Évaluation objective de l'effet de la lumière pulsée (IPL) associée au masque Idra Mask ACTIVA dans la prise en charge du dysfonctionnement des glandes de Meibomius (MGD)

Peggy SABA

SAERA. School of Advanced Education Research and Accreditation

RÉSUMÉ

Contexte : La dysfonction des glandes de Meibomius (DGM/MGD) constitue la principale cause de sécheresse oculaire évaporative et se caractérise par une instabilité du film lacrymal, une altération de la couche lipidique et un dropout glandulaire progressif. Les thérapies physiques en cabinet, telles que la lumière pulsée intense (IPL) et la thermothérapie contrôlée, sont de plus en plus utilisées, mais les données sur des protocoles combinés standardisés demeurent limitées.

Objectif : Évaluer de manière objective l'efficacité clinique d'un protocole combinant IPL, Idra Mask ACTIVA (chaleur + vibration) et expression des glandes de Meibomius chez des patients présentant une MGD, en s'appuyant sur les paramètres quantitatifs du système LacryDiag.

Méthodes : Une étude interventionnelle prospective à un seul bras, de type pré–post, a été menée dans un contexte clinique optométrique spécialisé en surface oculaire. Cinquante patients atteints de MGD ont complété trois séances de traitement espacées de 15 jours. Les mesures LacryDiag réalisées à l'inclusion (T0) et après la troisième séance (T3) comprenaient le NIBUT, l'interférométrie de la couche lipidique, la hauteur du ménisque lacrymal et la méibographie. La normalité des distributions a été vérifiée par le test de Shapiro–Wilk. Les comparaisons T0–T3 ont été analysées par tests t appariés pour les variables normales et par tests de Wilcoxon pour les variables non normales.

Résultats : Des améliorations statistiquement significatives ont été observées pour l'ensemble des paramètres examinés. Le NIBUT a augmenté de façon bilatérale (Wilcoxon, $p < 0,001$), indiquant une stabilisation accrue du film lacrymal. L'interférométrie a montré une amélioration de la qualité lipidique ($p < 0,001$), et la hauteur du ménisque lacrymal s'est significativement élevée aux deux yeux ($p < 0,001$). La méibographie a révélé une réduction substantielle du dropout glandulaire entre T0 et T3, avec une diminution moyenne de 12,22 % à l'OD ($t(49) = 15,26$; $p < 0,001$; $d = 1,14$) et de 12,72 % à l'OG ($t(49) = 16,15$; $p < 0,001$; $d = 1,05$), traduisant une amélioration morphologique importante.

Conclusion : Le protocole combiné IPL–Idra Mask ACTIVA–expression a induit des gains robustes et cliniquement pertinents sur la stabilité lacrymale, l'intégrité de la couche lipidique, l'indicateur de volume lacrymal et la morphologie des glandes de Meibomius. Ces résultats soutiennent l'intégration d'approches multimodales en

pratique optométrique pour la prise en charge des MGD modérées à sévères, tout en soulignant la nécessité d'essais contrôlés et de suivis prolongés.

Mots-clés : *Dysfonctionnement des glandes de Meibomius ; sécheresse oculaire évaporative ; lumière pulsée intense IPL ; Idra Mask ACTIVA ; LacryDiag ; NIBUT ; interférométrie ; méibographie.*

1. Introduction

1.1. Contexte et pertinence du sujet

La santé oculaire constitue un pilier majeur de la pratique optométrique et ophtalmologique contemporaine, puisqu'elle a un impact direct sur l'acuité visuelle, la qualité optique, le confort et l'intégrité à long terme de la cornée et de la conjonctive. La première surface réfractive de l'œil est le film lacrymal ; par conséquent, toute modification de sa stabilité peut entraîner une instabilité visuelle quantifiable et une gêne oculaire persistante. La maladie de l'œil sec (Dry eye disease, DED) est un trouble hétérogène de l'homéostasie de la surface oculaire, provoquant des symptômes et des signes tels que l'instabilité du film lacrymal, l'hyperosmolarité, l'inflammation et des altérations neurosensorielles (Craig et al., 2017 ; Bron et al., 2017 ; Tear Film and Ocular Surface Society Dry Eye Workshop II).

La DED est une maladie très répandue qui entraîne d'importantes répercussions socio-économiques et une altération significative de la qualité de vie. Les patients font généralement face à une diminution de la productivité, à une moindre participation aux activités visuellement exigeantes (par exemple la lecture, la conduite, le temps prolongé devant un écran) ainsi qu'à des contraintes psychologiques liées à la douleur chronique. TFOS DEWS II souligne que la DED engendre des coûts directs (consultations cliniques, médicaments et thérapies procédurales) et des coûts indirects sous forme de baisse de l'efficacité au travail et d'absentéisme (Jones et al., 2017 ; Craig et al., 2017). Étant donné que la dysfonction des glandes de Meibomius (Meibomian Gland Dysfunction, MGD) représente la cause la plus fréquente de la DED évaporative, il existe un impératif clinique et social visant à mieux comprendre et contrôler la MGD (Geerling et al., 2011 ; Nelson et al., 2011).

