distingue par sa capacité à freiner l'allongement axial en modifiant temporairement la géométrie cornéenne à l'aide de lentilles rigides spéciales portées la nuit.

Une revue de la littérature scientifique, accompagnée de données cliniques récentes, confirme l'efficacité de l'orthokératologie dans la réduction de la progression myopique, tout en offrant une correction visuelle sans dispositifs diurnes. Cette approche s'avère particulièrement bénéfique lorsqu'elle est initiée précocement et suivie de manière rigoureuse.

Le travail met également en lumière le rôle essentiel de l'optométriste dans le choix des candidats, l'adaptation des lentilles, le suivi régulier et l'éducation du patient. Malgré certaines contraintes, notamment en termes de coût, d'hygiène et de respect du port nocturne, l'orthokératologie se révèle être une solution prometteuse et efficace dans la lutte contre la myopie évolutive.

Introduction générale

La myopie est devenue une problématique de santé publique mondiale, en raison de l'augmentation rapide et continue de sa prévalence. Selon les projections de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et les estimations de Holden et al [1], près de 30 % de la population mondiale était myope en 2020, et ce chiffre pourrait atteindre 50 % d'ici 2050, soit environ 5 milliards de personnes concernées. Cette croissance s'inscrit dans une véritable tendance épidémique. [2] Ce défaut visuel se manifeste par une vision floue des objets éloignés, due à une focalisation des rayons lumineux en avant de la rétine, phénomène qui s'accroît avec l'augmentation de la distance entre l'œil et l'objet observé.

La sévérité de la myopie varie selon le degré de déviation de la focalisation, mais elle peut généralement être corrigée efficacement à l'aide de lunettes ou de lentilles de contact classiques.

Ce mémoire s'intéresse principalement à la prise en charge de la myopie évolutive par l'orthokératologie, une technique de plus en plus étudiée pour son efficacité dans le ralentissement de la progression myopique.

Elle consiste à remodeler le profil cornéen afin d'obtenir une cornée oblate avec une excentricité proche de zéro. Avant d'aborder cette stratégie spécifique, nous analyserons les mécanismes physiopathologiques de la myopie, ainsi que les facteurs impliqués dans son développement et sa progression. Jusqu'à présent il est difficile de mettre une prépondérance génétique plutôt qu'environnementale puisqu'il existe un lien fort entre ces deux facteurs.

Par ailleurs, ce travail passera en revue les complications pathologiques pouvant découler d'une myopie forte. Enfin, une attention particulière sera portée aux différentes approches thérapeutiques disponibles, avec un focus approfondi sur l'orthokératologie.

L'objectif de ce mémoire professionnel est d'explorer en profondeur l'efficacité de l'orthokératologie dans la prise en charge de la myopie évolutive, en s'appuyant sur les données scientifiques actuelles et les pratiques cliniques récentes suivantes :

- ✓ L'étude de la réfraction objective et subjective et l'influence de l'addition myopique périphérique induite par la lentille ortho-K sur la freination de la myopie.
- ✓ Comparaison des résultats obtenus avec ceux rapportés dans la littérature existante.
- ✓ L'identification des facteurs influençant l'efficacité de l'orthokératologie.

Chapitre I : Généralités sur la myopie

Chapitre I : Généralités sur la myopie

Chapitre I : Généralités sur la myopie

1. Introduction

La myopie représente aujourd'hui l'un des enjeux majeurs de santé visuelle publique à l'échelle mondiale. Longtemps considérée comme une simple anomalie de réfraction, elle est désormais reconnue, dans sa forme évolutive, comme une pathologie à part entière du globe oculaire. L'augmentation inquiétante de sa prévalence, particulièrement chez les jeunes enfants, impose une compréhension approfondie de ses mécanismes, de ses facteurs de risque et de ses implications cliniques

2. Définition et classification de la myopie

L'œil myope se caractérise généralement par une disproportion entre sa longueur axiale et sa puissance réfractive. Autrement dit, il est souvent trop long par rapport à sa capacité optique, ou inversement, pas assez puissant pour sa longueur. Cette disproportion est bien documentée par plusieurs études, notamment celles de [3] qui ont démontré que la longueur axiale d'un œil myope est significativement plus importante que celle d'un œil emmétrope ou hypermétrope. Toutefois, ce n'est pas le seul facteur impliqué dans le développement de la myopie. McBrien et Adams [4] ont mis en évidence une croissance marquée de la chambre vitrée chez les sujets myopes, contribuant ainsi à une focalisation de l'image en avant de la rétine, ce qui entraîne une vision floue de loin [5].

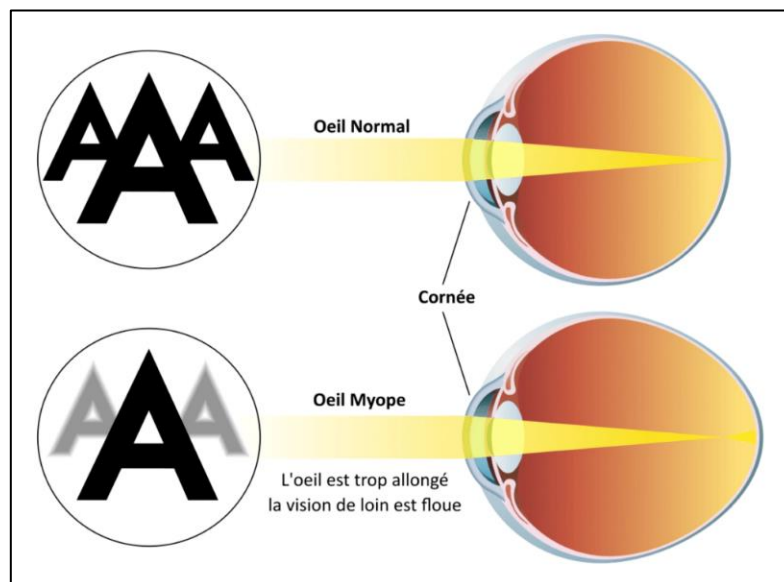


Figure 1 : Schéma optique d'un œil myope vs œil emmétrope [6] .

Chapitre I : Généralités sur la myopie

Sur le plan morphologique, l'œil myope adopte souvent une forme plus allongée et moins oblate comparée à celle d'un œil hypermétrope, voire une forme prolata dans certains cas. Cette configuration géométrique se manifeste par une périphérie rétinienne présentant des rayons plus plats que la région centrale [7], induisant ainsi une hypermétropisation relative en périphérie [5] [8]. Cette variation anatomique influe directement sur la répartition de la puissance réfractive à travers le champ visuel. Dans les cas de myopie légère, de modestes modifications de la longueur axiale ou de la focalisation suffisent à altérer la vision. À mesure que la myopie progresse, l'allongement axial devient plus prononcé, déplaçant le foyer de l'image devant la rétine. La correction optique repose alors sur l'utilisation de lentilles divergentes (verres ou lentilles de contact négatifs), ou, dans certains cas, sur des procédures chirurgicales visant à aplatir la courbure cornéenne pour réduire la puissance réfractive de l'œil [9].

- **Classification clinique de la myopie selon l'International Myopia Institute (IMI)**

L'**International Myopia Institute (IMI)**, une référence mondiale en matière de recherche sur la myopie, a proposé une classification normalisée de la myopie permettant une meilleure compréhension et harmonisation des diagnostics et des traitements à l'échelle internationale [9].

Cette classification repose sur des critères **quantitatifs**, fondés sur la réfraction de l'œil en l'absence d'accommodation, et **qualitatifs**, prenant en compte l'origine anatomique de la myopie.

- **Classification quantitative (basée sur l'erreur réfractive sphérique équivalente)**

La mesure s'effectue généralement après cycloplégie, exprimée en dioptries (D) .

- **Pré-myopie** : La pré-myopie désigne un état réfractif chez l'enfant dont la réfraction sphérique équivalente se situe entre +0,75 D et -0,50 D, proche de l'emmétropie. Ce stade intermédiaire n'est pas encore une myopie clinique, mais il est considéré à haut risque de progression vers une myopie manifeste, en particulier lorsqu'il s'accompagne de facteurs de risque identifiables tels que l'hérédité, un temps excessif en vision de près, ou encore une exposition insuffisante à la lumière naturelle. La reconnaissance de cet état justifie une surveillance ophtalmologique étroite ainsi que l'éventuelle mise en place d'interventions préventives pour retarder ou limiter l'apparition de la myopie [9].
- **Myopie faible** : Une condition dans laquelle l'erreur de réfraction équivalente sphérique d'un œil est $\leq -0,50$ D et $> -6,00$ D. Ce niveau est fréquent et constitue la forme la plus répandue de myopie, généralement bien compensée par des moyens optiques classiques (lunettes ou lentilles) [9].

Chapitre I : Généralités sur la myopie

- **Myopie forte** : Une condition dans laquelle l'erreur de réfraction équivalente sphérique d'un œil est $\leq -6,00$ D. Cette forme plus avancée est souvent liée à un allongement axial important du globe oculaire et peut entraîner un risque accru de complications oculaires telles que le décollement de rétine, la maculopathie myopique ou le glaucome [9] .

➤ Classification qualitative (basée sur les mécanismes anatomiques sous-jacents)

- **Myopie axiale** : liée à une augmentation excessive de la longueur axiale du globe oculaire. C'est la forme la plus courante dans les cas de myopie évolutive. La longueur axiale moyenne d'un œil emmétrope est d'environ 23 mm, alors qu'elle peut dépasser 25 mm chez les myopes [3] .
- **Myopie réfractive** : résulte d'un déséquilibre entre la puissance optique des structures réfractives (cornée et cristallin) et une longueur axiale normale. Elle est souvent due à une cornée particulièrement cambrée ou un cristallin trop convergent, entraînant une focalisation de la lumière en avant de la rétine, même si la longueur de l'œil reste dans les normes [3] .

Cette double approche permet de mieux cerner les causes et les risques associés à chaque type de myopie et oriente les stratégies de prise en charge adaptées à chaque cas.

3. Épidémiologie et prévalence mondiale et locale

La **myopie** est devenue une problématique de santé publique mondiale, en raison de l'augmentation rapide et continue de sa prévalence. Selon les projections de l'**Organisation mondiale de la santé (OMS)** et les estimations de Holden et al [1] , près de **30 % de la population mondiale était myope en 2020**, et ce chiffre pourrait atteindre **50 % d'ici 2050**, soit environ **5 milliards de personnes concernées**. Cette croissance s'inscrit dans une **véritable tendance épidémique** [2] .

L'évolution de la myopie varie toutefois selon les régions du monde :

- En Asie de l'Est, les taux de myopie chez les adolescents sont les plus élevés au monde, atteignant 80 à 90 % dans des pays comme Taïwan, Singapour et la Corée du Sud [2].
- En Europe et en Amérique du Nord, la prévalence se situe entre 30 et 45 % chez les jeunes adultes, avec une progression notable au cours des dernières décennies. Par exemple, aux États-Unis, la prévalence a quasiment doublé en trente ans, atteignant environ 42 % [2].
- En Afrique du Nord, notamment en Algérie, les données épidémiologiques restent limitées. Cependant, plusieurs rapports hospitaliers régionaux font état d'une augmentation observable dans les zones urbaines, en lien avec les changements de mode de vie [2] .

Chapitre I : Généralités sur la myopie

Ce phénomène touche particulièrement les enfants et les adolescents, chez qui l'apparition précoce de la myopie favorise un allongement axial prolongé du globe oculaire. Cela augmente considérablement le risque de développer des formes sévères de myopie, associées à des complications oculaires potentiellement invalidantes telles que le glaucome, la dégénérescence maculaire myopique ou le décollement de rétine [10].



Figure 2 : La prévalence de la myopie dans le monde [11].

4. Développement de la myopie

La myopie se développe suite à une perturbation du processus normal de croissance oculaire, en particulier à cause d'un déséquilibre entre la longueur axiale du globe oculaire et les composantes réfractives, comme la cornée et le cristallin. Parmi ces facteurs, l'allongement axial est reconnu comme le plus fortement **corrélé** à la sévérité de la myopie [12]. En effet, un œil myope est généralement plus long, ce qui fait que les rayons lumineux convergent en avant de la rétine, engendrant une vision floue de loin.

A. L'emmétropisation : un mécanisme physiologique clé

À la naissance, les yeux humains présentent une hypermétropie physiologique (+2,00 D en moyenne), qui est progressivement corrigée par un mécanisme appelé emmétropisation. Ce processus permet d'aligner progressivement la réfraction vers une situation proche de l'emmétropie, assurant une bonne qualité visuelle sans correction. Jusqu'à l'âge de 3,5 ans, cette hypermétropie diminue rapidement, atteignant une moyenne de +0,75 D, puis se stabilise vers l'âge de 6 ans [5].

Chapitre I : Généralités sur la myopie

Un échec de ce mécanisme à maintenir une légère hypermétropie ou l'emmétropie après cet âge pourrait expliquer le déclenchement de la myopie. Des différences interethniques et environnementales apparaissent alors, avec une progression myopique beaucoup plus marquée dans certaines régions du globe, notamment en Asie de l'Est [13] .

B. Évolution de la longueur axiale et lien avec la myopie

La croissance de la longueur axiale oculaire joue un rôle déterminant dans l'apparition de la myopie. Celle-ci atteint en moyenne 23 mm avant l'âge de 5 ans. Elle continue ensuite à croître à un rythme d'environ 0,1 mm par an jusqu'à l'adolescence. Fledelius et al ont démontré que cette croissance se prolonge au-delà de 14 ans, bien que de manière plus lente [14] . Selon une étude menée par Zadnik et al , les taux d'élongation varient selon les tranches d'âge [15] :

- **0,16 mm/an chez les enfants de 9 à 12 ans**
- **0,02 mm/an chez les adolescents de 11 à 14 ans**

La **myopie pathologique** est souvent définie par une longueur axiale supérieure à 26,5 mm, seuil au-delà duquel les risques de complications oculaires telles que le glaucome, la dégénérescence maculaire myopique ou encore le décollement de rétine augmentent de manière significative [16] .Ce lien entre la dioptrie et la longueur axiale a été largement validé, soulignant la nécessité d'un suivi biométrique régulier chez les enfants à risque.

5. Evolution myopique, causes et conséquences

La myopie la plus aisément reconnaissable est certainement la myopie évolutive, également appelée myopie « pathologique », myopie progressive, myopie dégénérative. Elle se caractérise par une apparition plus précoce (petite enfance, avant l'adolescence) et elle est due à une croissance trop rapide et trop longue des yeux par rapport au rythme normal. Elle est caractérisée par une distension excessive du pôle postérieur de l'œil, avec allongement important de la longueur de l'œil, et s'accompagne de dégénérescence chorio-rétinienne. Cette dégénérescence est liée au fait que le tissu chorio-rétinien, peu extensible, subit une augmentation importante de la surface interne de l'œil (liée à l'expansion sclérale). Ce tissu s'amincit, se déchire et s'atrophie en fonction du degré de la myopie .Heureusement, la prévalence de cette forme sévère de myopie tend à diminuer grâce aux avancées récentes dans les méthodes de freination de la progression myopique [9] .

Chapitre I : Généralités sur la myopie

A. Facteurs responsables de la progression myopique

Il y a plus d'un siècle, Fuchs a découvert que le travail prolongé en vision de près nécessitant une vision étroite est le facteur numéro un pour déclencher et développer une myopie [17].

Depuis cette ère les recherches se multiplient sur les facteurs de risque de la progression myopique, mais malheureusement à l'heure actuelle les mécanismes impliqués dans la progression myopique demeurent pour beaucoup mystérieux, bien que l'augmentation rapide de sa prévalence fournit des indices sur son étiologie.

Les résultats des recherches faites sur les causes de cette évolution myopique causée par l'allongement axiale de l'œil, montrent qu'un facteur génétique et environnemental peut en être responsable.

a) Facteur génétique

L'hypothèse du rôle du facteur génétique dans l'évolution myopique a été appuyée par des recherches faites sur des parents ainsi que leurs enfants.

Les études de Young et al [18] [19] ont été réalisées sur des familles ayant une forte histoire de myopie pathologique. Deux polymorphismes et deux locus pour une myopie élevée, indiquant une prédisposition pour le développement de la myopie pathologique.

Deux autres études ont précédé cette dernière, elles ont également mis l'accent sur une taille des yeux plus grande chez les enfants ayant des parents myopes que ceux sans antécédents familiaux.

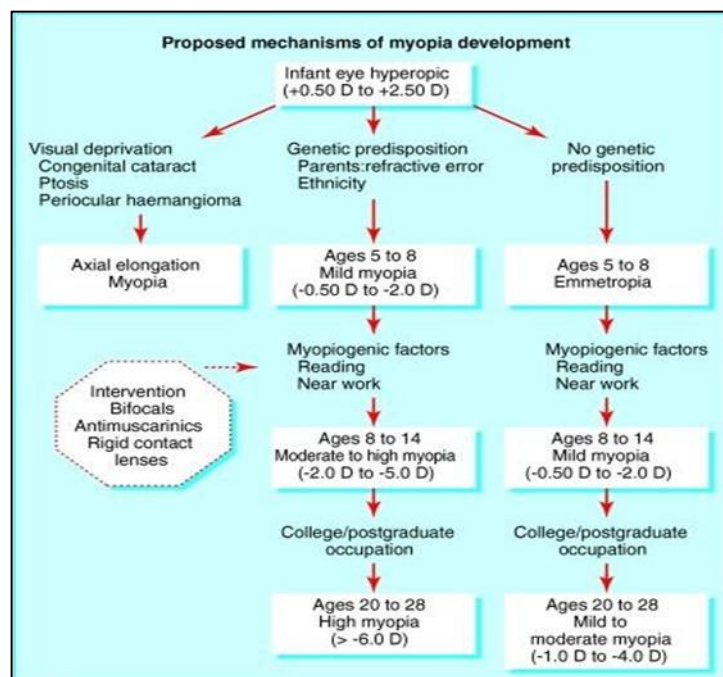


Figure 3 : Mécanismes proposés pour le développement de la myopie [20].

Chapitre I : Généralités sur la myopie

Le schéma précédent met en évidence la différence entre des enfants de 5 à 8 ans, ayant des parents myopes, et d'autres enfants sans aucune prédisposition génétique à la myopie.

Les enfants qui ont des parents myopes, ils sont myopes à un âge très jeune contrairement à l'autre échantillon. La progression de la myopie est très rapide, elle est arrivée jusqu'à -6 δ à l'âge de 20-28 ans. Les sujets sans risque génétique, arrivent à une myopie de -4 δ qui est une myopie modérée, vers l'âge de 20ans. Une autre recherche à Guangzhou, Chine sur 4364 enfants [21], a étudié la question de l'hérédité. Les réfractions réalisées ont été faites sous cycloplégie pour éviter l'influence accommodative.

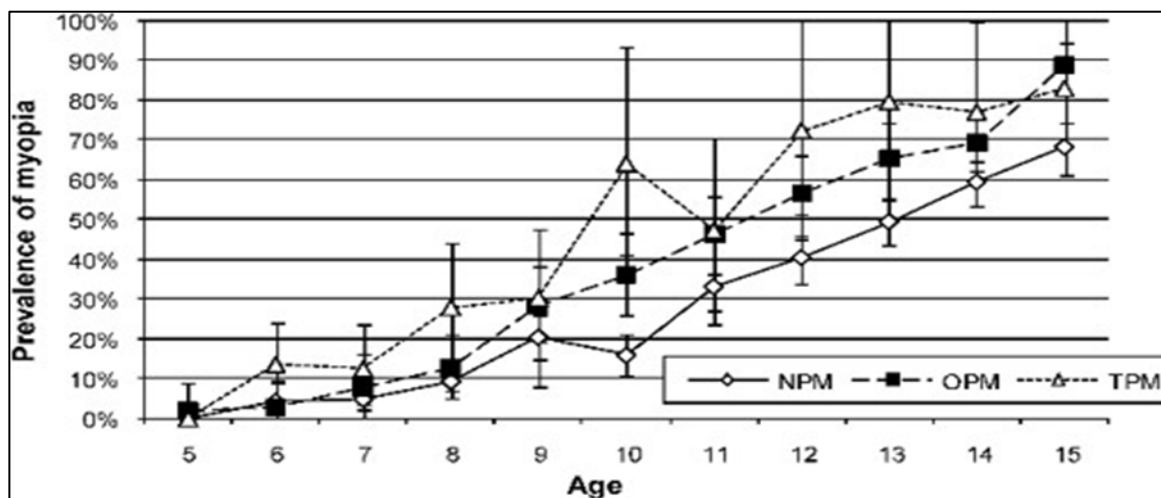


Figure 4 : Prévalence de la myopie chez les enfants avec aucun parent myope (NPM), un parent myope (OPM), et deux parents myopes (TPM) [20].

Le graphe ci-dessus montre une plus forte prévalence de myopie (83,3%) chez les enfants ayant les deux parents myopes.

Ces deux études prouvent que le facteur génétique est important dans l'évolution myopique. En revanche les enfants sans parents myopes, eux aussi présentent une myopie faible à modérée, ce qui relie le facteur héréditaire à d'autres influences imposées par le temps et l'environnement.

Pour conclure, ces deux études montre que le facteur génétique n'est pas négligeable pour la myopie, et notamment dans la rapidité de son évolution, mais il reste associé à d'autres facteurs responsables aussi de cette amétropie.

b) Le sexe

La prévalence de myopie est plus importante chez le sexe féminin. Une étude de Mutti et al faite en 2000 [5] a montré qu'à l'âge de 12 ans 21% des filles ont une myopie de -3,37 δ , alors que seulement 12% de garçons présentent une myopie de -3,10 δ en moyenne.

Cela met la lumière sur le fait que la myopie a évolué plus rapidement chez les filles.

Ils se sont également intéressés à la rétine périphérique. Il s'est avéré que les filles ont une rétine périphérique plus hypermétrope que les garçons (-0,19 δ pour les filles contre -0,39 δ pour les garçons).

Ces résultats montrent bien que le sexe a un rôle aussi dans l'évolution de la myopie .

Chapitre I : Généralités sur la myopie

c) L'ethnicité

Mutti et al ont poussé leur étude plus loin en 2007 à fin d'avoir une vision globale sur l'ensemble des causes de la myopie ainsi que les facteurs accélérant son évolution.

L'ethnicité est une hypothèse qui a toujours été mise en corrélation avec le facteur génétique dans la progression de la myopie.

Dans cette seconde étude une mesure de la réfraction centrale et périphérique a été réalisée sur des enfants de différentes populations.

La réfraction centrale ainsi que l'allongement axial n'ont pas présenté une différence significative entre les différents sujets. En revanche il a été noté qu'en terme de réfraction périphérique (mesurée à 30° dans le champ visuel nasal), les asiatiques présentaient la défocalisation hypermétropique la plus important.

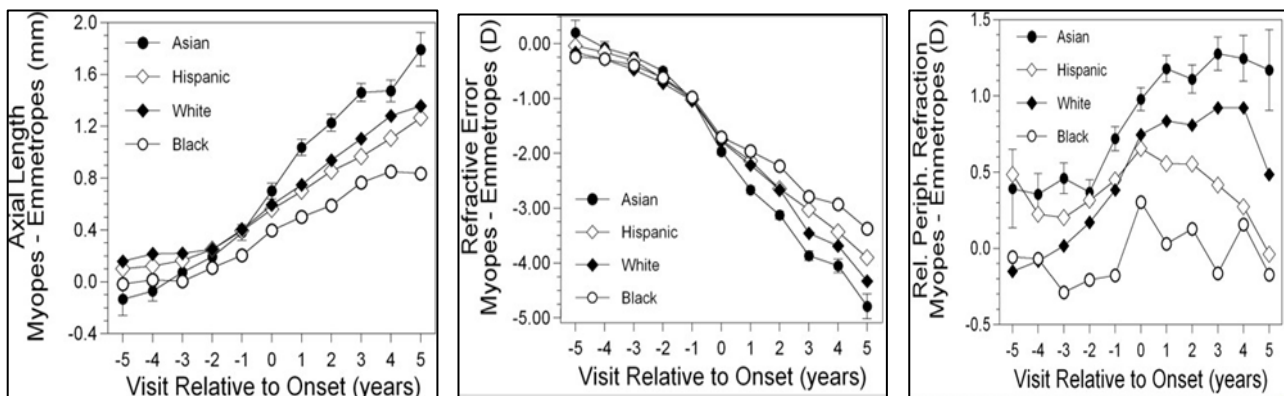


Figure 5 : Erreurs de réfraction centrale et périphérique, et longueur axiale en fonction de l'ethnicité d'après [5].

Une autre étude a été réalisée en 2012 sur des enfants de différentes ethnies, dont l'ethnie Yao (groupe de population originaire de Chine du sud) qui représentait un facteur de risque de 11.3 pour la myopie, prenant en considération le facteur génétique. Malgré cela les études ont soulignées une prévalence d'erreur réfractive de 3.6% pour un échantillon de 2842 enfants entre 6-11 ans, dont 0,8 % de cas de myopes [22] .

Cette dernière étude a prouvé que les facteurs génétique et ethnique ne peuvent être considérés comme des causes directes de la myopie et/ou de son évolution, mais ils interagissent avec des facteurs environnementaux et une hygiène de vie différente d'une personne à l'autre à fin de moduler l'expression du phénotype de la myopie.

Chapitre I : Généralités sur la myopie

d) Myopie et travail de près :

Des signes récents indiquent que des facteurs environnementaux quel que le travail à proximité ont un effet sur la progression de la myopie. Il a été prouvé que le développement myopique peut être dû à une vision de près prolongée, ou un travail rapproché.

L'accommodation qui est un effort visuel fournit lors d'un travail au près, a été considéré comme un possible facteur causal de la myopie évolutive. Suite à une forte sollicitation de la vision de près et donc de l'accommodation nous pouvons observer une « paresse accommodative » (accommodative lag). Cette insuffisance d'accommodation peut induire une vision floue qui engendre à son tour une déprivation visuelle.

La déprivation visuelle est un mécanisme de compensation naturelle, lorsque la personne voit floue les globes oculaires compensent mécaniquement en augmentant la longueur [23] .

Il a également été prouvé que lors de l'accommodation, la pression intra oculaire augmente. Cette augmentation de pression est capable d'induire une distension progressive de la sclère. Ces deux effets peuvent déclencher un allongement de l'œil.

Malgré toutes les recherches faites à ce sujet, aucun étude n'a prouvé que les aides accommodatives comme les verres progressifs puissent ralentir ou freiner l'évolution myopique. Donc aucun lien de causalité entre la myopie et l'accommodation n'a été [24] .

Chapitre I : Généralités sur la myopie

B. Myopie évolutive et activités à l'extérieur :

De nombreuses études se sont focalisées sur le rôle des activités de plein air dans le développement myopique.

Dès 2008, des chercheurs Australiens ont mis l'accent sur le taux de myopes dans un échantillon d'enfants qui pratiquaient des activités à l'extérieur plus ou moins souvent. Il a été constaté que les enfants qui pratiquaient des activités de plein air d'une manière fréquente et régulière, étaient moins myopes ou plus hypermétropes que ceux qui en pratiquaient moins souvent.

Dans cette étude les enfants qu'ils avaient une faible fréquence d'activité extérieure, ils avaient trois fois plus de chance de devenir myope [25] et [26] .

Il est important de souligner que l'intensité de la lumière naturelle est 60 à 260 fois plus importante que la lumière artificielle. Cette forte luminosité procure une constriction des pupilles (myosis) et donc une amélioration de la profondeur de champ ce qui donnera par la suite une image moins floue.

Ce mécanisme biologique n'est pas définitivement identifié, bien que l'étude [27] a mis en évidence l'influence de l'ambiance lumineuse sur l'apparition et la progression de la myopie.

A savoir que la dopamine a un effet sur la croissance oculaire et qu'elle est sécrétée au niveau de la rétine par une stimulation lumineuse [28] , il est donc possible que ce phénomène contribue dans la protection des activités extérieures sur la myopie.

Malheureusement au jour d'aujourd'hui, les études n'ont toujours pas pu expliquer le lien entre le temps passer à l'extérieur en lumière naturelle et le ralentissement de l'apparition ou de la progression myopique chez les jeunes enfants.

D'autres questions se posent encore à ce sujet, comme la composition spectrale entre lumière naturelle et lumière artificielle, ainsi que le temps consacré aux activités de plein air a été remis en question, est-il une cause ou une conséquence de cette amétropie, car il est possible que les enfants myopes évitent d'utiliser très longtemps leurs visions de loin en cherchant leur confort [29]

Chapitre I : Généralités sur la myopie

6. physiopathologie de la myopie évolutive

La myopie évolutive est principalement liée à une **élongation axiale excessive du globe oculaire**, provoquée par un déséquilibre entre les signaux visuels rétiniens et la croissance sclérale.

- **Défocus hypermétropique périphérique** : la périphérie rétinienne reçoit une image en arrière de la rétine, ce qui stimule la croissance axiale [30] .
- **Signalisation sclérale anormale** : activation des voies de remodelage scléral par des mécanismes biochimiques locaux (MMPs, TGF- β) [31] .
- L'exposition précoce à une vision prolongée de près favoriserait ces déséquilibres.

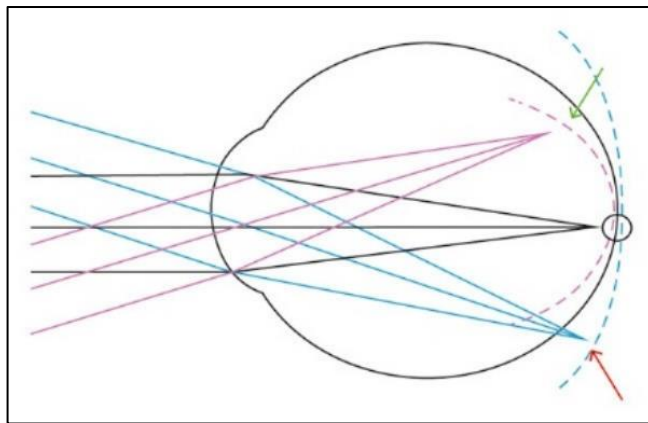


Figure 6 : Schéma de la signalisation de croissance oculaire (défocus et allongement axial) [32] .

• **Effet du défocus périphérique sur la croissance axiale et le développement de la myopie**

Le défocus périphérique joue un rôle majeur dans le développement et la progression de la myopie. Il existe deux types de défocalisation périphérique : **l'hypermétropique** et **la myopique**, qui ont des effets opposés sur la croissance oculaire.

a) Défocalisation hypermétropique périphérique (flèche rouge)

Lorsque les rayons lumineux centraux convergent correctement sur la rétine, la vision centrale est nette. En revanche, les rayons périphériques croisent leur foyer derrière la rétine, ce qui provoque une défocalisation hypermétropique périphérique. Ce phénomène est considéré comme un facteur aggravant de la myopie, car il envoie un signal de croissance à l'œil, entraînant un allongement axial du globe oculaire.

➤ **Conséquences :**

- L'image périphérique est formée derrière la rétine.
- Cela stimule la croissance axiale de l'œil.

Chapitre I : Généralités sur la myopie

➤ **Résultat** : aggravation de la myopie.

b) Défocalisation myopique périphérique (flèche verte)

À l'inverse, la défocalisation myopique consiste à projeter l'image devant la rétine en périphérie. Ce type de défocus envoie un signal inhibiteur de la croissance oculaire, ce qui peut ralentir ou stabiliser la progression de la myopie.

➤ **Ce type de défocus peut être induit par :**

- L'orthokératologie,
- Les lentilles de contact spécifiques (multisegments, double focus),
- La chirurgie réfractive au laser,
- Les verres de lunettes à défocalisation périphérique intégrée, comme les verres Apollo.

c) Preuves scientifiques du rôle du défocus optique

Des études ont montré que le défocus optique affecte l'expression de différents gènes et voies de signalisation dans la rétine, influençant ainsi la croissance oculaire. Par exemple, une recherche a révélé que le défocus optique induit des changements dans l'expression génique de la rétine après 10 jours d'exposition, suggérant un mécanisme bidirectionnel de croissance oculaire guidée visuellement [33].

De plus, une autre étude a démontré que le défocus optique entraîne des modifications significatives de la longueur axiale de l'œil chez l'humain après 60 minutes d'exposition, indiquant que le système visuel humain est capable de détecter la présence et le signe du défocus et d'ajuster la longueur axiale en conséquence [33].

7. Conséquences cliniques et complications

La myopie en plus d'être un problème d'embrouillement en vision de loin, elle présente également un risque non négligeable sur la santé oculaire des personnes ayant des fortes myopies. Les complications liées à la forte myopie menacent la vision de beaucoup de patients. Malheureusement il existe un nombre conséquent de malvoyants dans le monde à cause de l'impact que peut générer la myopie sur le système oculaire. Ces pathologies sont nombreuses et différentes les unes des autres, nous citons par exemple :

Chapitre I : Généralités sur la myopie

A. Le glaucome

Le glaucome est une neuropathie optique progressive, elle fait partie des principales causes de cécité dans le monde. Il se caractérise par une dégénérescence progressive des cellules ganglionnaires de la rétine, causée par une pression intraoculaire supérieure à 21 mmHg.

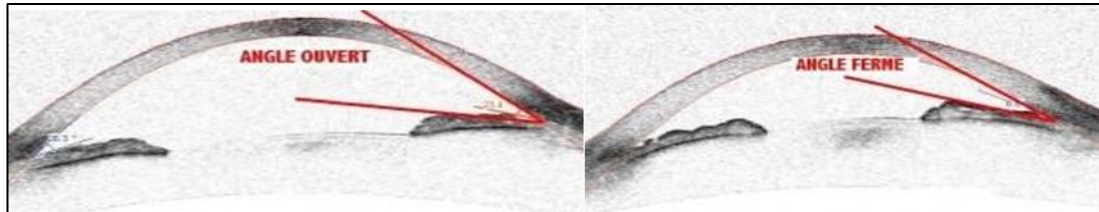


Figure 7 : Différence entre angle irido-cornéen dans le cas d'un glaucome à angle ouvert et glaucome aigu [34].

Le glaucome à angle ouvert est le plus fréquent, il est indolore contrairement au glaucome aigu et donc il est moins alertant pour la personne jusqu'à ce qu'elle commence à perdre une partie de son champs visuel périphérique.

Plusieurs facteurs comme, le sexe, l'âge, l'erreur de réfraction, la race et l'hérédité, peuvent jouer un rôle dans la pathogenèse du glaucome. Il s'est avéré que la myopie forte ainsi que la longueur axiale de l'œil, sont des facteurs de risque importants pour le glaucome [34] [35] .

Les grandes études épidémiologiques, suggèrent que la myopie forte supérieure ou égale à 6 δ peut être une cause pour différentes maladies oculaires. Le risque de glaucome chez les forts myopes est trois fois plus élevé que chez les personnes emmétropes ou hypermétropes [36] .

Une autre étude, a également établi une forte relation entre le glaucome à angle ouvert et la myopie [37] . Dans cette étude le pourcentage des cas qui présentaient un glaucome à angle ouvert était de 4,2% dans les yeux avec une faible myopie ($-3\delta > \text{myopie} \geq -1\delta$) , 4,4% dans les yeux myopes d'au moins - 3 δ et 1,5% des yeux non myopes, additionnement à cela, le risque du glaucome chez les personnes myopes est indépendant des autres facteurs de risque du glaucome et de la pression intraoculaire (environnement, sexe, hérédité).

La synthèse de Beaver Dam Eye, a montré qu'après avoir pris en compte les effets de l'âge, le sexe, et d'autres facteurs de risque, les personnes myopes étaient de 60% plus susceptible d'avoir un glaucome que les emmétropes [38] . Une très grande étude, l'une des plus importante sur la myopie et le glaucome a été réalisé sur 32 918 personnes âgées de 57 à 79 ans, a prouvé que les nouveaux glaucomes détectés avaient un lien réel avec les fortes myopies des patients.

Chapitre I : Généralités sur la myopie

L'explication du lien entre la forte myopie et le glaucome à angle ouvert est encore imprécise. Il existe une différence entre la pression intraoculaire d'un œil myope et un œil non myope, cette différence estimée entre 0,5mmHg – 1,25mmHg n'est pas assez forte pour créer un déséquilibre oculaire tel que le glaucome [39] [40] . En revanche l'œil myope est fragilisé, par l'allongement axial qui rend les cellules étirées plus fines et donc plus sensible à la pression. Disant qu'un œil myope contrairement à un œil emmétrope, peut développer un glaucome même avec une pression intraoculaire inférieure à 21mmHg.

B. L'atteinte maculaire

La macula est la zone centrale de la rétine, elle mesure 5 à 6 mm de diamètre, et elle contient en son centre la fovéa qui représente l'endroit où les axes visuels converge pour un œil emmétrope et donc c'est le point où l'acuité visuelle est la meilleure. La forte myopie peut causer une atteinte de la macula, observable à l'OCT (optical Coherent Tomography).

Le mécanisme de la myopie comme il a déjà été décrit auparavant, se résume principalement dans l'allongement de l'œil. Ce phénomène n'est pas sans conséquence par rapport à la macula, il peut entraîner une pâleur maculaire, le fovéoschisis qui fréquent chez les forts myopes, il est dû à l'existence de kystes intra rétiens. Il peut s'accompagner d'une membrane épirétinienne étirant la rétine vers l'avant, ce qui peut générer un décollement maculaire, ou même à un trou maculaire qui risquera de conduire à un décollement de la rétine. Les néovaisseaux choroidiens à leur tour, causent des dégâts au niveau de la macula. Ces néovaisseaux traduisent le passage des vaisseaux de la choroïde à travers la rétine entraînant un œdème et des hémorragies de la macula [41] .

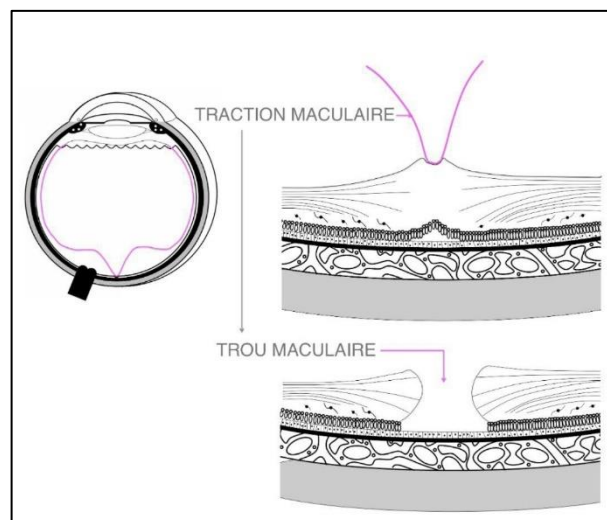


Figure 8 : Illustration de la traction maculaire myopique [42] .

Chapitre I : Généralités sur la myopie

C. L'atteinte de la rétine

Le décollement de rétine est le risque numéro un chez les forts myopes. Avant le déchirement complet de la rétine, l'ophtalmologiste peut observer des palissades en rétine périphérique ou alors des trous et des déchirures. L'explication du décollement de la rétine rejoint celle de la macula, car le changement de la forme et la taille de l'œil, sont souvent la cause de ces pathologies [40].

8. L'examen général et initial du patient myope

L'évaluation initiale d'un patient myope constitue une étape fondamentale dans le processus de prise en charge optométrique. Elle permet non seulement de poser un diagnostic précis de la myopie, mais aussi de détecter d'éventuelles anomalies visuelles ou pathologies oculaires associées. Cette démarche clinique repose sur un protocole rigoureux et individualisé, adapté à l'âge, aux besoins visuels et au mode de vie du patient.

➤ Protocole d'examen du myope

Le protocole d'examen suivi par l'optométriste comprend une série d'évaluations visuelles approfondies, visant à :

- Déterminer la correction optique adéquate par des tests de réfraction.
- Apprécier la vision binoculaire pour identifier d'éventuels déséquilibres accommodatifs ou de vergence.
- Évaluer la santé oculaire afin de dépister toute pathologie pouvant affecter la vision.
- Mesurer certains paramètres biométriques utiles pour orienter le choix thérapeutique.

En fonction des résultats obtenus, l'optométriste pourra proposer une correction optique (lunettes ou lentilles de contact) et discuter des options de suivi appropriées, incluant des recommandations d'hygiène visuelle.

➤ Étapes générales de l'examen optométrique

Les étapes couramment incluses dans un examen général d'un patient myope sont [43]:

- Anamnèse complète.
- Mesure de l'acuité visuelle de loin et de près.
- Réfraction objective et subjective.
- Évaluation de la vision binoculaire (accommodation et vergence).
- Examen du segment antérieur (lampe à fente).

Chapitre I : Généralités sur la myopie

- Tonométrie (pression intraoculaire).
- Fond d'œil (FO) ± OCT (optical coherence tomography) selon les cas.
- Topographie cornéenne (en cas d'adaptation en lentilles).
- Mesure de la longueur axiale (si nécessaire).
- Conseils personnalisés en matière d'hygiène visuelle.
- Planification du suivi et surveillance de l'évolution.

A. L'anamnèse du patient myope

L'anamnèse représente le point de départ de toute consultation. Elle permet de recueillir des informations essentielles [43] :

- **Antécédents médicaux et oculaires** (chirurgies, maladies générales, traitement médicamenteux).
- **Antécédents familiaux** (présence de myopie ou autres pathologies oculaires).
- **Symptomatologie actuelle** : vision floue de loin, fatigue oculaire, céphalées.
- **Habitudes de vie** : temps passé sur les écrans, à l'extérieur, ou en vision de près.
- **Utilisation actuelle d'une correction visuelle** (lunettes, lentilles) et son efficacité.
- **Historique des consultations ophtalmologiques ou optométriques.**

B. Examen visuel objectif et subjectif

- **Réfraction objective (auto-réfractomètre)** : outil utile pour estimer rapidement le type et le degré d'amétropie, particulièrement chez les enfants. Pour des mesures précises, notamment chez les sujets jeunes, l'utilisation de la cycloplégie est recommandée.
- **Acuité visuelle de loin** : mesurée à l'aide d'une charte optométrique (lettres ou symboles selon l'âge), en monoculaire puis binoculaire, avec ou sans correction.
- **Acuité visuelle de près** : réalisée à une distance standard (environ 33 cm), elle est particulièrement importante chez les myopes presbytes [43] .

C. Évaluation de la vision binoculaire

L'examen de la fonction binoculaire comprend [43] :

- La mesure de l'amplitude accommodative.
- Le test de convergence.
- L'étude des réserves fusionnelles.
- Le test de Maddox, la stéréoscopie, etc.

Chapitre I : Généralités sur la myopie

Cela permet de dépister d'éventuels troubles fonctionnels associés à la myopie (insuffisance de convergence, excès d'accommodation, etc.).

D. Évaluation de la santé oculaire

- **Examen du segment antérieur** à la lampe à fente : conjonctive, cornée, cristallin, chambre antérieure.
- **Tonométrie** : mesure de la pression intraoculaire (PIO) afin d'exclure un glaucome, surtout chez les forts myopes.
- **Examen du fond d'œil (FO)** : réalisé avec ou sans dilatation, il permet d'évaluer la rétine centrale et périphérique, la papille optique et les vaisseaux rétiens.
- En cas de forte myopie, un **OCT (Tomographie en Cohérence Optique)** est souvent utile pour évaluer l'épaisseur rétinienne, détecter une choroïdose myopique, un staphylome postérieur ou des lésions maculaires atrophiques [43].