1.2. Physiologie du film lacrymal et des glandes de Meibomius

Le film lacrymal est un mécanisme dynamique qui soutient l'homéostasie de la surface oculaire en assurant la lubrification, la protection épithéliale, la défense immunitaire et une surface optique lisse. Selon TFOS DEWS II, la stabilité du film lacrymal est déterminée par la coordination d'une couche lipidique externe, d'un composant central aqueux-mucinique et d'une couche superficielle riche en mucines à l'interface épithéliale, lesquelles contribuent toutes au maintien d'une surface réfractive stable et uniforme (Willcox et al., 2017 ; Wolffsohn et al., 2017).

Les glandes de Meibomius sont des glandes sébacées modifiées implantées dans les plaques tarsales des paupières. Les sécrétions de ces glandes, appelées meibum, sont des lipides complexes libérés lors du clignement, puis étalés sur la surface du film lacrymal afin de former sa couche lipidique superficielle. Cette couche freine la vitesse d'évaporation, diminue la tension de surface et régularise le processus de dislocation du film lacrymal (Willcox et al., 2017). Ainsi, l'intégrité de la couche lipidique, la vitesse d'évaporation et la susceptibilité de la surface oculaire aux dommages inflammatoires et au stress épithélial sont compromises en cas d'atteinte structurelle ou fonctionnelle de ces glandes (Bron et al., 2017 ; Tomlinson et al., 2011).

1.3. Dysfonction des glandes de Meibomius (MGD)

La MGD est reconnue comme la principale cause étiologique de la DED évaporative. Selon l'International Workshop on MGD, la MGD est une affection chronique et diffuse, généralement caractérisée par une obstruction des canaux terminaux et par des modifications qualitatives ou quantitatives de la sécrétion glandulaire, conduisant à une couche lipidique déstabilisée et à une maladie de la surface oculaire (Nelson et al., 2011 ; Geerling et al., 2011). TFOS DEWS II situe également la MGD dans le système de classification plus large de la DED comme une cause majeure de défaillance de l'homéostasie du film lacrymal (Craig et al., 2017 ; Bron et al., 2017).

Sur le plan physiopathologique, la MGD est le plus souvent obstructive. L'occlusion des canaux augmente la pression intraglandulaire, retient le meibum, induit une inflammation locale et conduit finalement au dropout glandulaire. Le meibum devient plus visqueux et sa composition se modifie, rendant la couche lipidique moins étalable et moins fonctionnelle (Tomlinson et al., 2011 ; Bron et al., 2017). La dérégulation liée à l'hypoxie et la signalisation inflammatoire apparaissent également comme des facteurs mécanistiques émergents impliqués dans la chronicité de la glande et sa dégénérescence structurelle (Liu et al., 2019 ; Liu et al., 2020). L'instabilité du film lacrymal qui en résulte et l'augmentation de l'évaporation entraînent la manifestation clinique de la DED évaporative.

1.4. Manifestations cliniques et diagnostic de la MGD

La MGD présente un continuum symptomatique fluctuant. Les symptômes fréquents incluent la sécheresse, la brûlure, la

sensation de corps étranger, la photophobie, le larmoiement et une vision variable, en particulier dans les situations qui sollicitent l'intégrité du film lacrymal, telles que l'utilisation d'appareils numériques et les environnements où l'air est en mouvement (Wolffsohn et al., 2017 ; Tomlinson et al., 2011). Les signes cliniques comprennent la télangiectasie du bord palpébral, l'irrégularité, l'obturation des orifices glandulaires, une expressibilité réduite des glandes et des modifications de la qualité du meibum (trouble, granuleux, de type « pâte dentifrice ») (Tomlinson et al., 2011). Le raccourcissement glandulaire ou le dropout constituent des manifestations structurelles de la maladie, détectables par méibographie (Di Cello et al., 2021 ; Tomlinson et al., 2011).

Les analyseurs de surface oculaire non invasifs ont renforcé le diagnostic objectif. Le protocole diagnostique de TFOS DEWS II s'appuie sur la stabilité du film lacrymal, l'analyse de la couche lipidique, l'estimation du volume lacrymal via la hauteur du ménisque, ainsi que l'imagerie de la morphologie glandulaire (Wolffsohn et al., 2017). La plateforme LacryDiag fournit des valeurs standardisées incluant le temps de rupture non invasif (NIBUT), l'analyse interférométrique de la couche lipidique, la hauteur du ménisque lacrymal et la méibographie, dont la fiabilité et la répétabilité sont établies par le suivi clinique (Ward et al., 2021 ; Sánchez-González et al., 2022 ; Pauk et al., 2023). Grâce à ces outils quantitatifs, il devient possible de réaliser une évaluation solide de la réponse thérapeutique et des variations inter-visites.