E. Examens complémentaires

- **Topographie cornéenne** : indispensable en cas de port de lentilles (surtout orthokératologie) ou de suspicion de kératocône. Elle permet de cartographier précisément la surface cornéenne.
 - ✓ Topographie spéculaire : basée sur les réflexions de la surface antérieure.
 - ✓ Topographie d'élévation (ex : Pentacam) : analyse complète des faces antérieure et postérieure, pachymétrie, carte d'élévation.
- **Biométrie oculaire** : la mesure de la longueur axiale est un paramètre de référence dans le suivi du myope, même si elle est plus couramment utilisée en ophtalmologie. Sa surveillance est particulièrement utile chez les jeunes adultes ou les forts myopes pour évaluer le risque de complications.

9. Conclusion

La myopie s'affirme aujourd'hui comme une pathologie aux enjeux considérables, tant par sa prévalence croissante que par ses potentielles complications oculaires graves, notamment en cas de myopie forte. Ce premier chapitre a permis d'exposer les fondements essentiels : définition, classification, facteurs de risque, mécanismes physiopathologiques et implications cliniques. Ces éléments sont indispensables pour comprendre les défis que pose la prise en charge de la myopie évolutive. Le chapitre suivant s'intéressera aux différentes stratégies actuellement disponibles pour freiner sa progression, en analysant leur efficacité, leurs limites et leurs perspectives d'avenir.

Chapitre II : Diagnostic de la myopie évolutive et les différents moyens de contrôle

Chapitre II : Diagnostic de la myopie évolutive et les différents moyens de contrôle

1. Introduction

Avec l'augmentation rapide de la prévalence de la myopie dans le monde, notamment chez les enfants, la nécessité de freiner sa progression est devenue une priorité de santé publique. La myopie évolutive, caractérisée par une progression rapide du défaut visuel, augmente considérablement le risque de complications oculaires à long terme. Pour y faire face, plusieurs approches ont été développées afin de limiter l'allongement axial de l'œil. Ce chapitre présente les principales stratégies actuellement utilisées pour ralentir l'évolution de la myopie, qu'elles soient optiques, pharmacologiques ou comportementales.

2. Protocole de diagnostic de la myopie évolutive

A. L'anamnèse

Une anamnèse rigoureuse est la première étape du diagnostic évolutif. Elle doit porter spécifiquement sur :

- ✓ **Historique de progression** : apparition de la myopie, fréquence des changements de correction, date du dernier changement significatif.
- ✓ **Antécédents familiaux de myopie évolutive sévère** : facteur prédictif reconnu.
- ✓ **Comportements visuels** : durée quotidienne d'exposition aux écrans, lecture, activités extérieures.
- ✓ **Facteurs environnementaux et scolaires** : niveau d'exposition à la lumière naturelle, type d'activité scolaire.

Ces éléments permettent de repérer les patients à **risque élevé de progression rapide**, en particulier les enfants présentant une myopie précoce ou des antécédents familiaux forts [43] .

B. Comparaison de l'AV brute et corrigée chaque 3 et 6 mois

Une **évaluation fréquente (tous les 3 à 6 mois)** de l'acuité visuelle permet de suivre la progression fonctionnelle de la myopie [43] :

- ✓ **AV brute** (sans correction) : diminution progressive peut indiquer un allongement axial.
- ✓ **AV corrigée** : utile pour détecter une dégradation de la qualité visuelle malgré la correction.
- ✓ **Comparaison inter-consultations** : indispensable pour détecter une évolution significative même minime mais continue.

Chapitre II : Diagnostic de la myopie évolutive et les différents moyens de contrôle

C. Mesure de la réfraction objective et subjective pour avoir le maximum convexe sous cycloplégie

La **réfraction sous cycloplégie**, réalisée à chaque contrôle semestriel chez l'enfant, permet d'objectiver la progression réelle [43] :

- ✓ **Réfraction objective automatique** et vérifiée subjectivement.
- ✓ **Utilisation d'un cycloplégique (cyclopentolate 1 % recommandé)** pour neutraliser l'accommodation.
- ✓ **Recherche du maximum convexe toléré** (moins de sur-correction) afin d'éviter une surestimation.

C'est la méthode de référence pour différencier une réelle progression myopique d'un spasme accommodatif.

D. Mesure de la longueur axiale par la biométrie

La biométrie est considérée comme l'indice le plus fiable de la progression. L'allongement axial est directement lié à l'aggravation de la myopie :

- ✓ Une croissance axiale supérieure à 0,1 mm/an est un critère de myopie évolutive.
- ✓ Normes de croissance axiale selon l'âge [15] :
 - 0,16 mm/an entre 9 et 12 ans,
 - 0,02 mm/an entre 11 et 14 ans.
- ✓ D'après Fledelius et al [44] , la croissance peut se poursuivre après 14 ans, bien que de manière plus lente.

Une surveillance **biométrique annuelle** (ou semestrielle si risque élevé) est recommandée pour une détection précoce.

3. Méthodes de contrôle optiques traditionnels

A. Lunettes unifocales

Les lunettes unifocales sont l'option la plus courante pour corriger la myopie. Elles fournissent une correction précise de la vision centrale, mais n'agissent pas sur les mécanismes périphériques liés à l'évolution du trouble.

Chapitre II : Diagnostic de la myopie évolutive et les différents moyens de contrôle

De nombreuses études ont montré que ces verres n'exercent aucun effet ralentisseur sur la progression de la myopie. En effet, leur conception ne permet pas de contrôler la défocalisation hypermétropique périphérique, phénomène considéré comme un facteur de stimulation de la croissance axiale du globe oculaire. Ainsi, bien que nécessaires pour la correction optique, les lunettes unifocales n'ont pas démontré d'efficacité dans la gestion proactive de la myopie évolutive [45] .

B. Lentilles de contact sphériques classiques

Les lentilles de contact sphériques classiques assurent une bonne qualité de vision centrale, mais à l'image des lunettes unifocales, elles n'exercent aucun effet sur la périphérie rétinienne. Cette correction symétrique du champ visuel peut, au contraire, accentuer la défocalisation hypermétropique périphérique, contribuant à la progression de la myopie. Plusieurs essais cliniques ont montré que les enfants porteurs de lentilles sphériques traditionnelles continuent de présenter une augmentation annuelle significative de la myopie, avec un allongement axial parallèle. L'absence d'effet freinateur les rend inadaptées dans un protocole de gestion de la myopie évolutive [46] .

4. Dispositifs optiques spécialisés

A. Lentilles de contact multifocales souples

Les lentilles de contact multifocales souples sont conçues avec des zones optiques concentriques ou asphériques permettant une défocalisation myopique en périphérie de la rétine, tout en assurant une vision centrale claire. Cette technologie vise à contrecarrer la défocalisation hypermétropique périphérique impliquée dans l'allongement axial du globe. Plusieurs études randomisées, comme celle de Chamberlain et al [47] sur les lentilles MiSight®, ont démontré une réduction significative de la progression de la myopie, atteignant jusqu'à 59 % sur trois ans.

Ces résultats positionnent les lentilles multifocales comme une alternative thérapeutique crédible, combinant confort, esthétique et efficacité .

B. Lentilles avec aberrations sphériques positives

Certaines lentilles de contact sont conçues pour induire une défocalisation myopique périphérique en incorporant des aberrations sphériques positives, afin de ralentir l'allongement axial de l'œil. Ce flou volontaire devant la rétine périphérique agit comme un signal inhibiteur de croissance oculaire [48] .

Chapitre II : Diagnostic de la myopie évolutive et les différents moyens de contrôle

Une étude menée en 2010 sur 45 enfants myopes (-0,75 à -3,50 D) a montré que ces lentilles permettaient une réduction de 34 % de la progression de la myopie et de 33 % de l'allongement axial, comparativement à des lunettes classiques [49] .

Une autre étude en 2016 sur 127 enfants asiatiques (8 à 11 ans) a confirmé que des lentilles souples avec aberration sphérique positive de 0,175 μm pouvaient ralentir la progression axiale, bien que l'effet sur la réfraction reste modéré.

Ces résultats préliminaires sont prometteurs, mais davantage de recherches sont nécessaires pour valider cette méthode comme stratégie standardisée dans le contrôle de la myopie.

	Control cohort	Test cohort	Total
Baseline			
Total sample size	63	64	127
Mean age (SD), yr	9.7 (1.1)	9.7 (1.1)	9.7 (1.1)
8 yr, N (%)	12 (19.0)	11 (17.2)	23 (18.1)
9 yr, N (%)	17 (27.0)	17 (26.6)	34 (26.8)
10 yr, N (%)	15 (23.8)	19 (29.7)	34 (26.8)
11 yr, N (%)	19 (30.2)	17 (26.6)	36 (28.3)
Sample size at follow-up visits			
6 months	59	53	112
12 months	57	52	109
18 months	24	16	40
24 months	13	11	24
SD, standard deviation. OPTOMETRY AND VISION SCIENCE			

Figure 9 : Caractéristiques démographiques de la cohorte témoin et de la cohorte test à l'inclusion, et effectifs aux visites de suivi jusqu'à 24 mois [50] .

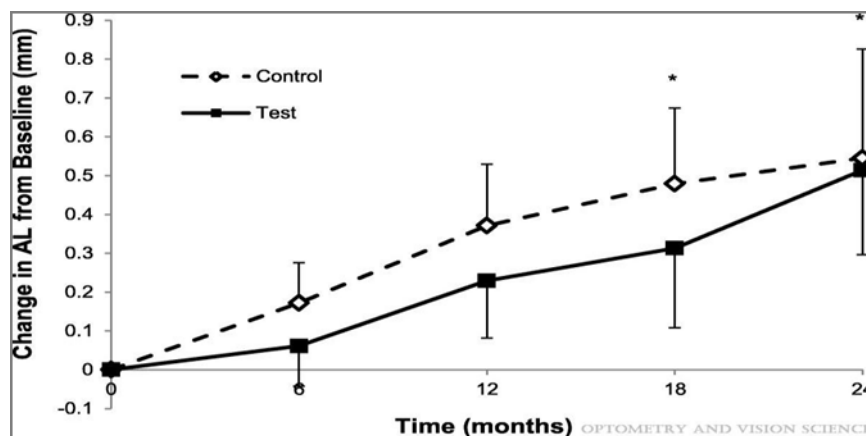


Figure 10 : Moyennes et écarts-types des changements de réfraction non ajustés (autorégulation cyclonique équivalente sphérique [SECAR]) par rapport à la valeur initiale. Un astérisque (*) indique une baisse significative de la taille des échantillons à 18 et 24 mois [50] .

Chapitre II : Diagnostic de la myopie évolutive et les différents moyens de contrôle

Les résultats de cette étude ont montré que l'échantillon d'enfants qui portaient des lentilles de contact avec aberrations sphériques positives, a eu une progression plus lente de l'allongement axial des yeux et donc un ralentissement dans l'évolution myopique.

C. Verres multifocaux et bifocaux (avec prismes ou segments)

Les lunettes multifocales et bifocales ont été étudiées comme une alternative non invasive pour ralentir la progression de la myopie. Leur principe repose sur l'introduction d'une addition positive dans la partie inférieure des verres, destinée à réduire l'effort accommodatif et à modifier le profil de défocalisation rétinienne.

Dans certaines versions, des prismes de base-in sont également ajoutés pour soulager la convergence, notamment chez les enfants présentant une exophorie. Une étude pivot, le COMET study (Correction of Myopia Evaluation Trial), a montré que les verres bifocaux pouvaient ralentir légèrement la progression myopique chez les enfants accommodativement instables ou présentant une faible réserve de convergence, mais que l'effet global restait modeste et transitoire [51] .

D'autres études ont tenté d'optimiser le design optique, comme les verres DIMS (Defocus Incorporated Multiple Segments), qui utilisent une multitude de segments de puissance positive répartis en périphérie pour induire une défocalisation myopique constante. Les résultats, notamment ceux obtenus par Lam et al [52] , indiquent une réduction de plus de 50 % de la progression myopique chez les enfants portant des verres DIMS pendant deux ans. Ainsi, bien que les verres multifocaux classiques aient montré une efficacité limitée, les versions plus récentes basées sur la modulation périphérique semblent beaucoup plus prometteuses.

D. Lentilles rigides perméables aux gaz (RGP classiques)

Les lentilles rigides perméables aux gaz (RGP) ont été proposées comme outil potentiel de ralentissement de la myopie, en raison de leur capacité à modifier la réfraction périphérique et à offrir une qualité optique supérieure. Shen et al [53] ont montré que les RGP influencent les défocalisations hypermétropiques périphériques chez les sujets myopes, ce qui pourrait contribuer à freiner le signal de croissance axiale de l'œil. Cette hypothèse s'appuie sur la conception optique des lentilles rigides, décrite par Bennett et Rabbetts [54] , selon laquelle une puissance plus positive est générée en périphérie, équilibrant la tendance hypermétropique de l'œil myope en vision périphérique.

Chapitre II : Diagnostic de la myopie évolutive et les différents moyens de contrôle

Cependant, les preuves cliniques restent controversées. Une des études les plus solides à ce sujet, le Contact Lens and Myopia Progression Study (CLAMP), a montré une réduction modeste de la progression de la myopie chez les enfants portant des lentilles RGP. Néanmoins, Walline et al [55] ont souligné que cet effet semblait principalement lié à un aplatissement transitoire de la cornée, sans réduction significative de l'allongement axial, ce qui remet en question leur efficacité à long terme dans le contrôle de la myopie évolutive. Ainsi, bien que les lentilles RGP puissent être bénéfiques dans certaines situations cliniques spécifiques, notamment en cas d'irrégularités cornéennes ou en pré-chirurgie réfractive, leur rôle dans le ralentissement durable de la myopie reste limité.

5. Agents pharmacologiques (atropine, pirenzépine ,7-méthylxanthine, timolol , etc)

Des agents pharmaceutiques sous forme de collyres, ont été conçus pour ralentir la myopie évolutive. Ces collyres ont pour effet de dilater la pupille en plus d'une paralysie partielle ou complète de l'accommodation.

A. Atropine

L'atropine est souvent prescrite pour les enfants afin de paralyser leurs accommodations pour avoir la réfraction objective la plus précise possible. Les effets de ce dernier ainsi que la Pirenzépine ont été étudié cliniquement et mit en corrélation avec l'allongement axial de l'œil et le ralentissement myopique.

En 2007, la sécurité et l'efficacité de la pommade ophtalmique à 1% atropine ont été étudiées dans le retard de la progression myopique [56] . Elle a été réalisée sur des enfants âgés de 5 à 10 ans, ayant une myopie de - 3.00δ ou plus, pour une application de pommade de 1% d'atropine une fois par jour pendant 12 mois. La progression de la myopie ainsi que l'allongement axial étaient significativement plus faible dans le groupe d'atropine que dans le groupe témoin. L'efficacité de l'atropine sur l'évolution myopique, est donc prouvée avec cette étude.

Suite à ces résultats, les chercheurs s'interrogeaient sur la dose d'atropine la plus optimale pour réduire les effets secondaires de cette substance. Les effets indésirables des agents muscariniques se caractérisent par une photosensibilité liée à la mydriase (dilatation de la pupille qui entraîne une forte illumination de la rétine, et la perte de vision de près à cause de la réduction de l'accommodation. Il a été souligné dans l'étude [57] , que la dose la plus efficace est de 0,01%. Seulement 24% des enfants qui ont eu cette dose pendant la première phase de test (24 mois), leur myopie a progressé de -0,50δ ou plus, par rapport à 59% et 69%, dans les groupes d'atropine 0,1% et 0,5, respectivement.

Chapitre II : Diagnostic de la myopie évolutive et les différents moyens de contrôle

En revanche, l'absence de groupe témoin recevant un collyre placebo dans cette étude, les a empêchés de conclure d'une manière plus affirmative sur l'efficacité de l'atropine sur le ralentissement myopique.

Il est important de souligner que l'atropine à faible dose agit principalement sur la géométrie du cristallin pour diminuer la progression de la myopie, sachant que les complications oculaires découlent de l'élongation du globe et non pas de l'amétropie elle-même.

B. Pirenzepine :

Un essai clinique multicentrique mené sur deux ans aux États-Unis a révélé que l'utilisation de la pirenzepine à 2 % permettait de réduire la progression de la myopie d'environ 41 %, comparativement au placebo (0,58 D contre 0,99 D). Toutefois, bien qu'une tendance à la réduction de l'allongement axial ait été observée (0,28 mm contre 0,40 mm), cette différence n'était pas statistiquement significative. À ce jour, la pirenzepine ne constitue pas une option thérapeutique disponible, et son développement ne semble pas être poursuivi par l'industrie pharmaceutique [57] .

C. 7-Méthylxanthine (7-MX) :

Les recherches concernant le 7-méthylxanthine (7-MX), un antagoniste oral de l'adénosine, ont été exclusivement réalisées au Danemark. Les résultats suggèrent que son efficacité pourrait dépendre du taux de croissance axiale oculaire et du degré de progression myopique observé avant l'instauration du traitement. Chez les sujets présentant une croissance axiale modérée à élever, une différence annuelle moyenne de -0,055 mm a été constatée entre les groupes 7-MX et placebo. En ce qui concerne la réfraction, les variations annuelles moyennes étaient respectivement de -0,108 D /an pour le groupe traité et de +0,070 D /an pour le groupe placebo [57].

D. Timolol :

Dans cette étude, le maléate de timolol à 0,25 % a été administré deux fois par jour au groupe traité pendant une durée de deux ans. Les résultats ont montré que la progression moyenne de la myopie sur cette période était similaire dans les deux groupes : 1,14 D dans le groupe témoin contre 1,18 D dans le groupe Timolol, indiquant une absence d'effet significatif du traitement sur l'évolution de la myopie [58] .

Chapitre II : Diagnostic de la myopie évolutive et les différents moyens de contrôle

6. Facteurs comportementaux et environnementaux

A. Rôle du temps passé à l'extérieur

L'exposition régulière à la lumière naturelle a démontré un effet protecteur contre le développement et la progression de la myopie. L'intensité lumineuse extérieure stimule la libération de dopamine dans la rétine, laquelle inhibe l'allongement axial du globe oculaire, un facteur déterminant dans la myopie évolutive. Une étude réalisée par Rose et al [59] a révélé que les enfants qui passent plus de deux heures par jour à l'extérieur présentent une prévalence de la myopie significativement plus faible que ceux restant principalement en intérieur. Ces résultats sont corroborés par Wu et al [60], qui ont montré que l'augmentation du temps d'activité en plein air pendant les récréations scolaires permettait de réduire l'incidence de la myopie chez les écoliers.

B. Réduction du temps d'exposition aux écrans et à la vision de près

Le développement des activités de près, telles que la lecture prolongée et l'utilisation d'écrans numériques à courte distance, a été identifié comme un facteur de risque important dans la progression de la myopie. Cette sollicitation constante de l'accommodation pourrait induire une fatigue visuelle chronique, favorisant l'élongation axiale. Huang et al [61], dans une méta-analyse incluant plusieurs études internationales, ont mis en évidence une corrélation significative entre la durée des activités de près et l'augmentation de la prévalence myopique chez les enfants. En réponse à ces données, il est recommandé de limiter le temps passé devant les écrans et de respecter la règle des 20-20-20 : toutes les 20 minutes, regarder à 20 pieds (6 mètres) pendant 20 secondes [61].

7. Orthokératologie (Ortho-K)

L'orthokératologie est une méthode de correction temporaire de la myopie par remodelage cornéen nocturne à l'aide de lentilles rigides à géométrie inversée. Ce procédé vise non seulement à corriger la réfraction centrale, mais aussi à influencer la défocalisation rétinienne périphérique, élément soupçonné de jouer un rôle central dans la progression de la myopie chez l'enfant.

De nombreuses études ont exploré ce mécanisme, notamment l'essai ROMIO Cho & Cheung [62] qui a observé une réduction du taux d'allongement axial chez les enfants porteurs de lentilles Ortho-K par rapport à ceux portant des lunettes. D'autres travaux Sun et al [63] ont rapporté des résultats similaires, suggérant un potentiel de ralentissement de la progression myopique.

Chapitre II : Diagnostic de la myopie évolutive et les différents moyens de contrôle

Cependant, ces résultats doivent être interprétés avec prudence. Les designs d'études, les durées de suivi, l'âge des participants et les critères de mesure varient significativement d'une recherche à l'autre. De plus, des incertitudes persistent quant aux effets à long terme et à la stabilité des résultats après arrêt du traitement. Par conséquent, si l'orthokératologie est considérée comme prometteuse, **son efficacité réelle nécessite une évaluation plus approfondie**, notamment à travers une analyse rigoureuse des cas cliniques [64] .

8. Conclusion

La prise en charge de la myopie évolutive repose sur un éventail de stratégies optiques, pharmacologiques et comportementales. Si certaines approches offrent un effet correctif temporaire, d'autres visent à freiner le processus biologique sous-jacent à l'allongement axial. Néanmoins, les données restent parfois contradictoires, et aucun consensus définitif n'a été établi quant à une méthode universellement efficace.

Parmi les techniques les plus étudiées, l'orthokératologie attire une attention croissante. Toutefois, avant de conclure sur son efficacité réelle et son intérêt dans la pratique quotidienne, une analyse détaillée de son mécanisme, de ses résultats cliniques et de ses indications spécifiques s'impose.

C'est pourquoi le chapitre suivant de ce mémoire sera entièrement consacré à l'étude approfondie de l'orthokératologie en tant qu'approche thérapeutique potentielle dans le contrôle de la myopie évolutive. À travers une revue critique de la littérature et l'analyse de cas cliniques concrets, nous tenterons de déterminer dans quelles conditions, pour quels profils, et avec quelle efficacité l'Ortho-K peut être intégré dans une stratégie de prise en charge individualisée.

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

1. Introduction :

L'orthokératologie (Ortho-K) s'est imposée au cours des dernières décennies comme une approche non chirurgicale innovante dans la gestion de la myopie, notamment évolutive. Reposant sur le port nocturne de lentilles rigides spécialement conçues, elle vise à remodeler temporairement la cornée afin de corriger la réfraction diurne. Ce chapitre propose une exploration approfondie des fondements de cette technique, en abordant sa définition, son mécanisme d'action, les matériaux utilisés, la géométrie des lentilles, le protocole d'adaptation clinique ainsi que l'analyse topographique indispensable au suivi thérapeutique.

2. Définition de l'orthokératologie

L'orthokératologie est une méthode de correction temporaire, réversible, et non invasive des défauts visuels tels que la myopie, l'astigmatisme, l'hypermétropie et la presbytie. Elle consiste à remodeler la surface cornéenne en portant des lentilles de contact rigides spécifiquement conçues, durant le sommeil (minimum 6h).

Les lentilles d'orthokératologie présentent des géométries particulières. Sous l'effet de la pression palpébrale exercée pendant le sommeil, des forces hydrodynamiques s'exercent au niveau du film lacrymal, permettant un aplatissement central de la cornée en vue d'obtenir une nouvelle sphéricité cornéenne, sans altérer les couches cellulaires profondes, le résultat recherché est une cornée à profil oblatique, avec une excentricité réduite proche de zéro, optimisant ainsi la qualité visuelle [65] .

Ce remodelage permet au patient de bénéficier d'une vision nette tout au long de la journée, sans aide optique supplémentaire.

Ces lentilles sont conçues avec un matériau à fort DK/e, afin de garantir une oxygénation suffisante pour un port nocturne en toute sécurité . Elles sont constituées de plusieurs zones fonctionnelles [65] :

- ✓ Une zone centrale optique.
- ✓ Une zone de traitement annulaire avec addition, induisant une défocalisation myopique bénéfique au contrôle de la myopie.
- ✓ Une zone périphérique présentant une excentricité spécifique adaptée au profil cornéen du patient .

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

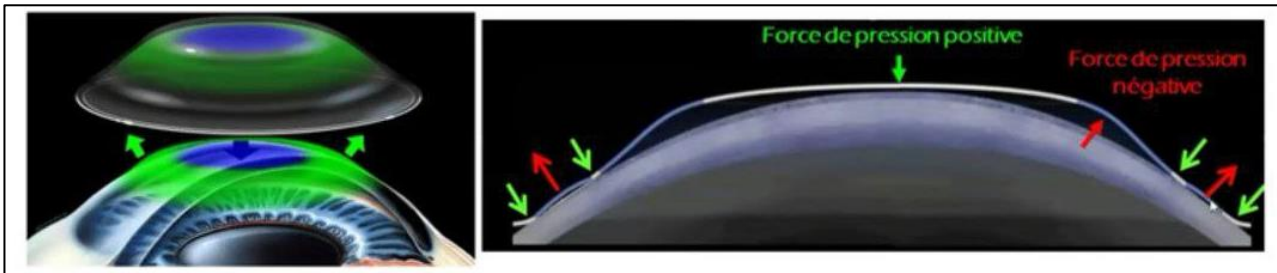


Figure 11 : Représentation du fonctionnement d'une lentille d'orthokératologie [66] .

3. Mécanismes de freination de la myopie par l'orthokératologie

L'efficacité de l'orthokératologie dans la réduction de la progression myopique repose sur un double mécanisme optique et biomécanique. Le port nocturne de lentilles rigides à géométrie inversée provoque un remodelage contrôlé de la cornée. Ce remodelage entraîne un aplatissement central de la cornée, permettant de focaliser les rayons lumineux centraux directement sur la rétine, assurant ainsi une acuité visuelle diurne optimale sans correction [67] .

Mais au-delà de la correction réfractive centrale, ces lentilles induisent également une augmentation de la cambrure en moyenne périphérie cornéenne, modifiant le profil optique périphérique de l'œil. Ce changement a pour effet de corriger le défocus hypermétropique périphérique , une condition fréquemment observée chez les patients myopes et considérée comme un signal stimulant la croissance axiale de l'œil [30]. En ramenant l'image périphérique devant ou sur la rétine, l'orthokératologie génère un défocus myopique périphérique, inhibant ainsi les signaux de croissance oculaire.

Ce mécanisme a été confirmé par des études expérimentales, notamment chez l'animal, où l'exposition à un défocus hypermétropique en périphérie induit une élongation significative du globe oculaire, tandis qu'un défocus myopique la ralentit [68] . Les lentilles souples, rigides sphériques classiques ou les lunettes n'induisent pas ce profil de défocus périphérique, ce qui explique en partie leur moindre efficacité dans le contrôle de la myopie évolutive.

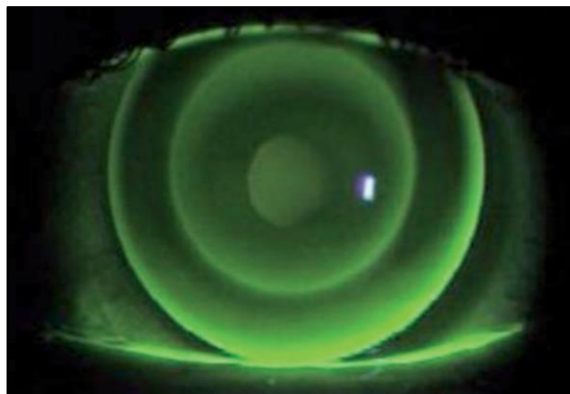


Figure 12 : Aspect lampe à fente avec fluorescéine des lentilles d'orthokératologie [67] .

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

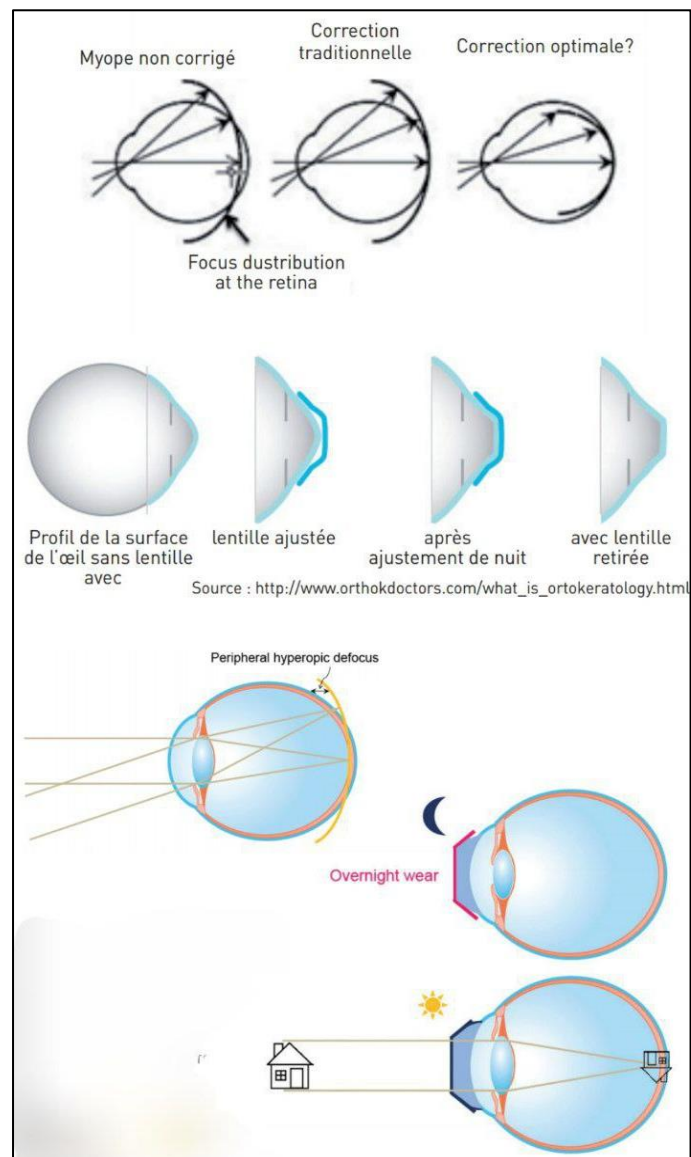


Figure 13 : Effet de correction du shift hypermétropique périphérique par la lentille d'orthokératologie [69].

4. Influence du diamètre de la zone optique sur le défocus périphérique myopique en orthokératologie

L'efficacité du traitement orthokératologique dans le contrôle de la myopie repose en partie sur la modulation du profil de défocus périphérique induit sur la rétine. Une des variables clés pouvant être ajustée est le diamètre de la zone optique postérieure (BOZD) de la lentille. En réduisant ce diamètre, la zone de traitement centrale sur la cornée devient plus étroite, ce qui provoque un déplacement de l'anneau de puissance positive (zone de courbure cornéenne accrue) vers une position plus centrale, potentiellement en chevauchement avec la pupille.

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

Dans une étude menée par Pauné et al [70] , 71 enfants myopes âgés de 10 à 15 ans ont été suivis pendant 12 mois avec des lentilles d'orthokératologie ayant différentes valeurs de BOZD. Les résultats ont révélé une différence significative dans l'allongement axial selon la taille du BOZD. Les enfants portant des lentilles avec un BOZD ≤ 5.0 mm ont présenté une croissance axiale réduite (0.08 ± 0.12 mm/an) comparée à ceux portant des lentilles avec un BOZD > 5.0 mm (0.16 ± 0.11 mm/an). Ce ralentissement de 0.08 mm/an équivaut à une réduction relative d'environ 76 % de la progression axiale.

L'effet du diamètre de l'anneau de puissance positive (PPRD) sur la zone pupillaire a également été étudié. Plus cet anneau est petit et situé à l'intérieur de la pupille, plus l'effet de défocus myopique périphérique est marqué. Lorsque cet anneau recouvrait entièrement la pupille (effet dit "complet"), la progression axiale était la plus faible (0.04 mm/an), contre 0.17 mm/an dans les cas où l'anneau était entièrement en dehors de la pupille [70] .

Ces observations confirment l'importance de l'adéquation entre **la géométrie de la lentille et la taille pupillaire dans le contrôle de la myopie**. Elles suggèrent qu'une stratégie de personnalisation du BOZD en fonction des caractéristiques pupillaires du patient pourrait permettre d'optimiser l'efficacité du traitement en renforçant l'effet de défocus myopique périphérique.

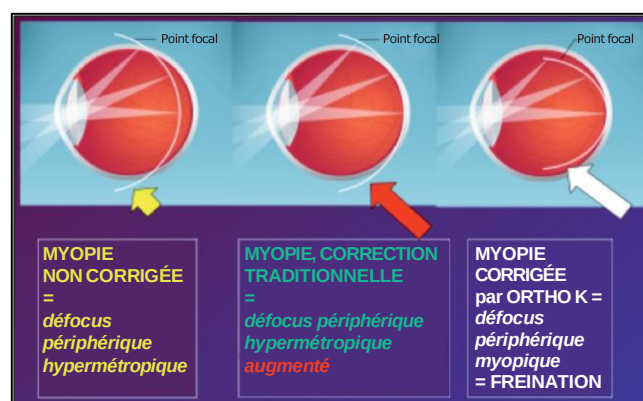


Figure 14 : Défocus dans une myopie non corrigée, une myopie corrigée de façon traditionnelle ou par orthokératologie [71] .

5. Matériaux utilisés en orthokératologie

Les conceptions modernes de lentilles d'orthokératologie s'appuient sur la pratique du port nocturne, ce qui impose des exigences strictes en matière de biocompatibilité et de sécurité physiologique. L'un des critères essentiels est l'utilisation de **matériaux hautement perméables à l'oxygène**, afin de maintenir une oxygénation cornéenne adéquate durant le sommeil. En effet, selon Holden et Mertz [72] , une transmissibilité (**Dk/t**) d'au moins 87 est nécessaire pour limiter le gonflement cornéen nocturne à des niveaux physiologiquement acceptables, comparables à ceux observés en l'absence de lentilles de contact .

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

Une étude de Lum et Swarbrick [73] a confirmé que les matériaux à Dk élevé utilisés pour l'orthokératologie nocturne permettent non seulement de préserver la santé physiologique de la cornée, mais contribuent également à améliorer l'efficacité clinique du remodelage cornéen. L'évolution technologique a permis de passer des premières lentilles rigides en PMMA (polyméthacrylate de méthyle), totalement imperméables à l'oxygène, aux matériaux actuels offrant une perméabilité d'au moins $Dk\ 90 \times 10^{-11}$ (cm^2/s) ($\text{ml O}_2/\text{ml} \times \text{mmHg}$) [74], bien plus adaptés au port prolongé nocturne.

6. Géométrie des lentilles ortho-K

Les lentilles d'orthokératologie se distinguent par une géométrie inversée quadricourbe, contrairement aux lentilles rigides classiques dont la courbure diminue régulièrement du centre vers la périphérie. Cette conception spécifique permet un remodelage contrôlé de la surface cornéenne, avec pour objectif d'obtenir un profil oblatique et une excentricité réduite, proche de zéro, optimisant ainsi la qualité visuelle (Corbett et al., 2019).

Elles sont constituées de plusieurs zones fonctionnelles distinctes :

- ✓ **Zone centrale d'aplatissement** : relativement plate (4 à 5 mm de diamètre), elle assure une vision nette et un bon contraste.
- ✓ **Zone de géométrie inversée (zone de retour)** : plus cambrée que la zone centrale, elle génère des forces hydrodynamiques (pression centrale et traction périphérique) qui induisent le remodelage épithélial.
- ✓ **Zone d'alignement** : adaptée à la périphérie cornéenne, elle stabilise la lentille et assure son bon centrage.
- ✓ **Zone de soulèvement périphérique** : favorise l'échange lacrymal et l'oxygénation, essentielle pour un port nocturne sécurisé.

Afin d'obtenir l'effet souhaité, la conception de ces lentilles prévoit une géométrie très particulière, dite géométrie inversée. La variation du film lacrymal sous la lentille joue un rôle clé dans le mécanisme d'action. L'épaisseur du film est minimale au centre ($\approx 10\ \mu\text{m}$) et augmente vers la périphérie, générant ainsi des forces hydrostatiques différentielles. Cette variation de l'épaisseur de la membrane engendrerait des forces hydrostatiques marquées agissant sur la cornée, avec une pression au centre et une traction à la périphérie.

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

- ✓ La pression positive appliquée sur la zone centrale de la cornée induit un remodelage épithélial, permettant de corriger les amétropies (Myopie, Astigmatisme, Hypermétropie).
- ✓ La pression négative exercée en périphérie contribue à compenser le défocus hypermétropique périphérique [75] .

Pour que ces forces agissent, la lentille ne repose pas sur la cornée, mais sur le film lacrymal, aussi mince soit-il. De plus, ce réservoir lacrymal ne doit pas contenir de bulles d'air susceptibles d'affecter négativement les forces hydrostatiques.

Ces lentilles, rigides et hautement perméables à l'oxygène, permettent une correction réversible, non invasive, et efficace dans la gestion de la myopie évolutive [76] .

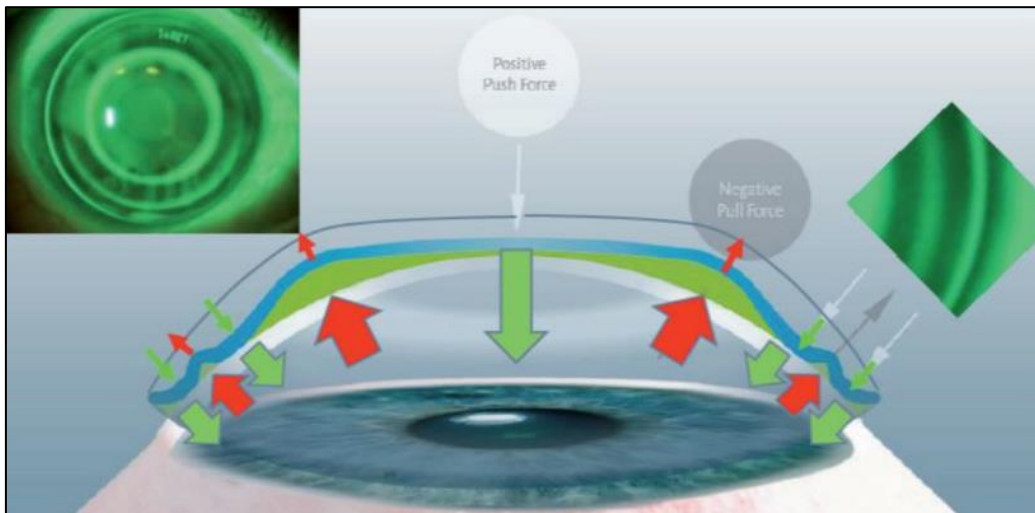


Figure 15: Lentille d'orthokératologie à géométrie inversée utilisée pour le remodelage cornéen nocturne [77] .

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

[67]	Zone de la lentille	Fonction principale
	La Zone Centrale (plate)	Dite zone optique, son diamètre définit la zone de traitement et son rayon r_0 est déterminé en fonction de la myopie à réduire. Exerçant une force positive d'aplatissement des tissus cornéens [67] .
	La zone de retour (Inverse)	Caractérisée par un rayon (RC) inférieur à r_0 , créant une pression hydraulique pour remodeler l'épithélium cornéen et formant un réservoir de larme [67] .
	La Zone d'Alignement	Composée de deux courbures AC1 et AC2, c'est la zone dont les rayons s'alignent sur la cornée paracentrale, cette zone contrôle le centrage et le mouvement de la lentille , pour maintenir la lentille stable sur l'œil [67] .
	La Zone Périphérique de Dégagement	De 0.5 à 0.8 mm de largeur, son rayon est défini par l'Edge lift (AEL) désiré. Elle facilite l'échange lacrymal et le mouvement de la lentille , évite la stagnation [67] .

Tableau 1 : Rôle fonctionnel de chaque zone de la lentille ortho-K .

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

7. Conception d'une lentille d'orthokératologie : éléments clés

Dans le cadre de l'orthokératologie, la sagittal (ou "sag") de la lentille correspond à la somme de la hauteur sagittale de la cornée et de l'épaisseur du ménisque lacrymal (TLT) située entre la surface postérieure de la lentille et la face antérieure de la cornée [67] .

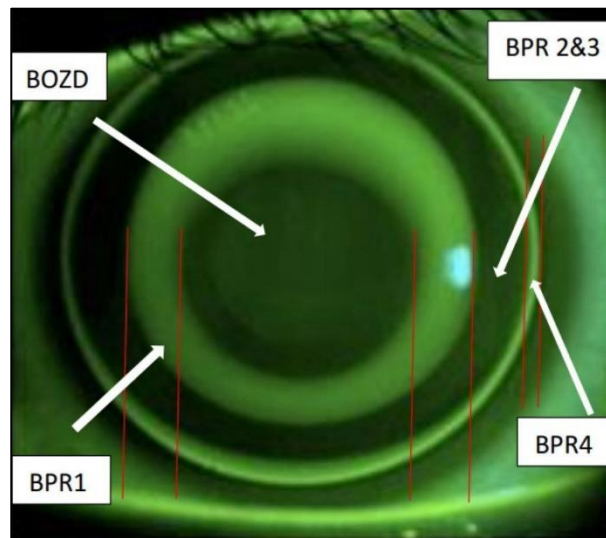


Figure 16: Géométrie inversée dans une lentille d'orthokératologie [78] .

A. Rayon de la zone optique postérieure (ZOP) :

Le rayon de courbure postérieur d'une lentille à surface réfractive unique est appelé zone optique postérieure (ZOP), aussi connue sous le nom de courbe de base. Conformément aux standards internationaux (ISO), la courbure de base est indiquée en millimètres (mm) , bien que les laboratoires et praticiens américains l'indiquent généralement en dioptries [67] .

B. Diamètre de la zone optique postérieure (ZOP) :

Il s'agit du diamètre sur lequel la ZOP est appliquée, autrement dit du diamètre postérieur de la zone optique. Pour les lentilles à quatre ou cinq zones, ce diamètre varie généralement entre 5,50 mm et 7,00 mm, avec 6,00 mm comme valeur la plus fréquente [67] .

C. Première courbe postérieure périphérique (BPR1) :

La courbe immédiatement adjacente à la zone optique postérieure (BOZR) est appelée BPR1. Elle correspond à la courbure du réservoir lacrymal (ou courbure inversée). Cette courbe est plus raide que la courbure centrale, et son degré de serrage est exprimé par rapport au BOZR en dioptries. Notons que la majorité des fabricants ne communiquent pas la valeur exacte de cette courbe [67] .

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

D. Diamètre de la première courbe postérieure périphérique (BPD1) :

Il s'agit du diamètre correspondant à la courbure BPR1, représentant donc l'étendue du ménisque lacrymal ou de la courbure inversée. Dans les lentilles à quatre ou cinq zones, cette largeur est généralement comprise entre 0,50 mm et 1,00 mm, selon le design [67] .

E. Deuxième et troisième courbes postérieures périphériques (BPR2 et BPR3) :

Dans les lentilles rigides traditionnelles, ces courbes servent de zones de dégagement périphérique ou de relèvement des bords. En orthokératologie, elles sont conçues pour s'aligner progressivement avec la cornée, assurant un bon centrage de la lentille. Ces courbes sont légèrement plus cambrées que la périphérie cornéenne [67] .