1.5. Prise en charge actuelle de la MGD et limites

La prise en charge traditionnelle de la MGD vise à rouvrir les canaux, normaliser la qualité du meibum et réduire l'inflammation secondaire. Parmi les méthodes couramment utilisées figurent les compresses chaudes, l'hygiène palpébrale, l'expression manuelle des glandes, les lubrifiants et, dans certains cas, une pharmacothérapie anti-inflammatoire ou antibiotique (Jones et al., 2017 ; Geerling et al., 2011). Les recommandations de TFOS DEWS II et de l'International Workshop on MGD préconisent une prise en charge progressive en fonction de la sévérité clinique et de la réponse du patient (Jones et al., 2017 ; Geerling et al., 2011).

Néanmoins, les soins traditionnels présentent des faiblesses importantes. Les traitements à domicile dépendent de l'adhérence du patient et de la bonne technique,

ce qui, à long terme, diminue leur efficacité. En outre, la maladie obstructive progressive répond généralement mal à une prise en charge non interventionnelle, et l'amélioration symptomatique peut être de courte durée si l'obstruction canalaire et les modifications du meibum ne sont pas corrigées (Jones et al., 2017). Ces limites ont stimulé l'intérêt actuel pour des thérapies physiques procédurales, réalisées en cabinet, visant une réhabilitation glandulaire plus fiable.

1.6. Nouvelles thérapies physiques pour la MGD

Les systèmes thermiques utilisés en cabinet servent à faire fondre le meibum épaissi et à évacuer mécaniquement les canaux, notamment par la pulsation thermique vectorisée. Les revues systématiques et les études cliniques ont montré une amélioration significative de la stabilité lacrymale, de la qualité du meibum, des paramètres de surface oculaire et des symptômes rapportés par les patients, ce qui confère à ces systèmes une place valide en tant qu'adjuvant procédural ou alternative dans les MGD modérées à sévères (Beining et al., 2022 ; Tao et al., 2023 ; Chen et al., 2025 ; Novo-Diez et al., 2022 ; Liu, Lin, and Gong, 2023).

Une autre modalité physique fondée sur les preuves est la thérapie par lumière pulsée intense (IPL). Les mécanismes proposés incluent une réduction de la vascularisation télangiectasique péri-palpébrale, une inhibition des médiateurs inflammatoires, un échauffement photothermique des glandes et une amélioration de l'expressibilité du meibum. Plusieurs études randomisées ou prospectives ainsi que des méta-analyses indiquent que l'IPL améliore le temps de rupture lacrymale, les propriétés de la couche lipidique, la qualité des sécrétions meibomiennes et les symptômes des patients, en particulier lorsqu'elle est combinée à l'expression glandulaire (Dell et al., 2017 ; Jiang et al., 2016 ; D'Souza et al., 2023 ; Toyos et al., 2022 ; Murtaza et al., 2021 ; Liu et al.,).

Des travaux récents suggèrent également que les thérapies physiques, lorsqu'elles sont combinées, peuvent produire des effets additifs ou synergiques. L'Idra Mask ACTIVA fournit une chaleur régulée et une vibration, conçues pour faire fondre le meibum et dégager la glande. Des séances ACTIVA répétées ont été associées à des améliorations objectives du film lacrymal et à une réduction des symptômes (Vigo et al., 2021 ; Vigo et al., 2023). Étant donné que l'IPL offre des effets anti-inflammatoires et photothermiques complémentaires, l'association de l'IPL avec ACTIVA et l'expression glandulaire est

théoriquement mieux placée pour renforcer le dégagement canalaire, normaliser les sécrétions et stabiliser le film lacrymal qu'une modalité unique (Weng et al., 2024 ; Min et al., 2024 ; Vergés et al., 2021 ; Vergés et al., 2022).

1.7. Problématique

L'évaluation clinique d'un protocole combinant l'IPL et l'Idra Mask ACTIVA doit encore être conduite de manière rigoureuse et objective, malgré l'utilité clinique établie de l'IPL et des traitements thermiques lorsqu'ils sont testés séparément. La littérature disponible constitue un ensemble hétérogène de paramètres de traitement, de plans de suivi et de variables de résultats ; en outre, la majorité des études évaluent des interventions en une seule étape plutôt que des traitements multi-étapes (Liu et al., 2020 ; Qin et al., 2023 ; Pratomo et al., 2024). Bien que les données méta-analytiques fournissent des preuves de l'efficacité globale de l'IPL, la qualité des données spécifiquement favorables à l'utilisation de protocoles combinés avec un masque thermique de type ACTIVA demeure faible (Peira et al., 2025 ; Tashbayev et al., 2020 ; Vigo et al., 2023). De plus, de nombreuses études antérieures se concentrent sur des échelles symptomatiques et des mesures cliniques simples, au lieu de recourir à des mesures quantitatives non invasives exhaustives. La présente thèse vise à combler ces lacunes en proposant des évaluations standardisées avant et après protocole, fondées sur des paramètres objectifs obtenus par LacryDiag.

1.8. Question de recherche et hypothèses

Question de recherche principale :

Un protocole thérapeutique combiné de lumière pulsée intense suivi de l'Idra Mask ACTIVA et d'une expression des glandes de Meibomius améliore-t-il les paramètres objectifs et subjectifs chez les patients atteints de dysfonctionnement des glandes de Meibomius ?