- Une lentille à quatre zones présente généralement une seule courbe d'alignement, d'environ 1,00 mm de large, avec une forme sphérique, asphérique ou hyperbolique [67].
- Une lentille à cinq zones comporte deux courbes d'alignement [67] :
 - ✓ BPR2, de géométrie plus cambrée.
 - ✓ BPR3, légèrement plus plate que BPR2 et alignée avec la périphérie cornéenne.
 - ✓ La largeur combinée des deux est également d'environ 1,00 mm, chaque courbe occupant la moitié.

F. Quatrième courbe postérieure périphérique (BPR4) :

Dernière courbe située à la périphérie postérieure de la lentille, BPR4 forme la zone de relèvement du bord. Elle permet un dégagement optimal pour le mouvement de la lentille. Sa largeur est généralement comprise entre 0,30 et 0,50 mm selon les conceptions [67] .

G. Puissance de la lentille :

Pour compenser la récupération partielle de la myopie (régression cornéenne) au cours de la journée et garantir une bonne acuité visuelle jusqu'au soir, une sur correction de 0,50 à 0,75 D est souvent nécessaire. Ainsi, lors du calcul de la puissance cible, on ajoute en général $-0,75$ D à l'amétropie initiale. Par exemple, pour une myopie de $-1,50$ D, la lentille sera conçue pour corriger $-2,25$ D [67] .

La fréquence de port peut être ajustée en fonction de la réfraction complémentaire mesurée après un mois de traitement. Si, par exemple, une réfraction de $+0,25$ D est constatée en fin de journée, il est envisageable de

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

réduire la fréquence de port (par exemple, une nuit sur deux). Cette fréquence reste individualisée selon les besoins de chaque patient [67] .

8. Protocole d'adaptation en orthokératologie :

A. Sélection des patients :

La sélection des patients, doit respecter certains critères techniques et cliniques afin de garantir des résultats satisfaisants.

Le prescripteur doit tenir compte des caractéristiques anatomiques, physiologiques et pathologiques suivantes [67] :

- ✓ Myopie légère à modérée : comprise entre -0,75 D et -7,50 D (variable selon le Laboratoire) .
- ✓ Astigmatisme purement cornéen .
- ✓ Astigmatisme < 3.50 D .
- ✓ Astigmatisme interne < 0,75 D .
- ✓ Excentricité cornéenne supérieure ou égale à 0.50 .
- ✓ Cycle de sommeil régulier (au moins 6-7 h par nuit) .
- ✓ Absence d'antécédents de pathologie oculaires .
- ✓ Absence d'allergies sévères .
- ✓ Motivation importante du patient..

B. Étapes de l'adaptation en orthokératologie

L'adaptation en orthokératologie repose sur une démarche rigoureuse visant à assurer à la fois l'efficacité du traitement réfractif et la sécurité du patient. Elle se déroule en plusieurs étapes clés [67] :

A. Examen préliminaire complet

Avant toute adaptation, un bilan visuel et oculaire complet est réalisé afin de vérifier la compatibilité du patient avec l'orthokératologie. Cet examen comprend [67] :

- ✓ Réfraction objective et subjective (évaluation de la myopie, astigmatisme...) .
- ✓ Kératométrie et topographie cornéenne (analyse de la forme cornéenne) .
- ✓ Évaluation de la qualité et quantité de larmes (test de Schirmer, BUT) .

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

- ✓ Biomicroscopie à la lampe à fente.
- ✓ Mesure de l'HVID (Horizontal Visible Iris Diameter).
- ✓ Mesure de la longueur axiale (biométrie optique) .

B. Sélection des lentilles

Selon les paramètres cornéens et réfractifs, les lentilles sont choisies [67] :

- ✓ Par un logiciel de conception (empirique, topographie-guidée ou hybride)
- ✓ Ou par essais en cabinet (boîte d'essai)

Les paramètres principaux utilisés sont : les rayons de courbure de la cornée , l'excentricité , l'HVID et le diamètre pupillaire .

- ✓ Sélection de la courbure de base (BC) par un logiciel.
- ✓ Choix du diamètre total, de la zone optique et du matériau (Dk élevé).

C. Premier essai et évaluation

Un premier essai est effectué en cabinet. L'adaptation est évaluée par [67] :

- ✓ Observation de la lentille sur l'œil (mobilité, centrage, confort)
- ✓ Analyse du motif fluorescéinique pour vérifier les différentes zones (la zone optique, inverse, d'alignement et d'atterrissage)
- ✓ Réajustement si nécessaire (choix d'un autre rayon, ajustement de courbes périphériques...) .

Résultat idéal :

Une image fluo typique en « bullseye » bien centré, avec un atterrissage doux en périphérie et une bonne stabilité.

D. Port nocturne et suivi immédiat

Le patient est invité à porter les lentilles durant une première nuit de sommeil (6 à 8 heures). Un contrôle dès le lendemain matin est obligatoire [67] :

- ✓ Évaluation de l'acuité visuelle sans correction .
- ✓ Réfraction post-port .
- ✓ Topographie pour évaluer la zone de traitement .
- ✓ Contrôle de l'intégrité cornéenne .

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

Résultat idéal :

Amélioration partielle de la vision sans lentilles, absence de kératite ou d'irritation, début de l'aplatissement central visible à la topographie .

E. Suivi régulier

Surveiller la progression du traitement et détecter tout effet indésirable ,des visites sont programmées [67] :

- ✓ 1 semaine, 1 mois, puis tous les 3 à 6 mois .
- ✓ Contrôle de la vision, de la topographie, de la surface oculaire et de la compliance .
- ✓ Surveillance de la longueur axiale chez les jeunes myopes en évolution .

Résultat idéal :

Vision stable, lentille bien centrée, absence de complications, et début de stabilisation de la myopie.

F. Ajustements éventuels

Si le traitement est insuffisant ou mal centré, des ajustements sont réalisés [67] :

- ✓ Modification du rayon de courbure central
- ✓ Ajustement du diamètre de zone de traitement
- ✓ Modifications des paramètres : courbure, zone optique, diamètre, atterrissage.
- ✓ Changements si décentration, sur- ou sous-corrrection, inconfort, ou réponse cornéenne excessive.
- ✓ Personnalisation des courbes périphériques (ACT : épaisseur de dégagement antérieur, quadrant spécifiques...)

G. Éducation et hygiène

Le patient (et les parents, chez les enfants) doit être formé aux règles d'hygiène et d'entretien [67] :

- ✓ Manipulation sécurisée des lentilles .
- ✓ Nettoyage, décontamination, rinçage .
- ✓ Rappel des signes d'alerte (inconfort, rougeur, baisse visuelle...) .

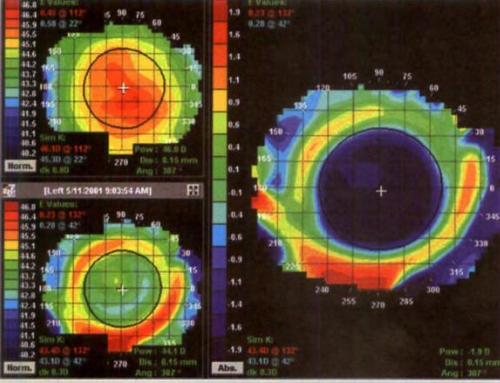
9. Evaluation de l'adaptation

Avant la pose de la lentille, il est recommandé d'instiller une goutte de sérum physiologique sans conservateur ou un collyre lubrifiant. Cela permet d'améliorer le confort initial et de faciliter l'adaptation de la lentille sur la surface oculaire . L'évaluation de l'ajustement de la lentille d'orthokératologie repose ensuite sur plusieurs critères essentiels [67]:

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

- A. Centrage :** Une centration précise de la lentille est primordiale. Un décentrement peut diminuer l'efficacité de la correction réfractive nocturne et engendrer des aberrations optiques telles que les halos ou une vision floue
- B. Mobilité :** La lentille doit pouvoir se déplacer d'environ 1 mm après le clignement. Une absence de mobilité peut signaler un appui excessif sur la cornée, situation à éviter pour prévenir toute atteinte épithéliale .
- C. Analyse à la fluorescéine :**
- **Zone centrale d'aplatissement :** Elle doit être centrée à la fois horizontalement et verticalement, avec un diamètre idéal compris entre 3 et 5 mm. Une absence de cette zone indique souvent une lentille trop serrée, tandis qu'une zone sombre excessive ou des signes d'épithéliopathie peuvent traduire un aplatissement excessif [67] .
 - **Réservoir de larmes :** Il doit présenter une largeur régulière comprise entre 0,5 et 1 mm, sans bulles d'air visibles [67].
 - **Zone d'alignement :** Elle doit épouser correctement la topographie de la cornée paracentrale sur une largeur approximative de 1 à 1,5 mm [67] .
 - **Dégagement périphérique :** Elle doit permettre un soulèvement de 0,5 à 0,8 mm pour garantir un échange lacrymal optimal tout en assurant la stabilité de la lentille [67] .

10. Topographie cornéenne : outil diagnostique et guide d'adaptation en Ortho-K

Motif topographique	Caractéristiques	Causes principales	Conséquences cliniques	Ajustements
Œil de bœuf (Bull's Eye)  [67]	Aplatissement central symétrique, bien centré sur l'axe visuel, entouré d'un anneau périphérique présentant une courbure plus importante. Ce motif traduit une redistribution épithéliale équilibrée et régulière, typique d'une bonne adaptation en orthokératologie.	Bonne adaptation de la lentille	Correction myopique optimale ; vision stable	Suivi normal ; ce motif est le but recherché

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

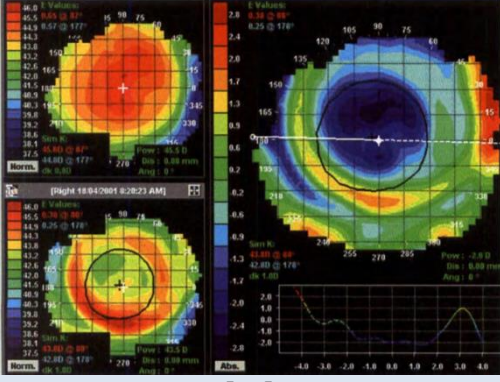
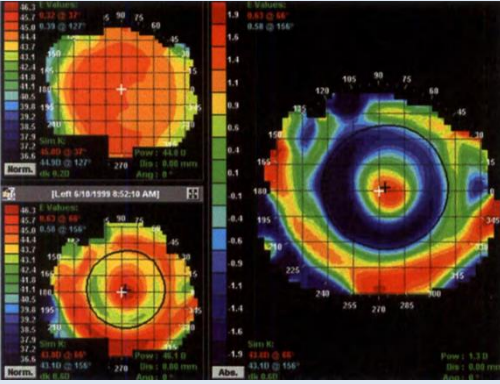
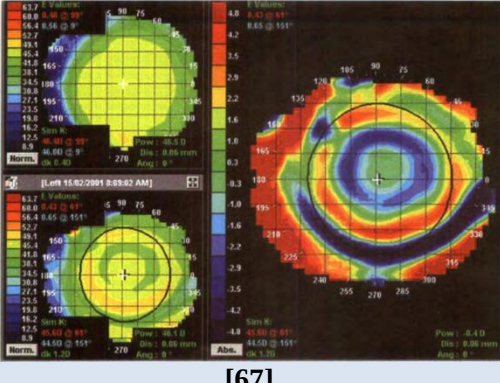
Visage souriant (Smiley Face)  [67]	Aplatissement décentré vers le haut ; un bombement localisé en croissant dans la zone inférieure	Décentration inférieure de la lentille ; mauvaise fermeture palpébrale ; lentille plate	Aberrations visuelles ; vision floue ou fluctuante	Réajuster la géométrie (réduire le diamètre, augmenter le rayon de courbure de base) ; vérifier la posture de sommeil et la fermeture palpébrale
Îlot central (Central Island)  [67]	Cambrure accrue au centre de la cornée (zone rouge/orange)	Lentille trop serrée en périphérie ; mauvaise adaptation géométrique	Halos, éblouissements ; inconfort ; myopie non corrigée	Changer la lentille pour une géométrie plus relâchée ou augmenter le diamètre de zone d'aplatissement
Visage souriant + faux îlot  [67]	Un croissant inférieur de cambrure accrue + élévation centrale apparente mais non réelle	Prise de mesure trop précoce après retrait ; lentille décentrée	Risque de mauvaise interprétation ; traitement jugé à tort inefficace	Attendre au moins 30 min après le retrait avant topographie ; analyser centrage lenticulaire ; réadapter si motif persistant

Tableau 2 : Comparaison des motifs topographiques courants en orthokératologie .

Chapitre III : L'orthokératologie comme méthode de contrôle de la myopie évolutive

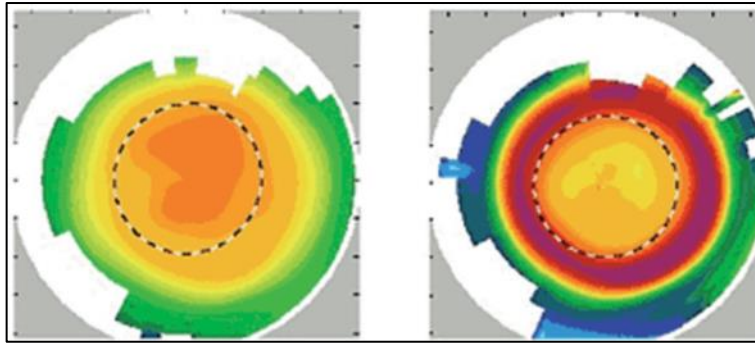


Figure 17 : Aspect topographique avant-après le port de l'orthokératologie [79] .

11.Conclusion :

L'orthokératologie repose sur un ensemble de principes optiques, biomécaniques et cliniques rigoureux. Sa mise en œuvre nécessite une maîtrise précise des matériaux, des paramètres géométriques des lentilles et de l'interprétation topographique. En assurant une correction efficace de la myopie et un potentiel ralentissement de sa progression, l'Ortho-K s'inscrit comme une alternative prometteuse, à condition d'une adaptation individualisée et d'un suivi régulier. Les développements technologiques récents renforcent encore son efficacité et sa sécurité dans la pratique contemporaine.

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'Étude

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

1. Introduction

La myopie évolutive représente aujourd'hui un enjeu majeur de santé publique, touchant un nombre croissant d'individus à l'échelle mondiale. Ce trouble visuel est caractérisé par une augmentation progressive de la longueur axiale du globe oculaire, ce qui augmente significativement le risque de complications oculaires graves telles que le décollement rétinien, le glaucome et la cataracte nucléaire précoce [67] .

Dans le cadre des stratégies de contrôle de la progression myopique, diverses approches ont été proposées, incluant l'usage de collyres atropiniques, de verres optiques à défocus myopique (tels que les verres périfocaux), ainsi que de lentilles de contact spécialisées. Parmi celles-ci, l'orthokératologie (Ortho-K) s'est imposée comme une méthode non chirurgicale efficace, visant à remodeler temporairement la cornée durant le sommeil afin de corriger la myopie et de ralentir son évolution.

Notre étude clinique s'inscrit précisément dans cette démarche. Nous avons analysé un échantillon de patients présentant une myopie évolutive, répartis selon différents âges, et suivis sur une période donnée. L'objectif principal était d'évaluer l'efficacité de l'orthokératologie en tant que méthode de contrôle de la myopie évolutive.

Cette étude vise ainsi à contribuer à une meilleure compréhension des protocoles de prise en charge de la myopie évolutive, dans une perspective à la fois préventive et thérapeutique, en intégrant des données cliniques objectives et des observations issues du terrain.

2. Objectif de l'étude

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'efficacité du traitement orthokératologique dans la prise en charge de la myopie évolutive, à travers un suivi clinique rétrospectif des patients sur une période de 6 à 12 mois.

Ce travail repose sur l'analyse des données cliniques recueillies avant et après l'instauration du traitement, incluant notamment :

- La réfraction objective (à l'aide d'un réfractomètre automatique).
- La réfraction subjective (par test d'acuité visuelle à l'œil nu).
- La mesure de l'addition myopique périphérique induite par la lentille ortho-K afin d'évaluer son impact sur le ralentissement de la progression myopique.

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

L'étude vise également à comparer les résultats obtenus avec les données de la littérature concernant l'efficacité de l'orthokératologie dans le ralentissement de la progression myopique. Une attention particulière est portée à l'analyse des facteurs pouvant influencer l'efficacité du traitement, tels que :

- L'âge du patient.
- Le degré de myopie initial .
- Le niveau d'adhésion au traitement (observance du port nocturne des lentilles).
- Le suivi régulier et la stabilité des paramètres biométriques.

À travers cette analyse, l'étude ambitionne de renforcer les données cliniques locales sur l'efficacité de l'orthokératologie et d'apporter des éléments de réflexion pour une meilleure personnalisation du suivi thérapeutique des jeunes patients myopes.

3. Méthodologie d'étude

Cette étude clinique s'appuie sur une analyse rétrospective des données recueillies durant une période de stage de trois mois, réalisée au sein de la clinique spécialisée Ibn El Haythem. Il s'agit d'une étude observationnelle portant sur des cas cliniques de patients atteints de myopie évolutive, ayant été pris en charge par un traitement par orthokératologie .

Dans un premier temps, nous avons contribué à la définition du protocole d'étude, notamment en participant à l'élaboration des critères d'inclusion et d'exclusion des patients. L'analyse a porté exclusivement sur des sujets ayant été suivis selon les protocoles standardisés de prise en charge de la myopie évolutive par orthokératologie.

Nous avons ensuite participé activement à l'évaluation initiale des patients déjà pris en charge, en consultant leurs dossiers et en recueillant les données cliniques pertinentes. Cette phase a inclus des mesures de , l'acuité visuelle , la réfraction objectives et subjective, La mesure de l'addition myopique périphérique , ainsi que la topographie .

Grâce à ces différentes étapes, nous avons pu constituer une base de données clinique fiable, permettant une analyse rigoureuse des cas sélectionnés. L'objectif principal était d'évaluer, à partir de ces dossiers existants, l'efficacité du traitement orthokératologique dans le ralentissement de la progression myopique, en tenant compte des paramètres morphologiques et visuels au fil du suivi.

Cette immersion dans la réalité de la pratique clinique nous a permis d'acquérir une expérience concrète dans la gestion des patients atteints de myopie évolutive, ainsi que dans l'approche méthodologique d'une étude clinique rétrospective structurée.

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

4. Critères de sélection des patients

La rigueur dans la sélection des participants constitue un élément fondamental pour assurer la validité scientifique et la fiabilité des résultats de l'étude. Dans le cadre de notre travail sur la myopie évolutive, nous avons établi des critères physiologiques, d'inclusion et d'exclusion précis, permettant de garantir que les patients retenus répondaient pleinement aux objectifs méthodologiques de l'étude.

A. Critères physiologiques

- ✓ Pas de pathologie oculaire .
- ✓ Pas de maladie systémique pouvant affecter l'oeil .
- ✓ Diamètre pupillaire ≤ 4 mm (chez l'adulte) .
- ✓ Personne motivées et rigoureuses .

B. Critères d'inclusion

- ✓ Les patients doivent être âgés de 6 à 18 ans (période de croissance active de la myopie).
- ✓ Les patients doivent présenter une myopie évolutive supérieure à -0,75 D.

C. Critères d'exclusion

- ✓ Patients ayant une pathologie oculaire préexistante autre que la myopie évolutive (par exemple, trouble de vision binoculaire, glaucome, rétinopathie, strabisme, cataracte, etc.).
- ✓ Patients ayant des antécédents d'intervention chirurgicale oculaire (par exemple, chirurgie de la cataracte, chirurgie réfractive, etc.)
- ✓ Patients présentant des anomalies systémiques pouvant affecter la vision (par exemple, diabète non contrôlé, hypertension artérielle sévère, etc.).
- ✓ Patients sous traitement avec une influence neurologique
- ✓ Astigmatisme résiduel (interne)
- ✓ Cornée très plate .
- ✓ Contre-indications au port de lentilles de contact.
- ✓ Patient à faible excentricité cornéenne .

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

Il est important de noter que ces critères d'exclusion ont été définis pour s'assurer que les patients inclus dans l'étude ne présentaient pas d'autres conditions médicales ou ophtalmologiques qui pourraient fausser les résultats ou affecter la sécurité des participants.

D. Taille de l'échantillon

- ✓ Estimation de 20 patients.
- ✓ Dans le cadre de notre étude, l'analyse statistique a été réalisée à l'aide de la plateforme en ligne Julius ,outil interactif conçu spécifiquement pour les recherches cliniques et biomédicales. Cette plateforme nous a permis de réaliser plusieurs étapes essentielles de traitement des données ..

E. Instrumentation et matérielle

Dans cette section, nous présentons l'ensemble des instruments et équipements utilisés pour la collecte des données cliniques et le suivi des patients au cours de notre étude sur la prise en charge de la myopie évolutive par l'orthokératologie. Le choix du matériel est fondamental pour assurer la précision des mesures et la reproductibilité des résultats.

Les principaux dispositifs utilisés incluent :

- ✓ **Biomètre optique (IOL Master)** : pour la mesure précise de la longueur axiale de l'œil, donnée essentielle pour évaluer l'évolution de la myopie.



Figure 18: Biomètre optique (IOL Master) utilisé pour le suivi précis de la longueur axiale de l'œil [80].

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

- ✓ **Réfractomètre automatique** : pour effectuer une réfraction objective initiale et suivre l'évolution de la correction.
- ✓ **Kératomètre ou topographe cornéen** : pour analyser la courbure cornéenne avant et après adaptation des lentilles d'orthokératologie.



Figure 19: Topographe cornéen de type Scheimpflug (Pentacam) utilisé pour l'analyse tridimensionnelle de la cornée avant et après l'adaptation en orthokératologie [80] .