Hypothèse principale :

Un protocole structuré IPL + ACTIVA + expression glandulaire produit des améliorations statistiquement significatives des mesures objectives LacryDiag de la stabilité du film lacrymal et de la fonction des glandes de Meibomius (par exemple NIBUT, indices interférométriques de la couche lipidique, hauteur du ménisque lacrymal) après traitement. Cette attente concorde avec les preuves montrant une amélioration de la stabilité lacrymale et du meibum après IPL associée à l'expression et après des interventions de masquage thermique (Dell et al., 2017 ; Jiang et al., 2016 ; Toyos et al., 2022 ; Vigo et al., 2023).

Hypothèses secondaires :

1. Les symptômes rapportés par les patients atteints de DED évaporative diminuent significativement après le protocole combiné (D'Souza et al., 2023 ; Liu et al., 2020).
2. Les scores de méibographie reflètent une amélioration structurelle ou une stabilisation du dropout glandulaire après traitement (Vigo et al., 2023 ; Weng et al., 2024).
3. D'autres indices objectifs de surface oculaire, incluant la qualité de la couche lipidique et les marqueurs indirects du volume lacrymal, montrent une amélioration mesurable après protocole (Beining et al., 2022 ; Qin et al., 2023).

1.9. Objectif général et objectifs spécifiques

Objectif général :

Évaluer l'efficacité clinique d'un protocole combiné IPL + Idra Mask ACTIVA dans l'amélioration de l'homéostasie du film lacrymal et du statut des glandes de Meibomius chez des patients présentant une sécheresse évaporative liée à la MGD.

Objectifs spécifiques :

1. Quantifier les changements pré- et post-protocole du NIBUT dans les deux yeux à l'aide de LacryDiag (Pauk et al., 2023 ; Ward et al., 2021).
2. Évaluer les modifications de la couche lipidique du film lacrymal à travers des métriques interférométriques avant et après traitement (Willcox et al., 2017 ; Dell et al., 2017).
3. Mesurer les variations de la hauteur du ménisque lacrymal comme indicateur du volume lacrymal et de l'hydratation de la surface oculaire (Sánchez-González et al., 2022 ; Wolffsohn et al., 2017).
4. Examiner les modifications de la morphologie glandulaire et du pourcentage de dropout évalués par méibographie après la thérapie (Vigo et al., 2023 ; Ward et al., 2021).

1.10. Structure de la thèse

Cette thèse est organisée de manière à présenter une analyse cohérente du traitement combiné IPL et Idra Mask ACTIVA dans la MGD. Le chapitre 1 expose le cadre scientifique, la pertinence clinique, la problématique, la question de recherche, les hypothèses et les objectifs. Le chapitre 2 décrit la méthodologie,

comprenant le plan d'étude, la sélection des participants, le protocole thérapeutique et les mesures de résultats LacryDiag. Le chapitre 3 présente l'analyse statistique, les résultats et une évaluation comparative des paramètres de base et post-traitement. Le chapitre 4 contient la discussion des résultats au regard des cadres TFOS DEWS II et de la littérature existante sur les thérapies MGD basées sur des dispositifs, en précisant les implications cliniques et les limites. Le dernier chapitre propose les conclusions et recommandations pour la pratique clinique et les recherches futures.

2. Revue de littérature

2.1. Film lacrymal et surface oculaire : concepts actuels

Le film lacrymal est un appareil complexe, dynamique et multicouche qui est essentiel au maintien de l'homéostasie de la surface oculaire, de la qualité optique et de la protection épithéliale. TFOS DEWS II décrit l'activité du film lacrymal comme reposant sur un système complexe constitué d'une couche lipidique superficielle, d'une couche aqueuse-mucinique et de l'interface du glycocalyx épithélial, lesquelles sont rétablies à chaque clignement (Willcox et al., 2017 ; Wolffsohn et al., 2017). Les glandes de Meibomius sont les principales productrices de la couche lipidique, laquelle réduit l'évaporation et améliore la stabilité du film lacrymal en diminuant la tension de surface et en conférant à la couche réfractive une surface lisse (Willcox et al., 2017). Les nutriments, les facteurs antimicrobiens et l'hydratation sont apportés par le composant aqueux, tandis que les mucines stabilisent l'étalement et l'adhérence des larmes à l'épithélium de la surface oculaire (Bron et al., 2017 ; Willcox et al., 2017).

Le maintien du film lacrymal repose sur un équilibre finement régulé entre la sécrétion, la dispersion, l'évaporation, le drainage et le rétrocontrôle sensoriel. La rupture de cet équilibre entraîne une instabilité du film lacrymal et une hyperosmolarité, qui constituent des facteurs centraux de la physiopathologie de l'inflammation de la surface oculaire et du stress épithélial (Bron et al., 2017 ; Craig et al., 2017). TFOS DEWS II souligne que l'instabilité et l'hyperosmolarité créent un cercle vicieux : plus la stabilité est faible, plus l'évaporation est rapide, plus l'osmolarité augmente ; et plus l'osmolarité est élevée, plus s'activent des cascades inflammatoires qui déclenchent une détérioration supplémentaire de l'intégrité sécrétoire et épithéliale (Bron et al., 2017). Par

conséquent, les interventions thérapeutiques visant à restaurer la stabilité du film lacrymal, notamment par la réhabilitation de la couche lipidique, sont centrales dans la prise en charge réussie de la sécheresse oculaire évaporative.

2.2. Épidémiologie et fardeau de la MGD et de la sécheresse oculaire évaporative

La cause la plus fréquente de sécheresse oculaire évaporative dans le monde est la dysfonction des glandes de Meibomius (Nelson et al., 2011 ; Geerling et al., 2011). Selon les études épidémiologiques synthétisées dans TFOS DEWS II, les taux de prévalence de la DED varient selon les régions, l'âge, le sexe et les critères diagnostiques, mais demeurent constamment élevés dans les populations générales comme cliniques (Craig et al., 2017). La MGD progresse également avec l'âge et reste souvent sous-diagnostiquée en raison de la variabilité des symptômes et du caractère chronique des altérations glandulaires (Tomlinson et al., 2011 ; Nelson et al., 2011).

La sécheresse oculaire évaporative liée à la MGD induit non seulement une charge d'inconfort, mais aussi un véritable fardeau fonctionnel. Parmi les conséquences, une vision fluctuante, une baisse de l'endurance à la lecture, une incapacité à supporter des périodes d'écran prolongées et une diminution des performances à la conduite sont fréquemment rapportées par les patients présentant une instabilité du film lacrymal (Wolffsohn et al., 2017 ; Tomlinson et al., 2011). Selon le rapport TFOS DEWS II sur la prise en charge et la thérapie, on observe une diminution notable de la qualité de vie ainsi qu'une augmentation des dépenses socio-économiques, notamment par le recours aux soins et la perte de productivité (Jones et al., 2017). Étant donné la forte prévalence et l'importance des atteintes fonctionnelles, il existe un besoin clinique d'interventions susceptibles d'avoir des effets durables sur la fonction glandulaire et la stabilité du film lacrymal.

2.3. Outils diagnostiques de la MGD et de la sécheresse oculaire

Le diagnostic de la MGD et de la sécheresse oculaire évaporative associe l'analyse des symptômes à des évaluations cliniques et instrumentales spécifiques. Le système diagnostique international de la MGD recommande l'évaluation de l'intégrité du bord palpébral, de l'expressibilité des glandes, de la qualité du meibum, de la stabilité du film lacrymal et du profil de coloration de la surface oculaire (Tomlinson et al., 2011). La méthodologie diagnostique de TFOS DEWS II met également l'accent sur cette approche, en

privilégiant des tests objectifs et standardisés, particulièrement non invasifs, afin de minimiser la variabilité induite par les examens eux-mêmes (Wolffsohn et al., 2017).

Le temps de rupture non invasif (NIBUT) est désormais un paramètre central de l'évaluation de la stabilité du film lacrymal et est considéré comme ayant une valeur diagnostique dans la sécheresse évaporative. Selon des recherches récentes, la mesure interférométrique ou automatisée du NIBUT présente une excellente précision diagnostique et est corrélée à la sévérité clinique (Pauk et al., 2023). L'interférométrie permet d'évaluer la qualité et l'épaisseur de la couche lipidique en analysant les motifs d'interférences, fournissant ainsi un indice direct du rôle stabilisateur des lipides meibomiens sur les larmes (Di Cello et al., 2021). La hauteur du ménisque lacrymal constitue un critère substitutif valide du volume lacrymal et de l'humidification de la surface oculaire, à utiliser conjointement aux examens de stabilité dans une évaluation complète de la sécheresse oculaire (Wolffsohn et al., 2017).

La MGD, en particulier, est très sensible à l'examen par méibographie, qui permet l'observation directe de la morphologie glandulaire et la mesure du dropout. Le raccourcissement, la tortuosité et l'atrophie représentent des modifications structurales impliquées dans la stadification de la maladie et l'appréciation pronostique (Tomlinson et al., 2011 ; Di Cello et al., 2021). L'analyseur de surface oculaire LacryDiag regroupe le NIBUT, l'interférométrie, la hauteur du ménisque lacrymal et la méibographie dans un programme standardisé, permettant ainsi une mesure simultanée des dimensions fonctionnelles et structurales de la surface oculaire. Sa répétabilité clinique dans l'évaluation du meibum et du film lacrymal meibomien a été démontrée, et il peut être utilisé pour quantifier la réponse aux interventions (Ward et al., 2021 ; Sánchez-González et al., 2022). Ce type de quantification objective est particulièrement pertinent pour l'évaluation en conditions réelles d'un protocole thérapeutique combiné.