- ✓ **Lampe à fente** : pour l'examen biomicroscopique de l'œil, permettant de vérifier l'état de la surface oculaire et l'ajustement des lentilles.



Figure 20 : Lampe à fente utilisée pour l'examen biomicroscopique de l'œil, notamment l'évaluation de la surface oculaire et l'ajustement lentillaire [80] .

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

- ✓ **Tests de d'acuité visuelle** : pour mesurer l'acuité visuelle corrigée ou non corrigée à chaque visite de suivi.



Figure 21: projecteur d'échelle d'acuité visuelle permettant l'évaluation de l'acuité visuelle à chaque visite de suivi [80] .

- ✓ **La boîte d'essai** qui permet d'évaluer précisément la réfraction de base avant l'initiation du traitement en orthokératologie, notamment chez les enfants ou en cas de myopie élevée. Et **le réfracteur** qui facilite un suivi rapide et standardisé de l'évolution réfractive, essentiel pour ajuster le protocole de prise en charge en fonction des résultats.



Figure 22: Boîte d'essai et réfracteur , la boîte d'essai permet d'évaluer précisément la réfraction de base, tandis que le réfracteur facilite un suivi standardisé de l'évolution visuelle [80] .

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

- ✓ **Tonomètre à air ou à aplanation** : pour mesurer la pression intraoculaire et écarter tout facteur de risque supplémentaire.



Figure 23 : Tonomètre de goldman (à aplanation) utilisé pour mesurer la pression intraoculaire et surveiller les risques associés [80] .

- ✓ **Lentilles d'orthokératologie (DRLM : Double Réservoir de Larmes Myopes)**: fournies par le laboratoire partenaire, adaptées selon les paramètres cornéens et réfractifs de chaque patient.



Figure 24: Lentilles d'orthokératologie (modèle DRLM – Double Réservoir de Larmes Myopes), fournies par le laboratoire Precilens, adaptées selon les paramètres cornéens et réfractifs de chaque patient [81] .

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

5. Suivi clinique et mesures réalisées

1. Durée du suivi

- ✓ Période de 6 à 12 mois.

2. Paramètres à mesurer

- ✓ Acuité visuelle .
- ✓ Réfraction objective (réfractomètre automatique) et subjective (test de vision).
- ✓ Diamètre de la zone optique centrale (zone de traitement)- ortho-K .
- ✓ Mesure de la puissance de l'addition mi-périphérique après la dernière topographie .

3. Type de lentille ortho-k utilisée

Spécificités de la DRLM : Double Réservoir de Larmes Myopes

La lentille DRLM precilens présente plusieurs spécificités qui en font un dispositif particulièrement performant dans la prise en charge de la myopie évolutive. Grâce à sa conception innovante, **elle offre une meilleure stabilisation sur la cornée, un centrage optimisé et une efficacité renforcée du traitement. De plus, son design facilite l'analyse à la fluorescéine, ce qui améliore l'évaluation de l'ajustement clinique.**

Cette lentille permet également la correction de myopies plus élevées que les modèles standards. **Un autre avantage notable est la possibilité d'ajuster le diamètre de la zone de traitement**, ce qui contribue à un meilleur contrôle de la progression myopique.



Figure 25: Lentilles d'orthokératologie (modèle DRLM – Double Réservoir de Larmes Myopes), fournies par le laboratoire Precilens, adaptées selon les paramètres cornéens et réfractifs de chaque patient [81] .

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

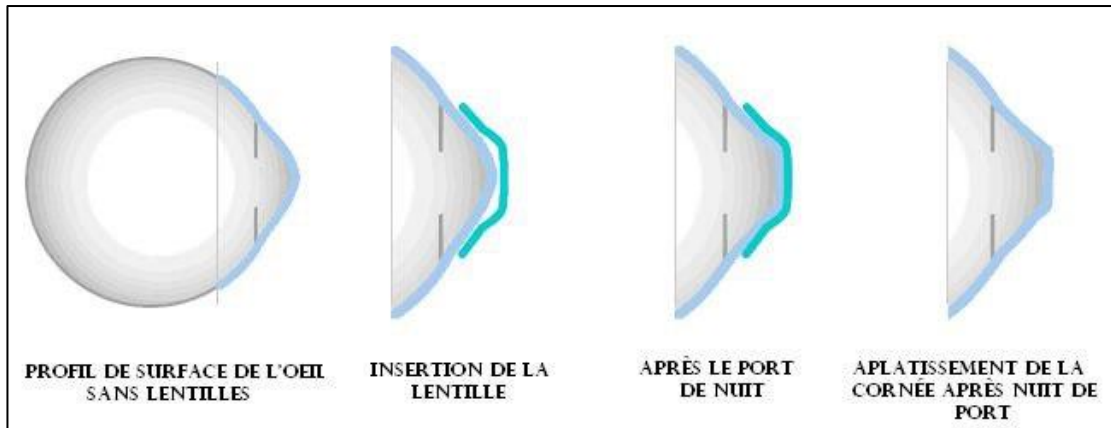


Figure 26: Évolution de la surface cornéenne avec l'utilisation de lentilles orthokératologiques (Ortho-K) [79] .

6. Discussions et résultats des cas cliniques

L'étude rétrospective a été réalisée au sein de la clinique ophtalmologique Ibn El Haythem à Alger, spécialisée dans la prise en charge des troubles visuels et notamment de la myopie évolutive. Les données ont été extraites des dossiers médicaux de 19 patients ayant bénéficié d'un traitement par orthokératologie durant la période de 6 à 12 mois, conformément aux critères d'inclusion définis. L'ensemble de ces patients présentait une atteinte bilatérale, ce qui porte le nombre total d'yeux analysés à 38.

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

		La moyenne	L'écart type	La valeur maximale	La valeur minimale
Age		18,21	9,96	49	7
Le degré de la myopie initiale (en dioptrie δ)		-3,34	1,31	-1	-6,75
Réfraction post ortho-k (J30) (en dioptrie δ)		-0,68	1,57	4,75	-5
Mesure puissance de l'addition mi-périphérique après la dernière topographie (en dioptrie δ)	Post HORIZ N	6,66	2,41	12,85	2,49
	Post HORIZ T	6,61	2,34	13,07	2,58
	Post VRT 90°	7,64	2,94	15,12	2,56
	Post VRT 270°	7,16	2,62	15,71	1,75
Diamètre central de la zone optique (mm)	HORIZ	4,06	0,61	5,49	3,06
	VRT	3,70	0,67	5,27	2,12

Tableau 3: Les données collectées durant la prise en charge des cas cliniques.

a) Répartition des patients selon le genre :

L'étude rétrospective a été réalisée au sein de la clinique ophtalmologique Ibn El Haythem à Alger, spécialisée dans la prise en charge des troubles visuels et notamment de la myopie évolutive. Les données ont été extraites des dossiers médicaux de 19 patients ayant bénéficié d'un traitement par orthokératologie durant la période de 6 à 12 mois, conformément aux critères d'inclusion définis. L'ensemble de ces patients présentait une atteinte bilatérale, ce qui porte le nombre total d'yeux analysés à 38.

L'échantillon est composé de 19 patients atteints de myopie évolutive et ayant respecté les critères d'inclusion définis. L'analyse démographique de cet échantillon révèle une répartition inégale entre les sexes. Comme l'illustre le graphique circulaire ci-dessous, 65,4 % des patients sont de sexe féminin (F),

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

contre 34,6 % de sexe masculin (M). Cette prédominance féminine pourrait refléter soit une plus grande prévalence de la myopie chez les femmes dans cette population, soit une plus grande proportion de femmes, à consulter pour ce trouble.

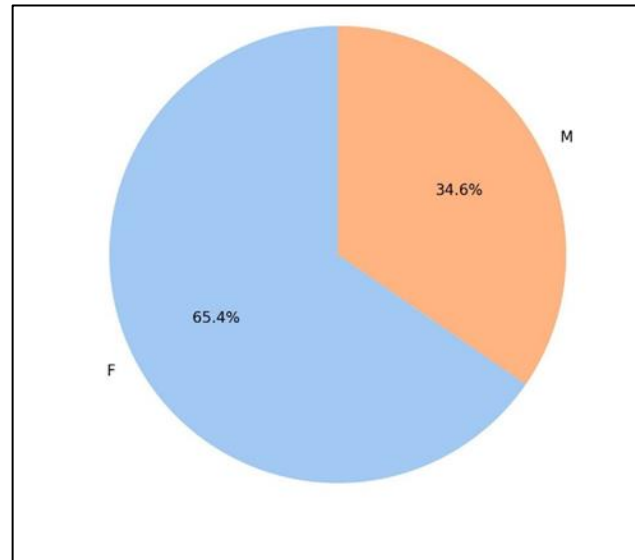


Figure 27: Distribution des cas clinique selon le sexe .

La première hypothèse reste plus plausible, car elle est en corrélation avec les résultats obtenus dans une étude réalisée en chine en 2022 dans la ville de Weifang [82] : elle a donc révélé que la prévalence de la myopie était de 75,35% chez les élèves, avec une prévalence de la myopie élevée de 7,59% chez les filles contre 6,43% chez les garçons.

Une autre étude réalisée en norvège en 2002 [83] : la myopie était significativement plus élevée chez les femmes âgées de 20 à 25 ans (36,4%) que chez les hommes âgés de 40 à 45 ans (28,1%).

Les causes de cette différence de prévalence restent difficile à prouver, mais il serait possible que certains facteurs sont contributifs à cette répartition, comme :

- ✓ La puberté précoce chez les filles : qui pourrait influencer la croissance oculaire et la myopie.
- ✓ Le comportement visuel : Une plus grande tendance des filles à passer du temps à lire ou à faire des activités en vision de près et en intérieur.
- ✓ Facteurs hormonaux : notamment les niveaux d'oestrogènes , qui pourraient affecter la forme de l'œil pendant l'adolescence.

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

b) Répartition des patients selon l'âge

La distribution des patients selon les tranches d'âge est représentée dans le graphique ci-dessous. La tranche d'âge la plus représentée est celle des 11 à 20 ans, avec 12 patients, soit la majorité de l'échantillon. Elle est suivie par les tranches 0-10 ans, 21-30 ans et 31-40 ans, comptant chacune 4 à 5 patients. La tranche d'âge plus élevée, est faiblement représentée, car elle ne concerne pas notre étude sur l'évolution myopique.

Cette distribution reflète la prévalence accrue de la myopie évolutive chez les enfants et les adolescents, qui sont les principales cibles de l'orthokératologie du fait de leur croissance oculaire encore active. Le pic observé entre 11 et 20 ans coïncide avec la période où la progression myopique est généralement la plus rapide.

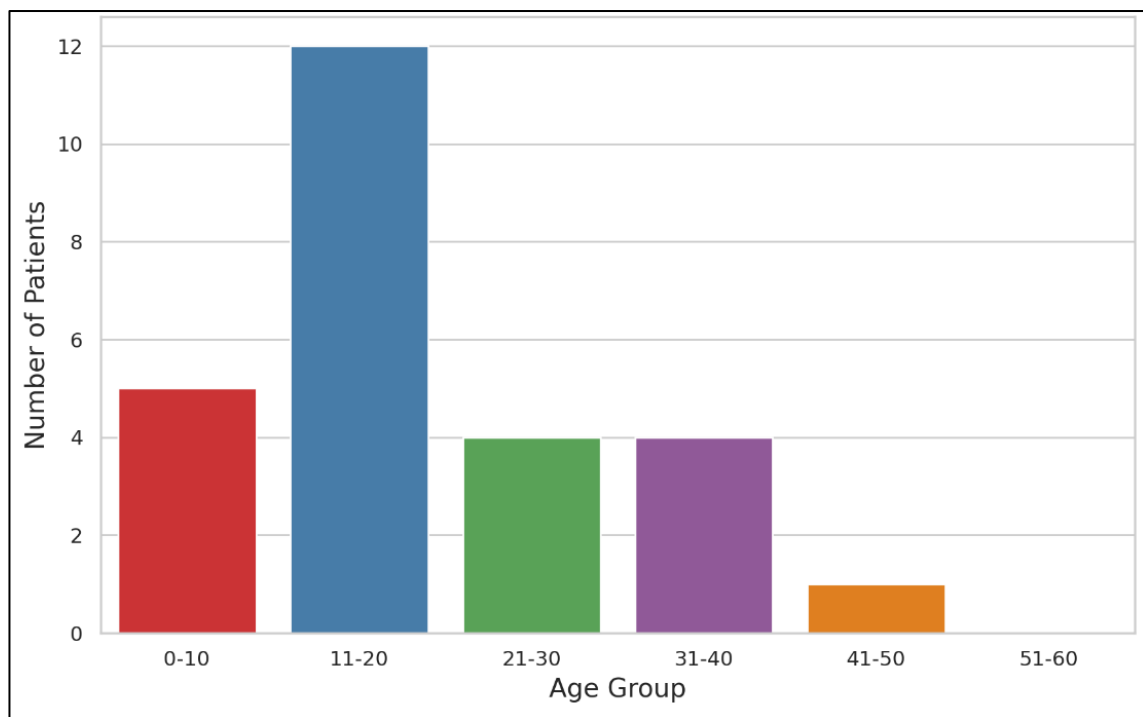


Figure 28: La distribution des patients selon les tranches d'âge .

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

c) La sévérité de la myopie selon le sexe :

Le graphique en boîte ci-dessous illustre la répartition des degrés de myopie chez les patients de sexe féminin (F) et masculin (M). On observe que :

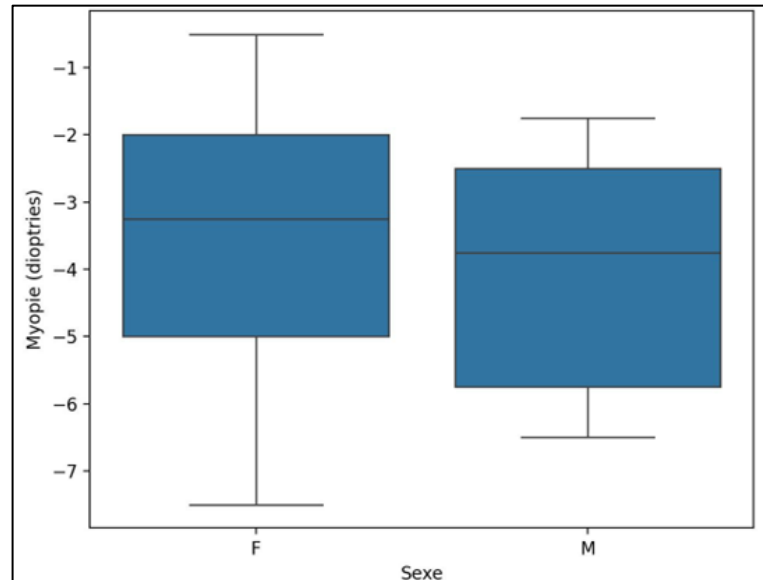


Figure 29: La répartition des degrés de myopie selon le sexe .

- ✓ Chez les femmes, la myopie varie entre environ -1 D et -7 D, avec une médiane située autour de -3,5 D. L'étendue interquartile (Q1 à Q3) est relativement large, ce qui témoigne d'une dispersion notable des valeurs.
- ✓ Chez les hommes, les valeurs s'étendent de -2 D à environ -6,5 D, avec une médiane proche de -4 D. La répartition est également étendue mais légèrement plus concentrée autour de la médiane par rapport aux femmes.

La comparaison des deux sexes montre une médiane de myopie légèrement plus marquée chez les hommes, bien que les deux groupes présentent une variabilité importante. Cette distribution suggère que, dans cet échantillon, la sévérité de la myopie est comparable entre les sexes, sans différence flagrante. Aucune valeur aberrante n'est identifiable visuellement, ce qui confirme une distribution assez homogène dans les deux groupes.

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

d) La sévérité de la myopie selon l'âge :

Le graphique ci-dessous présente la répartition des degrés de myopie en fonction des tranches d'âge des patients.

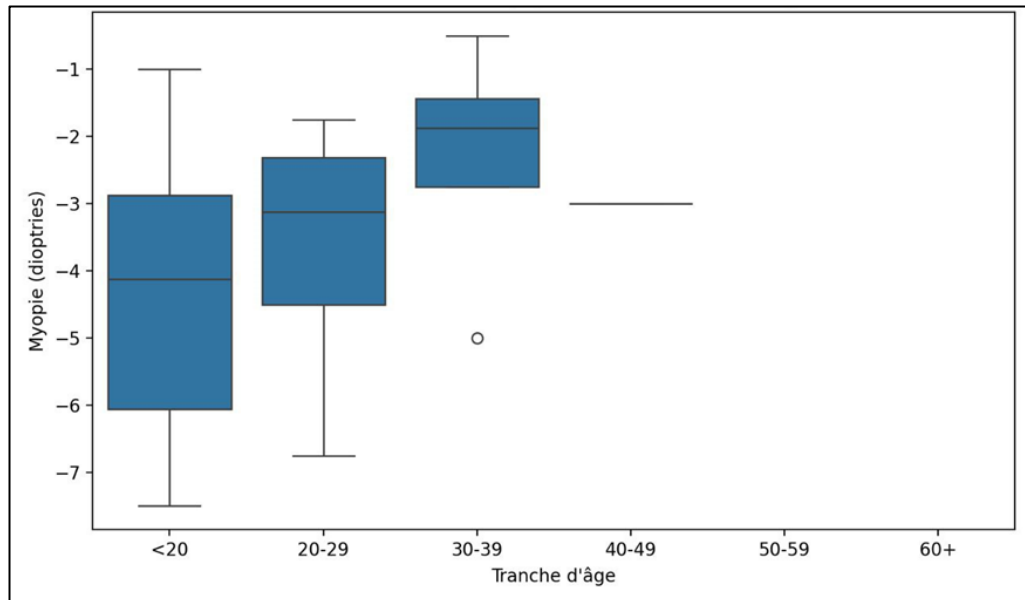


Figure 30: Présente la répartition des degrés de myopie en fonction des tranches d'âge des patients

- ✓ Chez les patients de moins de 20 ans (<20), la myopie est globalement plus marquée, avec des valeurs allant jusqu'à -7 D, une médiane autour de -4 D, et une large dispersion. Cette tranche montre la plus grande variabilité, ce qui reflète une progression rapide et hétérogène de la myopie chez les jeunes.
- ✓ Dans la tranche 20-29 ans, la myopie reste importante, avec une médiane légèrement supérieure (autour de -3 D) et des valeurs s'étendant jusqu'à environ -6,5 D. La variabilité est toujours présente, bien que légèrement réduite par rapport à la tranche précédente.
- ✓ Pour les 30-39 ans, la myopie semble moins sévère, avec une médiane proche de -2 D et une plage de variation plus restreinte. Un point aberrant (outlier) est visible, représentant un cas isolé de forte myopie.
- ✓ À partir de 40 ans, les données deviennent très limitées : une seule valeur est représentée dans la tranche 40-49 ans, et aucune donnée n'est disponible pour les tranches 50-59 ans et 60+. Cela peut s'expliquer par le fait que l'orthokératologie est rarement indiquée au-delà de 40 ans, en raison de la stabilité oculaire ou du développement de presbytie.

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

Interprétation : On observe une tendance générale à une réduction de la sévérité de la myopie avec l'âge, ce qui peut être dû à deux facteurs : d'une part, la progression de la myopie est plus active chez les jeunes, comme l'indique l'étude CroMyop : [84] Qui révèle que les enfants âgés entre 7 et 9 ans présentaient les taux de progression les plus rapides de la myopie, avec une moyenne de -0.36D par an. D'autre part, les sujets plus âgés inclus dans l'étude ont été sélectionnés parmi des cas moins sévères ou stabilisés.

e) Diamètre de la zone optique selon le groupe de myopie

Afin d'évaluer l'impact de la correction orthokératologique sur la zone de traitement cornéenne, le diamètre de la zone optique a été mesuré à la fois dans l'axe horizontal (ZOH) et vertical (ZOV) à partir des topographies cornéennes post-traitement.

Les patients ont été divisés en deux groupes selon l'amétropie initiale : **ceux présentant une myopie inférieure ou égale à 4 dioptries ($\leq 4D$)** et **ceux avec une myopie supérieure à 4 dioptries ($> 4D$)**.

Le graphique ci-dessous illustre les moyennes et écarts-types de ces diamètres :

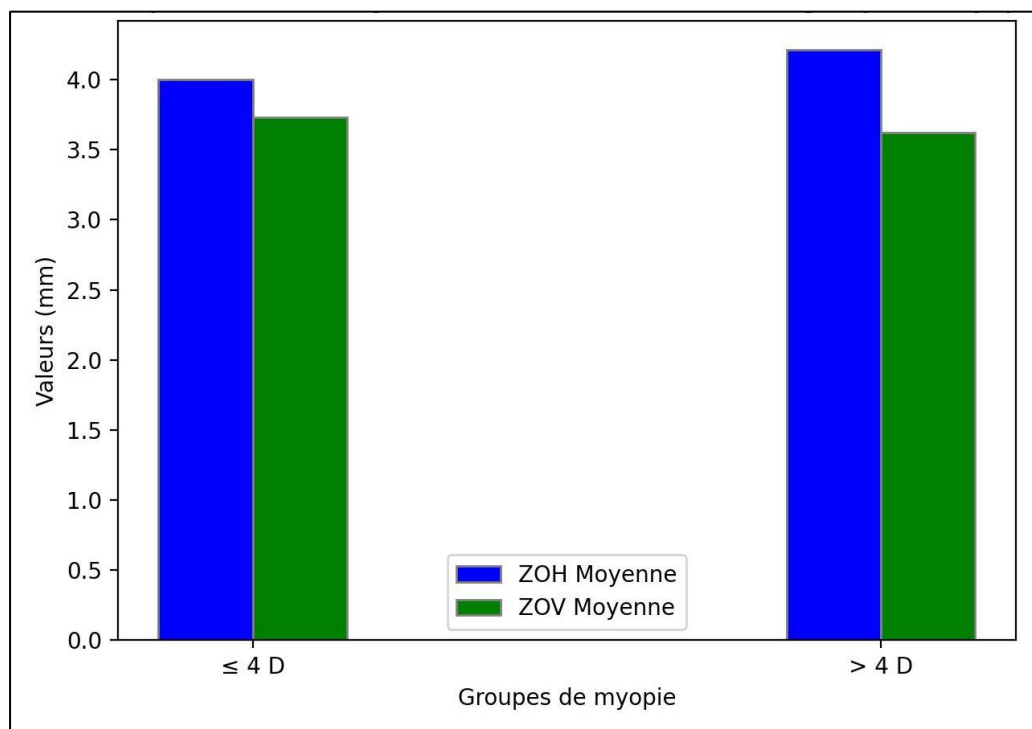


Figure 31: Les moyennes et écarts-types du diamètre de la zone optique en fonction du degré de la myopie $\pm 4D$.