2.4. Traitements de la MGD orientés vers la physiopathologie

La prise en charge conventionnelle de la MGD est principalement centrée sur la physiopathologie, visant à décongestionner les canaux, améliorer la qualité du meibum et réduire l'inflammation. Les interventions de première intention comprennent l'hygiène palpébrale, les compresses chaudes, la

lubrification, une supplémentation en oméga-3 associée à l'alimentation, ainsi que des traitements topiques spécifiques (Geerling et al., 2011 ; Jones et al., 2017). L'utilisation de compresses chaudes améliore la perméabilité canalaire en augmentant la fluidité du meibum, tandis que l'hygiène des paupières diminue la charge bactérienne et les débris inflammatoires au niveau du bord palpébral (Geerling et al., 2011). Des interventions pharmacologiques (p. ex., tétracyclines, macrolides, collyres anti-inflammatoires) peuvent être prescrites en présence de facteurs inflammatoires ou infectieux (Jones et al., 2017).

Une procédure centrale destinée à vider les canaux obstrués et à rétablir la sécrétion lipidique est l'expression des glandes de Meibomius, réalisée soit manuellement, soit à l'aide de pinces spécifiques. L'expression est généralement recommandée après un ramollissement thermique afin d'obtenir une clarification maximale du meibum épaissi (Geerling et al., 2011 ; Jones et al., 2017). Toutefois, TFOS DEWS II indique que les interventions traditionnelles peuvent souvent produire des effets modestes ou de courte durée. La première raison tient à la diminution de l'adhérence aux soins à domicile au fil du temps, et la seconde au fait que l'obstruction glandulaire progressive peut ne pas s'améliorer de manière satisfaisante sous des thérapies conservatrices (Jones et al., 2017). Ces restrictions ont conduit à une utilisation croissante de thérapies physiques réalisées en cabinet, visant une réhabilitation plus régulière de la fonction glandulaire.

2.5. Lumière pulsée intense (IPL) dans la prise en charge de la MGD

La thérapie par IPL est devenue l'un des dispositifs dominants dans la prise en charge interventionnelle de la MGD. Bien que l'IPL ait été initialement utilisée en dermatologie, elle s'est également révélée efficace dans les maladies de la surface oculaire, en particulier la sécheresse évaporative survenant dans le contexte de la MGD et de la blépharite associée à la rosacée (Vergés et al., 2021 ; Vergés et al., 2022). Les mécanismes proposés incluent la photocoagulation des vaisseaux télangiectasiques péri-palpébraux anormaux, la réduction de l'afflux de médiateurs inflammatoires et des profils locaux de cytokines, l'éradication de Demodex et des colonies bactériennes, ainsi que le chauffage photothermique favorisant la liquéfaction du meibum et l'expressibilité glandulaire (Tashbayev et al., 2020 ; Jiang et al., 2016).

Des séances multiples d'IPL (habituellement 3 à 4 traitements espacés de 2 à

4 semaines) sont généralement utilisées pour traiter la zone de la paupière inférieure et la peau faciale adjacente, les séances étant souvent complétées par une expression des glandes de Meibomius afin de libérer les sécrétions ramollies (Dell et al., 2017 ; Jiang et al., 2016 ; Min et al., 2024). Les essais randomisés et prospectifs ont tous montré une augmentation remarquable de la stabilité lacrymale, de la qualité de la couche lipidique, de l'expressibilité glandulaire et une diminution de la sévérité des symptômes par rapport aux conditions basales ou de contrôle (Dell et al., 2017 ; D'Souza et al., 2023 ; Toyos et al., 2022). Ces résultats sont étayés par des méta-analyses démontrant une amélioration stable du temps de rupture et des indices symptomatiques, ainsi que des preuves indiquant que l'IPL peut être utilisée comme modalité efficace pour gérer la sécheresse évaporative associée à la MGD (Liu et al., 2020 ; Qin et al., 2023 ; Pratomo et al., 2024 ; Peira et al., 2025). Les profils de sécurité rapportés dans les différentes études sont excellents, et les effets les plus fréquents incluent un érythème transitoire ou un inconfort passager (Jiang et al., 2016 ; Murtaza et al., 2021).

Les travaux récents continuent de se concentrer sur l'IPL afin de perfectionner les paramètres et les méthodes de délivrance. Les résultats d'études comparatives utilisant différents filtres lumineux indiquent que la sélection de longueurs d'onde optimales peut déterminer l'ampleur de la réponse clinique, et que la spécificité du protocole est d'une importance primordiale (Lee et al., 2025). Par ailleurs, l'IPL a montré des effets positifs dans des affections palpébrales connexes telles que les chalazions récidivants, renforçant ainsi son intérêt thérapeutique sur la physiologie des glandes de Meibomius (Arita and Fukuoka, 2022). L'ensemble de ces études fournit un argumentaire solide en faveur de l'intégration de l'IPL dans des protocoles structurés de traitement de la MGD.

2.6. Masques et dispositifs thermiques (Idra Mask ACTIVA et similaires)

Une approche mécaniquement ciblée de la MGD obstructive repose sur l'utilisation de la chaleur, laquelle réduit la viscosité du meibum et améliore l'écoulement canalaire. Les systèmes de pulsation thermique vectorisée, tels que LipiFlow, sont considérés comme des dispositifs thermiques de cabinet offrant un ciblage glandulaire et une pression pulsatile permettant de comprimer et d'évacuer les glandes (Beining et al., 2022 ; Tao et al., 2023). Selon les revues systématiques et les méta-analyses, la pulsation

thermique est bénéfique pour la stabilité lacrymale, la qualité du meibum et le profil inflammatoire de la surface oculaire, ainsi que pour les symptômes des patients, indiquant que cette modalité est efficace en tant que traitement autonome ou complémentaire (Chen et al., 2025 ; Liu, Lin, and Gong, 2023 ; Novo-Diez et al., 2022).

L'Idra Mask ACTIVA est une modalité thermo-vibratoire relativement récente, visant à fournir un chauffage palpébral constant et une stimulation mécanique. Des séances ACTIVA répétées ont été rapportées, dans des études pilotes et longitudinales, comme étant associées à des améliorations significatives des mesures objectives du film lacrymal et des symptômes subjectifs, ce qui suggère des avantages sur la fonction glandulaire et la stabilité lacrymale (Vigo et al., 2021 ; Vigo et al., 2023). La composante vibratoire peut favoriser la mobilisation du meibum et la clairance canalaire, améliorant ainsi l'action de la chaleur seule. Ces résultats sont cohérents avec les données globales montrant que les interventions thermiques contrôlées peuvent induire des améliorations cliniquement significatives dans la MGD obstructive.

2.7. Approches de traitement combiné (IPL + chaleur + expression)

Compte tenu de la physiopathologie multifactorielle de la MGD (incluant l'obstruction canalaire, la modification de la composition du meibum, l'inflammation péri-palpébrale et les altérations vasculaires), les thérapies combinées suscitent un intérêt croissant. La combinaison théorique de l'IPL, du ramollissement thermique et de l'expression glandulaire permet de cibler simultanément plusieurs déterminants de la maladie : l'IPL réduit la charge inflammatoire et microbienne/Demodex au niveau cutané tout en procurant un effet photothermique réchauffant, et les masques thermiques augmentent l'efficacité de l'expression mécanique (Tashbayev et al., 2020 ; Beining et al., 2022).

Il existe des indications selon lesquelles l'association de l'IPL à l'expression glandulaire entraîne des changements plus importants que l'IPL seule, notamment en termes de stabilité du film lacrymal et de qualité du meibum (Dell et al., 2017 ; Toyos et al., 2022). Par ailleurs, les données relatives aux interventions physiques combinées ou multimodales dans les MGD réfractaires montrent des résultats cliniques supérieurs à ceux des traitements à modalité unique, suggérant un effet additif potentiel (Weng et al., 2024). Les gains objectifs observés avec l'intégration du masque ACTIVA dans des schémas thérapeutiques sériés, venant

conceptuellement compléter les effets de l'IPL, suggèrent l'existence d'une voie synergique entre ces deux modalités (Vigo et al., 2023). Des études comparatives récentes sur l'IPL soulignent également que l'inclusion de certains sites de traitement et l'ajustement des protocoles peuvent influencer les résultats ; ainsi, les protocoles combinés ne sont pas nécessairement équivalents à des interventions isolées (Min et al., 2024).

Bien que la littérature spécifique sur l'association IPL + Idra Mask ACTIVA demeure encore limitée, la convergence des preuves soutenant l'IPL (Liu et al., 2020 ; Qin et al., 2023 ; Peira et al., 2025) et le masquage thermo-vibratoire (Vigo et al., 2021 ; Vigo et al., 2023) constitue un argument solide en faveur de l'exploration d'un protocole intégré IPL + ACTIVA + expression par pinces dans une cohorte clinique réelle.

2.8. Synthèse des lacunes de la littérature

Bien que l'IPL et les thérapies thermiques disposent d'une base de preuves de plus en plus robuste, plusieurs lacunes persistent. Premièrement, la littérature montre une forte hétérogénéité concernant les paramètres de traitement, la fréquence des séances, les types d'appareils et les définitions des critères de jugement, ce qui entrave la comparabilité inter-études et limite la standardisation des protocoles (Tashbayev et al., 2020 ; Pratomo et al., 2024 ; Peira et al., 2025).

Deuxièmement, bien que les méta-analyses sur l'IPL confirment une efficacité globale, un nombre relativement restreint de travaux évalue des schémas structurés en plusieurs étapes associant l'IPL à des masques thermiques contemporains et à des méthodes d'expression standardisées ; la valeur ajoutée de ces combinaisons n'est donc pas établie de façon concluante (Liu et al., 2020 ; Qin et al., 2023 ; Weng et al., 2024).

Troisièmement, une large part de la recherche actuelle privilégie les questionnaires symptomatiques et des mesures cliniques rudimentaires au détriment des mesures objectives non invasives. TFOS DEWS II affirme explicitement l'intérêt d'une évaluation standardisée et quantitative de la stabilité lacrymale et de la morphologie glandulaire (Wolffsohn et al., 2017), alors que les études utilisant des analyseurs intégrés comme LacryDiag restent peu nombreuses. La répétabilité des paramètres LacryDiag démontrée dans la littérature soutient leur pertinence pour le monitoring de la réponse thérapeutique, et le manque de données

cliniques sur l'utilisation de ces mesures dans des procédures combinées IPL + ACTIVA constitue une limite (Ward et al., 2021 ; Sánchez-González et al., 2022).