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

Il apparaît ainsi que la taille de la zone optique est légèrement plus petite dans les myopies plus fortes, notamment sur l'axe vertical. Cette différence peut s'expliquer par une géométrie lenticulaire et une redistribution plus marquée de l'épithélium cornéen central dans les fortes myopies, limitant l'étendue de la zone de traitement effective.

L'image topographique jointe montre une carte de topographie différentielle après port de lentilles Ortho-K :

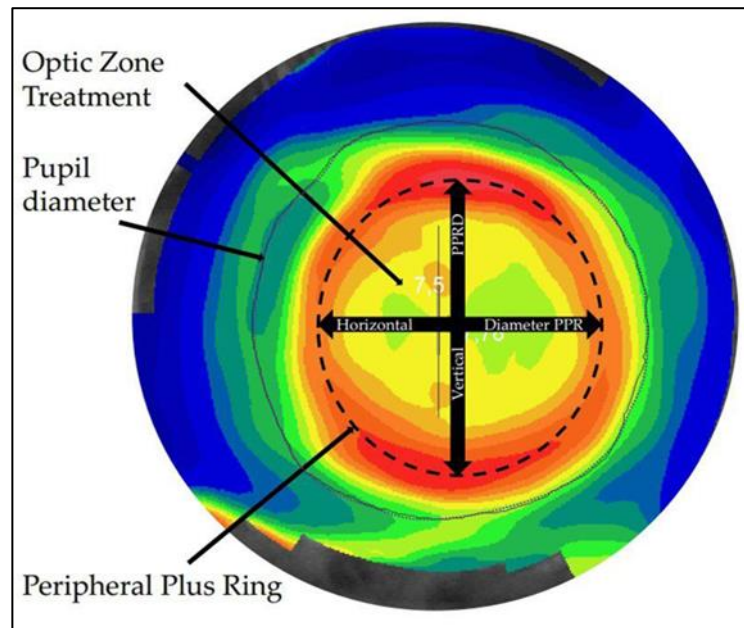


Figure 32: Une carte de topographie différentielle après port de lentilles Ortho-K [70].

- ✓ Zone centrale (jaune clair à vert) , identifiée comme la zone optique de traitement . Elle correspond à la zone centrale aplatie de la cornée, où la courbure a été réduite pour corriger la myopie. L'aplatissement entraîne une réduction du pouvoir dioptrique, permettant une vision nette sans correction durant la journée. Cette zone est délimitée par une ligne noire en pointillé.
- ✓ Diamètre pupillaire , indiqué par la ligne horizontale noire au centre. Important car la zone de traitement doit être suffisamment grande pour couvrir la pupille dans des conditions de faible luminosité. Si la pupille dépasse la zone de traitement, cela peut entraîner des aberrations visuelles (halos, éblouissements).
- ✓ Anneau mi périphérique (rouge) , identifié comme le "Peripheral Plus Ring". Cette région montre un renflement relatif de la cornée périphérique, une réponse compensatoire au centre aplati. Elle crée un effet myopisant périphérique, ce qui est souhaité dans le traitement du contrôle de la myopie chez l'enfant. Elle correspond aux zones où la courbure augmente à nouveau (valeurs plus chaudes – rouge, orange).

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

- ✓ un anneau périphérique vert-bleu , qui reflète une diminution relative de la courbure , essentielle au mécanisme de stabilisation de la lentille .
- ✓ Les flèches horizontale et verticale indiquent respectivement les mesures du diamètre optique horizontal (ZOH) et vertical (ZOV).

Cette représentation aide à visualiser l'efficacité géométrique de la lentille et à comparer les résultats obtenus selon le niveau de correction appliquée.

Analyse des résultats : Diamètre de la zone optique selon le groupe de myopie

Dans le cadre de notre étude, le diamètre de la zone optique a été mesuré sur les topographies cornéennes post-traitement, à la fois sur l'axe horizontal (ZOH) et vertical (ZOV), afin d'étudier son comportement en fonction du degré de myopie corrigée. Deux groupes ont été définis :

- ✓ **Groupe 1** : myopie ≤ 4 dioptries (D)
- ✓ **Groupe 2** : myopie > 4 dioptries (D)

Résultats cliniques

Les paramètres statistiques observées sont les suivantes :

Groupe de myopie		ZOH (mm)	ZOV (mm)
La moyenne	$\leq 4 \text{ D}$	4,00	3,73
	$> 4 \text{ D}$	4,21	3,62
L'écart type	$\leq 4 \text{ D}$	0,57	0,64
	$> 4 \text{ D}$	0,70	0,78
La valeur maximale	$\leq 4 \text{ D}$	5,49	4,71
	$> 4 \text{ D}$	5,49	5,27
La valeur minimale	$\leq 4 \text{ D}$	3,06	2,12
	$> 4 \text{ D}$	3,32	2,75

Tableau 4 : Paramètres statistiques du diamètre de la zone optique selon le groupe de myopie .

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

Il est intéressant de noter que :

- ✓ Le diamètre horizontal reste stable entre les deux groupes.
- ✓ Le diamètre vertical tend à diminuer légèrement dans les fortes myopies, suggérant une zone optique plus restreinte dans ce méridien, potentiellement influencée par une redistribution plus concentrée du tissu épithélial sous l'effet des lentilles Ortho-K adaptées pour de plus fortes corrections.
- Cette réduction de la zone verticale pourrait aussi s'expliquer par l'anatomie cornéenne (asymétrie supérieure/inférieure) ou la dynamique palpébrale, qui agit différemment selon le méridien, comme le suggèrent nos boxplots.

Interprétation topographique

L'analyse des topographies différentielles met en évidence :

- ✓ Une zone centrale aplatie (rouge), correspondant à la zone de traitement (optique).
- ✓ Un anneau périphérique vert/bleu indiquant la zone de défocalisation myopique induite (PPR).
- ✓ Les diamètres ZOH et ZOV sont tracés à partir de cette zone rouge centrale, et leur extension doit idéalement recouvrir la pupille pour maximiser l'efficacité du traitement.

Analyse comparative avec la littérature

L'étude de Pauné et al [70] vient étayer ces observations cliniques. **Elle démontre que la réduction du diamètre de la zone optique postérieure (BOZD) entraîne une zone de traitement plus étroite et une augmentation de la puissance dans la zone périphérique (PPR).**

Plus précisément :

- ✓ Un **BOZD $\leq$ 5 mm** génère un PPR plus petit et concentre ainsi le signal de défocalisation dans une région plus centrale de la cornée. Cela conduit à une réduction significative de la croissance axiale (0.08 mm/an) par rapport à un **BOZD > 5 mm** (0.16 mm/an), avec un effet dose-dépendant en fonction de la couverture pupillaire de cette zone.

Bien que notre étude ne modifie pas directement le BOZD, la réduction naturelle du diamètre vertical observée dans les fortes myopies rejoint cette dynamique géométrique. Cela suggère que le profil de traitement vertical est plus sensible à la puissance de la correction, avec une zone optique qui se resserre, renforçant potentiellement l'effet thérapeutique sur l'axe visuel.

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

Implication clinique

Ces résultats appuient la nécessité de [70] :

- ✓ Personnaliser la géométrie des lentilles Ortho-K en fonction de la réfraction initiale.
- ✓ Surveiller le diamètre vertical de la zone optique, qui pourrait être un indicateur indirect de l'efficacité de freination.
- ✓ Aligner la zone optique avec la pupille, notamment en mesurant les ZOH/ZOV sur topographies post-traitement pour vérifier leur couverture fonctionnelle .

f) Influence de l'addition myopique périphérique sur la freination de la myopie

L'orthokératologie agit, entre autres, par la création d'une addition myopique périphérique induite par la redistribution du profil cornéen. Cette addition périphérique modifie le foyer de l'image rétinienne dans la zone périphérique, contribuant à réduire le stimulus d'élongation axiale et donc à ralentir la progression de la myopie chez l'enfant et l'adolescent.

Analyse des mesures de l'addition mi périphérique

Le graphe ci-dessous représente les mesures de l'addition myopique mi périphérique selon quatre positions :

- ✓ POST horiz N (nasal)
- ✓ POST horiz T (temporal)
- ✓ POST vertical 90° (supérieur)
- ✓ POST vertical 270° (inférieur)

Ces données sont présentées sous forme de boxplots, indiquant les médianes, étendues interquartiles et valeurs extrêmes.

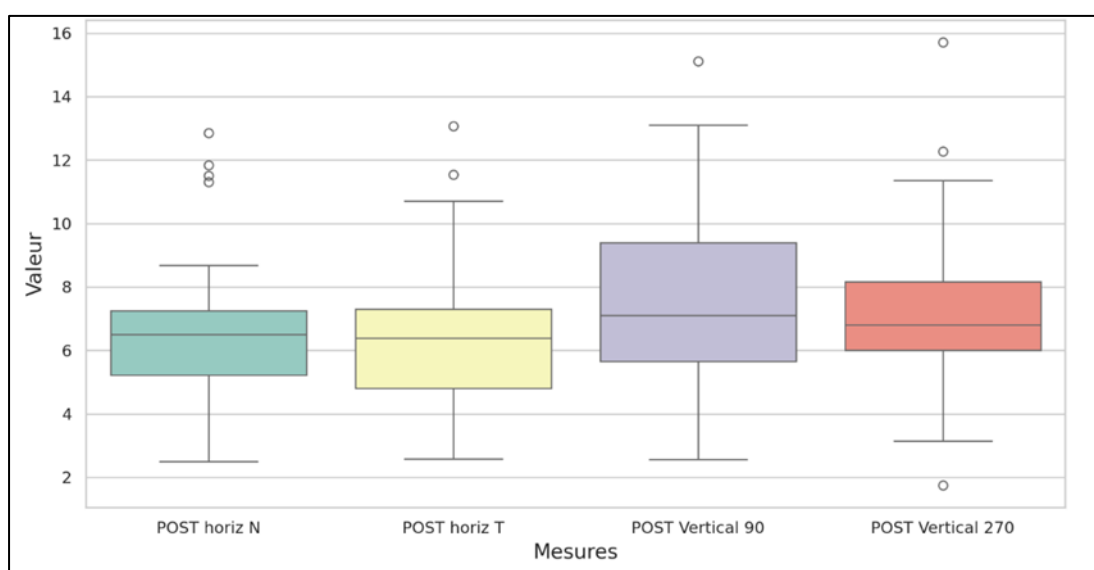


Figure 33: Représentation des valeurs d'addition myopique mi-périphérique mesurées selon quatre positions : nasale (POST horiz N), temporale (POST horiz T), supérieure (POST vertical 90) et inférieure (POST vertical 270) .

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

Interprétation des résultats :

- ✓ Les valeurs médianes de l'addition périphérique sont plus élevées en position verticale (90° et 270°) par rapport aux positions horizontales.
- ✓ On observe une dispersion plus importante des valeurs verticales, notamment à 90°, ce qui indique une variabilité individuelle marquée, possiblement liée à l'asymétrie cornéenne ou à la dynamique des paupières.
- ✓ Les positions horizontales (nasale et temporale) montrent des valeurs plus concentrées et moins élevées, avec une médiane autour de 6–7 D, alors qu'en vertical on atteint fréquemment 8–10 D, voire plus dans certains cas.

Rôle physiologique de l'addition périphérique :

L'addition mi périphérique génère **une défocalisation myopique sur la rétine périphérique**. Cette défocalisation est perçue par la rétine comme **un signal d'arrêt de croissance axiale**, contrairement à une défocalisation hypermétropique (souvent retrouvée avec des verres classiques) qui stimule l'allongement axial.

Les études expérimentales et cliniques suggèrent que

- ✓ Plus l'addition périphérique est importante, plus la freination de la myopie est efficace.
- ✓ La symétrie et l'uniformité de cette addition dans les différents méridiens (horizontal et vertical) pourraient également jouer un rôle sur la stabilité du traitement et la qualité visuelle nocturne.

Conclusion partielle

Les résultats montrent que l'orthokératologie permet de générer une addition périphérique significative, en particulier dans le plan vertical, contribuant au mécanisme de freination de la myopie évolutive. Ces données confirment l'intérêt de surveiller et d'optimiser le profil de défocalisation périphérique lors de l'adaptation de lentilles Ortho-K, afin d'obtenir une efficacité maximale en ralentissement myopique.

Discussion comparative : Résultats cliniques vs littérature

Les résultats cliniques obtenus dans notre étude, mettant en évidence l'effet de l'addition myopique périphérique (MiP) générée par l'orthokératologie, peuvent être comparés aux données issues de la littérature scientifique, notamment l'étude de Pauné et al [70] qui s'est intéressée à l'impact de la zone optique centrale (BOZD) sur la freination de la myopie.

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

Mécanisme de la MiP et contrôle de la myopie

L'orthokératologie repose sur la création d'un anneau de puissance positive en zone périphérique cornéenne, responsable d'une défocalisation myopique rétinienne. Notre étude confirme que cette défocalisation est plus marquée en position verticale, suggérant un impact biomécanique asymétrique.

Pauné et al [70] corroborent ce mécanisme en montrant que la réduction de la BOZD (≤ 5 mm) concentre la zone de puissance positive (PPRD), induisant une diminution significative de l'allongement axial (0.08 ± 0.12 mm/an contre 0.16 ± 0.11 mm/an pour les BOZD > 5 mm, $p = 0.007$).

Distribution méridienne et variabilité interindividuelle

Notre analyse révèle une prédominance des valeurs d'addition en positions verticales (90° et 270°), avec une plus grande dispersion à 90° , probablement en lien avec des facteurs anatomiques (asymétrie cornéenne) ou mécaniques (pression palpébrale).

L'étude de Pauné [70] ne distingue pas les méridiens individuellement, mais montre que la localisation précise de l'anneau PPR par rapport à la pupille (effet complet, partiel ou nul) module fortement la progression axiale. Lorsque le PPR est totalement contenu dans la pupille (effet complet), l'allongement axial est limité à 0.04 mm/an.

Impact pupillaire et effet dose-réponse

Notre étude évoque **le rôle de la surface pupillaire dans l'efficacité du traitement**. La littérature va plus loin en objectivant un effet dose-réponse clair : plus la puissance positive relative (PPR) est superposée à la pupille, plus la freination est marquée (différence de 0.13 mm/an entre groupe « effet complet » et « aucun effet », soit 77 % d'efficacité relative).

Implications cliniques et adaptation des lentilles

Ces résultats confirment l'intérêt d'une adaptation individualisée des lentilles d'orthokératologie, en jouant sur le diamètre de la zone optique central (BOZD) pour concentrer la PPR dans l'aire pupillaire. Cela rejoint nos conclusions cliniques sur la nécessité d'optimiser le profil de défocalisation périphérique pour maximiser l'effet de freinage de la myopie.

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

Position de l'addition par rapport à la pupille

Des travaux récents [70] soulignent que l'efficacité de la défocalisation myopique dépend fortement de la position de l'anneau périphérique (PPR) par rapport à la pupille.

Trois cas de figure ont été définis :

- ✓ Effet complet : la totalité de l'anneau de puissance positive est à l'intérieur de la pupille .
- ✓ Effet moyen : la pupille recouvre partiellement la zone de défocalisation .
- ✓ Aucun effet : l'anneau se situe en dehors de la pupille.

Les résultats montrent une réduction significative de l'élongation axiale lorsque la défocalisation est incluse dans l'aire pupillaire :

0.04 mm/an d'élongation (effet complet) vs 0.17 mm/an (aucun effet), soit une réduction de 77 % [70] .

Implication clinique majeure

Pour optimiser la freination de la myopie, il est crucial de concevoir ou d'ajuster les lentilles Ortho-K de manière à ce que l'anneau périphérique de défocalisation (PPR) soit bien inclus dans le diamètre pupillaire fonctionnel, notamment sous lumière photopique (vision de près, lecture).

g) Identification des facteurs influençant l'efficacité de l'orthokératologie

L'efficacité de l'orthokératologie dans le ralentissement de la progression myopique dépend d'un ensemble de facteurs liés au patient, au design de la lentille, et à la régularité du suivi. Parmi ces facteurs, la qualité du profil de défocalisation myopique induit par la lentille est particulièrement déterminante.

➤ **Facteurs liés au patient**

La prise en charge précoce influence significativement la réponse thérapeutique : les jeunes enfants, présentant une évolution myopique plus rapide, bénéficient en général d'une freination plus marquée [85]. De même, la progression myopique est généralement plus rapide chez les enfants ayant une myopie parentale ou une activité prolongée en vision de près, ce qui peut moduler l'efficacité de l'orthokératologie. Enfin, la longueur axiale initiale et la sévérité de la myopie influencent la réponse au traitement, les myopies modérées semblant répondre plus favorablement.

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

➤ Facteurs liés au design de la lentille

Le design de la lentille d'orthokératologie joue un rôle central dans l'efficacité du traitement, en particulier le diamètre de la zone optique et la puissance de l'anneau périphérique (zone d'addition myopique). Ces paramètres influencent directement le profil de défocalisation myopique induit en périphérie de la rétine, mécanisme clé dans le ralentissement de la progression myopique. Pour que cet effet soit optimal, la zone d'addition myopique doit impérativement se situer à l'intérieur de l'aire pupillaire lors des conditions de vision normales, notamment en basse lumière où la pupille est dilatée [86]. Si cette zone est décalée hors de la pupille en raison d'un diamètre de zone optique mal adapté ou d'un mauvais centrage de la lentille, l'effet de défocus myopique est atténué, ce qui compromet l'impact freinateur sur l'allongement axial. Par ailleurs, une décentration de la lentille peut non seulement réduire l'efficacité thérapeutique, mais aussi entraîner des aberrations optiques indésirables. Le choix précis des paramètres de lentille en fonction de la taille pupillaire du patient et le maintien d'un bon centrage sont donc essentiels pour assurer une réponse thérapeutique optimale.

➤ Facteurs liés au suivi et à la compliance

Le respect du protocole de port (port nocturne régulier) et l'entretien des lentilles conditionnent le maintien d'un remodelage cornéen optimal. Des contrôles réguliers sont indispensables pour évaluer la stabilité de la correction, détecter une éventuelle décentration, et ajuster les paramètres si nécessaire. De plus, la mesure périodique de la longueur axiale permet un suivi objectif de l'évolution de la myopie et de l'efficacité du traitement.

En résumé, pour optimiser la freination de la myopie par orthokératologie, il est essentiel que la zone de défocus myopique soit bien positionnée dans l'aire pupillaire, en plus d'un bon ajustement des lentilles et d'un suivi rigoureux. L'analyse combinée de ces facteurs permet de prédire la réponse au traitement et d'identifier les cas nécessitant des adaptations spécifiques.

7. Synthèse finale et perspectives de l'étude

A. Synthèse des résultats clés

L'étude rétrospective menée à la clinique ophtalmologique Ibn El Haythem à Alger a permis d'évaluer l'efficacité du traitement par orthokératologie chez 19 patients atteints de myopie évolutive, soit un total de 38 yeux traités sur une période de 6 à 12 mois. Les résultats obtenus confirment les bénéfices attendus de l'orthokératologie, tant sur le plan de la correction optique que sur celui du ralentissement de la progression myopique.

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

Les données démographiques montrent une prédominance féminine (65,4 %) et une concentration de la population dans la tranche d'âge de 11 à 20 ans, période critique pour la progression rapide de la myopie. L'analyse de la sévérité myopique selon le sexe et l'âge indique une dispersion importante des degrés de myopie, avec des médianes légèrement plus élevées chez les sujets masculins et les plus jeunes, confirmant ainsi la vulnérabilité accrue des enfants et adolescents face à la myopie évolutive.

Concernant les paramètres optiques, la mesure du diamètre de la zone optique post-traitement montre une variation notable entre les deux groupes. Pour les myopies ≤ 4 D, le diamètre horizontal moyen est de 4,00 mm et le diamètre vertical de 3,73 mm, tandis que pour les myopies > 4 D, le diamètre horizontal augmente légèrement à 4,21 mm, alors que le diamètre vertical diminue à 3,62 mm. Cette asymétrie, marquée par une expansion horizontale et une contraction verticale dans les myopies plus fortes, pourrait être liée à une redistribution épithéliale plus accentuée, mais également à des facteurs anatomiques cornéens et palpébraux influençant la modélisation de la cornée. Ces résultats concordent avec ceux rapportés dans la littérature, notamment dans l'étude de Pauné et al [70] , qui souligne l'importance du diamètre de la zone optique dans l'efficacité du contrôle de la myopie.

Enfin, l'analyse topographique post-orthokératologie met en évidence la formation d'un anneau de défocalisation myopique périphérique (Peripheral Plus Ring) autour de la zone de traitement, élément fondamental du mécanisme de ralentissement de la croissance axiale de l'œil.

B. Perspectives cliniques

➤ **Potentiel de l'orthokératologie dans la gestion précoce et durable de la myopie pédiatrique**

Les résultats de cette étude viennent appuyer l'intérêt croissant pour l'orthokératologie comme stratégie de choix dans la lutte contre la progression de la myopie chez l'enfant et l'adolescent. La stabilité des zones de traitement observée, combinée à une réduction efficace de la myopie centrale et à la création d'un anneau périphérique défocalisant, est cohérente avec les mécanismes reconnus de ralentissement de l'élongation axiale et donc la freination de la myopie .

D'un point de vue pratique, l'orthokératologie offre une solution non invasive, réversible et bien tolérée chez l'enfant, avec un bon profil de sécurité lorsqu'un suivi régulier est assuré. Cette méthode permet également d'améliorer la qualité de vie des jeunes patients, en leur offrant une vision diurne nette sans lunettes ni lentilles durant la journée.

Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'étude

➤ Recommandations pour les praticiens dans la pratique quotidienne

À la lumière de ces résultats, plusieurs recommandations peuvent être formulées à l'attention des praticiens :

- Cibler précocement les enfants présentant une myopie évolutive dès les premières années de progression rapide (idéalement avant 12 ans), afin d'intervenir durant la phase de croissance oculaire active.
- Effectuer un suivi rigoureux comprenant topographie cornéenne, biométrie axiale et évaluation subjective de la vision, à une fréquence de 3 à 6 mois, pour ajuster le traitement et prévenir les complications.
- Adapter les lentilles en fonction du degré de myopie initiale, en prêtant attention à la stabilité de la zone optique et à la couverture pupillaire.
- Sensibiliser les familles sur l'importance de l'adhérence au traitement, de l'hygiène, et de l'environnement visuel (exposition à la lumière naturelle, réduction du temps d'écran).
- Favoriser une approche multidisciplinaire en collaboration avec les pédiatres, ophtalmologistes et enseignants pour maximiser l'efficacité du traitement et intégrer l'orthokératologie dans un programme global de santé visuelle.
- Enfin, afin d'appuyer les résultats cliniques observés, un suivi longitudinal par biométrie axiale est fortement recommandé. Cela permettra de quantifier objectivement la stabilité ou la progression de la myopie au cours du traitement, et d'en renforcer la validité scientifique .

Conclusion

Certains considèrent la myopie comme un simple inconvénient visuel, facilement corrigeable aux lunettes, lentilles ou avec une chirurgie réfractive au laser. Ceci est vrai dans le cadre de myopie faible à modérée. Une fois les résultats réfractifs sont relativement élevés, accompagnés d'un allongement axial important, des dépistages réguliers s'imposent car le risque de complications qui menace la santé oculaire augmente. La prévalence croissante de la myopie est un sérieux problème qu'il faut absolument prendre au sérieux. Trouver des solutions pour freiner la progression de la myopie devient aujourd'hui une priorité pour réduire l'incidence de cette dernière sur la vision des patients.

Des réductions de la progression de la myopie ont été rapportées grâce à plusieurs méthodes de traitement. L'atropine à faible dose (0,01%) a apporté ses fruits pour le ralentissement du développement axial de l'œil, mais les effets secondaires de cette substance à long terme n'ont pas encore été établis.

Certaines études se sont focalisées sur l'efficacité de l'orthokératologie. Leurs résultats ont été satisfaisantes car elles permettent de corriger les aberrations sphériques présentes en périphérie de la rétine.

Ce moyen de prise en charge, devrait être utilisé pour les enfants ayant une myopie évolutive afin de diminuer le risque d'éventuelles maladies oculaires, glaucome, décollement de rétine, cataracte précoce...etc

L'adoption de nouveaux traitements suscite l'intérêt de beaucoup de chercheurs, et de nombreux laboratoires de lentilles. Il est primordial de poursuivre les recherches, et c'est ce qui conduit finalement à des progrès dans une plus grande efficacité. Pendant que la recherche poursuit son chemin il est possible de faire appel à la technique d'orthokératologie pour les personnes ayant une myopie évolutive. Beaucoup de personnes remettent en cause l'utilisation des lentilles de contact chez les enfants car ces dernières nécessitent une manipulation délicate et des règles d'hygiène et de sécurité à respecter. Jusqu'à présent il a été montré que l'utilisation des lentilles de contact chez les enfants est plus sûre que chez les adultes.

Pour conclure, Nous possédons aujourd'hui l'orthokératologie comme méthode qui a un effet direct sur la réfraction de la rétine périphérique et donc elles permettent de ralentir l'évolution de la myopie chez les enfants. Compte tenu de la prévalence de la myopie et ces complications, nous ne pouvons plus justifier la négligence de cette pathologie .

Annexes

Fiche de suivi ortho-K



Nom et prénom du patient :
Date de naissance :

Date :
N° du téléphone :

1. Anamnèse

Motif de consultation :

Antécédents familiaux de myopie : OUI / NON :

Myopie connue depuis :

Évolution récente / Aucune :

Correction visuelle actuelle : (.....) à°

Antécédents médicaux généraux / oculaires:

2. Réfraction

➤ Examen subjectif :

1. Acuité visuelle :

Echelle de monoyer à 5 mètres **Sans correction :** Monoculaire **OD :** /10 **OG :** /10

Binoculaire /10

Avec correction : Monoculaire **OD :** /10 **OG :** /10

Binoculaire /10

➤ Examen objectif :

1. Autoréfractomètre :(.....) à.....° **Addition de pour la VP :**
2. Pression intraoculaire : **OD :** mmHg **OG :** mmHg
3. Examen du fond d'ŒIL :
4. Kératometrie :
5. Longueur axiale (AL) : **OD :** **OG :**
6. Test fluorescéinique :

3. Contrôles et suivi post adaptation

Type de lentille ortho-K :

DK :

Ép central :

Jour 1 - Port de lentille (heures) :

Confort : Bon / Moyen / Mauvais:

État cornée / lentilles :

R de la zone d'aplatissement :

R de la zone d'alignement :

Diamètre total :

R de la zone d'inversion :

Diamètre optique :

R de la zone de dégagement :

Excentricité :

Remarque :

Date de consultation :

Jour 7 - Port de lentille (heures) :

Acuité visuelle : **OD :** **OG :**

État cornée :

Kératométrie : **OD :** **OG :**

Topographie :

Zone de traitement centrée : OUI / NON Clearance :

Remarque :

Date de consultation :

Jour 30 - Port de lentille (heures) :

Acuité visuelle : **OD :** **OG :**

État cornée :

Kératométrie : **OD :** **OG :**

Topographie :

Zone de traitement centrée : OUI / NON Clearance :

Remarque :

Annexe 01 : Modèle de fiche clinique de suivi en orthokératologie.

Bibliographie

- [1] B. A. F. T. R. W. D. A. J. M. N. K. S. Holden, «Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050,» *Ophthalmology*, p. Ophthalmology, mai 2016.
- [2] World Health Organization, Regional Office for the Eastern Mediterranean (WHO EMRO), «Vision 2020: The Right to Sight – Global Initiative for the Elimination of Avoidable Blindness,» 2020.
- [3] D. O. M. G. L. M. M. L. J. L. A. & Z. K. Mutti, «Parental myopia, near work, school achievement, and children's refractive error,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, p. 3633–3640, 2002.
- [4] N. A. & A. D. W. McBrien, «A longitudinal investigation of adult-onset and adult-progression of myopia in an occupational group,» *Refractive and Clinical Optometry*, 1997.
- [5] D. O. M. G. L. M. M. L. J. L. A. & Z. K. Mutti, «Axial growth and changes in lenticular and corneal power during emmetropization in infants,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, p. 634–641, 2000.
- [6] «Guide Vue – « La myopie »».
- [7] D. A. J. C. E. S. K. L. P. N. P. J. M. S. W. E. & R. R. A. Atchison, «Eye shape in emmetropia and myopia,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, p. 2698–2707, 2005.
- [8] «Logan, N. S., Gilmartin, B., Wildsoet, C. F., & Dunne, M. C.,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, p. 2152–2162, 2004.
- [9] D. I. H. M. J. J. B. e. a. Flitcroft, «IMI – Defining and Classifying Myopia: A Proposed Set of Standards for Clinical and Epidemiologic Studies,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2019.
- [10] I. M. I. (IMI), «IMI 2023 Report: Myopia Management Guidelines Update,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, p. 1–28, 2023.
- [11] «Clinique de la Vision, Explications sur la myopie.».
- [12] D. I. Flitcroft, «The complex interactions of retinal, optical and environmental factors in myopia aetiology,» *Progress in Retinal and Eye Research*, p. 622–660, 2012.
- [13] J. W. L. S. M. C. T. M. S. v. R. G. A. W. K. T. K. R. W. .. & K. C. C. W. Tideman, « Association of axial length with risk of uncorrectable visual impairment for Europeans with myopia,» *JAMA Ophthalmology*, p. 1355–1363, 2016.
- [14] H. C. C. A. S. & F. C. Fledelius, «Juvenile eye growth, when completed? An evaluation based on IOL-Master axial length data, cross-sectional and longitudinal,» *Acta Ophthalmologica*, p. 259–264, 2014.
- [15] K. M. D. O. & M. G. L. Zadnik, «Normal eye growth in emmetropic schoolchildren,» *Optometry and Vision Science*, p. 73–78, 2003.
- [16] K. W. P. C. Y. K. V. K. F. Y. C. C. M. G. .. & I. M. I. (. Ohno-Matsui, «IMI Pathologic Myopia,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2021.
- [17] E. Fuchs, *Les causes et la prévention de la cécité*, Londres: Ballière, Tindall & Cox, 1885.
- [18] T. L. R. S. M. D. L. A. W. S. C. A. A. B. O. W. S. e. a. Young, «Evidence that a locus for familial high myopia maps to chromosome 18p,» *American Journal of Human Genetics*, p. 109–119, 1998.
- [19] T. L. R. S. M. A. A. B. W. S. C. O. W. S. A. L. D. e. a. Young, «A second locus for familial high myopia maps to chromosome 12q,» *American Journal of Human Genetics*, p. 1419–1424, 1998.
- [20] «BMJ (British Medical Journal),» p. 1195–1199, 2002.
- [21] F. H. M. & M. I. G. Xiang, «The Impact of Parental Myopia on Myopia in Chinese Children: Population-Based Evidence,» *Optometry and Vision Science*, p. 1487–1496, 2012.
- [22] R. J. K. S. K. A. M. J. Casson, « Exceptionally low prevalence of refractive error and visual impairment in schoolchildren from Lao People's Democratic Republic,» *Ophthalmology*, 2012.
- [23] *Optométrie et Science de la Vision*, p. 683–691, juillet 2016.
- [24] L. A. S. L. T. C. S. A. K. R. N. M. R. E. M. D. O. T. J. D. & Z. K. ones-Jordan, «Visual activity before

- and after the onset of juvenile myopia,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, p. 1841–1850, 2011.
- [25] K. A. M. I. G. I. J. K. A. H. S. S. W. & M. P. Rose, «Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children,» *Ophthalmology*, p. 1279–1285, 2008.
- [26] M. T. L. G. G. Z. X. C. A. Y. T. L. & S. S. M. Dirani, «Outdoor activity and myopia in Singapore teenage children,» *British Journal of Ophthalmology*, p. 997–1000, 2009.
- [27] Y. P. E. B. M. & P. U. Cohen, «Dependency between light intensity and refractive development under light-dark cycles,» *Experimental Eye Research*, n° 140–46, 2011.
- [28] R. S. & S. F. Ashby, *The effect of bright light on lens compensation in chicks*, p. 2010.
- [29] J. C. R. M. H. K. R. H. K. A. P. M. D. A. & F. P. J. Sherwin, «The association between time spent outdoors and myopia in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis,» *Ophthalmology*, p. 2141–2151.
- [30] E. L. H. L. F. & H. J. Smith, «Influence of optical defocus on eye growth and refractive development in monkeys,» *Experimental Eye Research*, p. 658–667, 2005.
- [31] D. O. H. J. R. M. G. L. J. L. A. M. M. L. C. S. A. K. R. N. M. R. E. T. J. D. & Z. K. Mutti, «Refractive error, axial length, and relative peripheral refractive error before and after the onset of myopia,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, p. 2510–2519, 2007.
- [32] «Quizlet – « Laser Safety – Progressive Surgical Solutions »».
- [33] S. A. C. M. J. & V. S. J. Read, «Light exposure and eye growth in childhood,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, p. 6262–6269, 2010.
- [34] L. R. A. & P. M. Vijaya, «Predictors for incidence of primary open-angle glaucoma in a south Indian population,» *Ophthalmology*, p. 1370–1376, 2014.
- [35] M. W. d. V. M. M. M. F. G. J. & J. N. M. Marcus, «Myopia as a risk factor for open-angle glaucoma: a systematic review and meta-analysis,» *Ophthalmology*, p. 1989–1994, 2011.
- [36] S. A. W. T. Y. T. W. T. F. P. J. S. S. M. & A. T. Perera, «Refractive error, axial dimensions, and primary open-angle glaucoma: the Singapore Malay Eye Study,» *Archives of Ophthalmology*, p. 900–905, 2010.
- [37] P. H. F. S. J. & W. J. J. Mitchell, «The relationship between glaucoma and myopia: the Blue Mountains Eye Study,» *Ophthalmology*, p. 2010–2015, 1999.
- [38] T. Y. K. B. E. K. R. K. M. & L. K. E. Wong, «Refractive errors, intraocular pressure, and glaucoma in a white population,» *Ophthalmology*, p. 211–217, 2003.
- [39] N. L. & B. J. N. Loyo-Berrios, «Primary open glaucoma and myopia: a narrative review,» *Wisconsin Medical Journal*, p. 85–95.
- [40] D. S. E. D. L. & A. R. R. Fong, «Glaucoma and myopia: are they related?,» *International Ophthalmology Clinics*, p. 215–218, 1990.
- [41] D. & M. A. Gaucher, «Le fovéoschisis du myope fort : histoire naturelle et indications chirurgicales,» *Réalités Ophtalmologiques*, 16 Mai 2019.
- [42] «Dr Pierre-Loïc Cornut, Centre Pôle Vision – Pathologies oculaires : Le trou maculaire.»
- [43] «McMorris, E. OPTOMÉTRIE.»
- [44] H. C. C. A. S. & F. C. Fledelius, «Juvenile eye growth, when completed? An evaluation based on IOL-Master axial length data, cross-sectional and longitudinal,» *Acta Ophthalmologica*, p. 259–264.
- [45] J. Gwiazda, «Treatment options for myopia,» *Optometry and Vision Science*, p. 624–628, 2009.
- [46] J. J. G. K. L. M. M. E. & J.-J. L. A. Walline, «Multifocal contact lens myopia control,» *Optometry and Vision Science*, p. 1207–1214, 2013.
- [47] P. P.-d.-M. S. C. L. N. S. N. C. J. D. & Y. G. Chamberlain, «A 3-year randomized clinical trial of MiSight lenses for myopia control,» *Optometry and Vision Science*, p. 556–567, 2019.
- [48] P. D. L. V. S. H. A. C. X. M. A. .. & H. B. Sankaridurg, «Spectacle lenses designed to reduce progression of myopia: 12-month results,» *Optometry and Vision Science*, p. 631–641, 2010.
- [49] B. A. S. P. L. P. & S. E. L. Holden, «Myopia: a growth industry,» *Ophthalmic & Physiological Optics*, p. 315–317, 2010.

- [50] «Optométrie et science de la vision: Avril 2016 - Volume 93 - Numéro 4 - p 353-».
- [51] J. H. L. H. M. E. D. N. T. T. K. D. & C. G. Gwiazda, «A randomized clinical trial of progressive addition lenses versus single vision lenses on the progression of myopia in children,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, p. 1492–1500, 2003.
- [52] C. S. Y. T. W. C. T. D. Y. Y. L. R. P. Y. C. R. K. M. H. K. .. & T. C. H. Lam, «Defocus incorporated multiple segments (DIMS) spectacle lenses slow myopia progression: A 2-year randomized clinical trial,» *British Journal of Ophthalmology*, p. 363–368, 2020.
- [53] J. S. J. G. & M. S. A. Shen, «Contact lenses and myopia control: A review,» *Contact Lens and Anterior Eye*, p. 232–238, 2010.
- [54] A. G. & R. S. F. Bennett, *Clinical Visual Optics* (3e éd), Oxford, Royaume-Uni: Butterworth-Heinemann, 1998.
- [55] J. J. J. L. A. M. D. O. & Z. K. Walline, «A randomized trial of the effect of rigid contact lenses on myopia progression,» *Archives of Ophthalmology*, p. 1760–1766, 2004.
- [56] D. S. L. D. S. C. C. K. F. A. H. C. E. Y. & R. S. K. Fan, «Topical atropine in retarding myopic progression and axial length growth in children with moderate to severe myopia: a pilot study,» *Japanese Journal of Ophthalmology*, p. 27–33, 2007.
- [57] A. L. Q. S. & T. D. Chia, «Five-Year Clinical Trial on Atropine for the Treatment of Myopia 2: Myopia Control with Atropine 0.01% Eyedrops,» *Ophthalmology*, p. 391–399, 2016.
- [58] O. P. N. T. S. M. G. M. E. P. Tarutta, «Résultats à long terme de la correction par lentilles de lunettes défocales périfocales chez les enfants atteints de myopie progressive». *Centre national de recherche médicale Helmholtz sur les maladies oculaires, Moscou, Russie*.
- [59] K. A. M. I. G. I. J. K. A. H. S. S. W. & M. P. Rose, «Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children,» *Ophthalmology*, p. 1279–1285.
- [60] P. C. T. C. L. W. H. L. Y. Y. H. & K. H. K. Wu, «Outdoor activity during class recess reduces myopia onset and progression in school children». *Ophthalmology*.
- [61] C. D.-S. T. W. P.-C. Huang Hsiang-Min, «The association between near work activities and myopia in children: A systematic review and meta-analysis,» 2015.
- [62] S. W. C. Pauline Cho, «Retardation of myopia in orthokeratology (ROMIO) study: a 2-year randomized clinical trial,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2012.
- [63] F. X. T. Z. M. L. D. W. Y. C. L. W. Y. Sun, «Orthokeratology to control myopia progression: A meta-analysis,» *PLOS ONE*, 2015.
- [64] P. & C. S. W. Cho, «Retardation of myopia in children by wearing orthokeratology lenses: A 2-year clinical trial,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2012.
- [65] A. Sarfati, L'orthokératologie dans la myopie et le contrôle de la myopie, *Réalités Ophtalmologiques, Société Française d'Ophtalmologie*.
- [66] «Precilens. (n.d.). Orthokératologie : les lentilles de nuit pour voir net le jour».
- [67] J. R. D. & D. T. Mountford, *Orthokeratology: Principles and practice*, Oxford-Londres: Butterworth-Heinemann, 2004.
- [68] J. & W. J. Wallman, «Homeostasis of eye growth and the question of myopia,» *Neuron*, p. 447–468, 2004.
- [69] P. D. D. B. K. P. Yeo A, «Myopia and Effective Management Solutions. Points de Vue. International Review of Ophthalmic Optics,» october 2016.
- [70] L. R. A. Q. Jaume Pauné, «The role of back optic zone diameter in myopia control with orthokeratology lenses,» *Journal of Clinical Medicine*, 2021.
- [71] *cahier d'ophtalmologie*.
- [72] G. W. M. Brian A. Holden, «Critical oxygen levels to avoid corneal edema for daily and extended wear contact lenses,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 1984.
- [73] A. A. K. W. E. L. P. K. Helen A. Swarbrick, «Myopia control during orthokeratology lens wear in children using a novel study design,» *Ophthalmology*, 2015.
- [74] P. J. Caroline, «Orthokeratology: An overview,» *Contact Lens Spectrum*, 2001.

- [75] C. Lachot, *C'est quoi ? Pour qui ?*, Christophe Lachot – Contactologue, 2024.
- [76] C. Temstet, *Contrôle de la myopie*.
- [77] c. L. –, Contactologue, 2024.
- [78] 3. L. É. Pr Luigina Sorbara.
- [79] «Dr Jean-Pierre Lagacé, optométriste .».
- [80] p. o. p. p. l. ..
- [81] «Centre Vision Lentille,» [En ligne].
- [82] L. R. Y. W. J. D. Y. L. H. H. X. S. L. L. X. W. Y. Zhang, «Prevalence of myopia: A large-scale population-based study among children and adolescents in Weifang, China,» *Frontiers in Public Health*, 2022.
- [83] B. K. S. M. S. L. Anna Midelfart, «Prevalence of refractive errors in young and middle-aged adults in Norway,» *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, p. 501–505, 2002.
- [84] L. M. Z. S. Ana Maria Varošanec, «The CroMyop Study: Myopia Progression in Croatian Children and Adolescents — A 15-Year Retrospective Analysis,» *Frontiers in Medicine*, 2024.
- [85] J. & C. P. Charm, «High myopia—partially reversed by orthokeratology,» *Clinical and Experimental Optometry*.
- [86] Y. C. Z. X. F. M. H. Z. X. & L. F. Zhong, «Central and peripheral corneal changes induced by overnight orthokeratology in myopic children,» *Optometry and Vision Science*.
- [87] D. I. H. M. J. J. B. G. J. A. W. C. & I. –, D. a. C. M. T. Flitcroft, «IMI – Defining and Classifying Myopia: A Proposed Set of Standards for Clinical and Epidemiologic Studies,» *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, p. M20–M30, 2019.