Dans cette perspective, il apparaît nécessaire de mener des études supplémentaires afin de valider des régimes combinés standardisés, fondés sur des mesures objectives et reproductibles de la surface oculaire. Cette thèse vise à répondre à ces lacunes en évaluant l'efficacité d'un protocole combiné incluant l'IPL, l'Idra Mask ACTIVA et l'expression des glandes de Meibomius pour la prise en charge de la sécheresse évaporative liée à la MGD, en utilisant des mesures LacryDiag telles que le NIBUT, l'interférométrie, la hauteur du ménisque lacrymal et la méibographie dans une cohorte de patients en situation réelle.

2.9. Cadre conceptuel de l'étude

L'hypothèse est que la dysfonction des glandes de Meibomius (MGD) aggrave la sécheresse oculaire évaporative en obstruant les canaux, en altérant la qualité du meibum et en réduisant la couche lipidique du film lacrymal, conduisant finalement à une instabilité du film lacrymal. Ces mécanismes sont ciblés par l'intervention combinée comprenant la lumière pulsée intense (IPL) suivie de l'Idra Mask ACTIVA (chaleur et vibration contrôlées) et de l'expression des glandes de Meibomius, laquelle agit en réduisant l'inflammation péri-palpébrale et les télangiectasies, en liquéfiant le meibum épaissi et en restaurant mécaniquement l'écoulement glandulaire (Dell et al., 2017 ; Tashbayev et al., 2020 ; Vigo et al., 2023).

Dans ce cadre, on anticipe des changements favorables des paramètres LacryDiag après traitement, à savoir une augmentation du NIBUT, une amélioration de la qualité lipidique évaluée par interférométrie, une hauteur du ménisque lacrymal optimisée lorsque nécessaire, ainsi qu'une diminution du dropout glandulaire en méibographie ou une amélioration de la structure glandulaire (Ward et al., 2021 ; Sánchez-González et al., 2022).

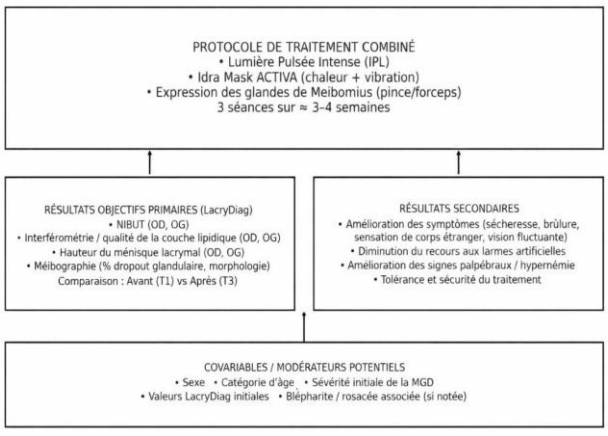


Figure 1.

Cadre conceptuel de l'étude : effets attendus du protocole combiné IPL–Idra Mask ACTIVA–expression

sur les paramètres LacryDiag et les symptômes de MGD

3. Méthodologie

3.1. Type de mémoire et plan d'étude

Ce mémoire constitue une étude clinique empirique reposant sur un protocole interventionnel prospectif à un seul bras. Un plan pré–post (intra-sujets) a été adopté afin de déterminer l'effet d'un régime thérapeutique combiné sur la sécheresse oculaire évaporative liée à la dysfonction des glandes de Meibomius (MGD), chaque participant servant de témoin pour lui-même. Cette méthodologie correspond au schéma habituellement utilisé dans les évaluations cliniques des thérapies de MGD fondées sur des dispositifs, permettant de mesurer, en conditions de pratique réelle, les variations de la stabilité du film lacrymal et de l'activité des glandes de Meibomius en réponse au traitement (Dell et al., 2017 ; Jiang et al., 2016 ; Toyos et al., 2022).

3.2. Cadre de l'étude et période de réalisation

La recherche a été menée dans un centre ophtalmologique spécialisé, à savoir, Laser Vision Hazmieh, Liban, comprenant un service de diagnostic et traitement de MGD par LacryDiag, Thermaeye IPL et Idra Mask ACTIVA. L'ensemble des procédures d'évaluation clinique et des séances d'intervention a été réalisé dans le même environnement et selon des protocoles standardisés, afin de réduire l'erreur de mesure inter-visites, conformément aux recommandations diagnostiques de TFOS DEWS II et aux protocoles non invasifs modernes d'évaluation de la sécheresse oculaire (Wolffsohn et al., 2017 ; Di Cello et al., 2021 ; Sánchez-González et al., 2022). Les données ont été recueillies entre le premier test pré-traitement effectué en novembre 2023 et le dernier test post-traitement réalisé en juillet 2025, en accord avec les calendriers de suivi clinique usuels des traitements à base d'IPL (Dell et al., 2017 ; Min et al., 2024).

3.3. Population étudiée et sélection de l'échantillon

La population étudiée est constituée de patients avec MGD cliniquement confirmée et une sécheresse oculaire évaporative. Les critères d'éligibilité reposent sur un examen systématique combinant l'évaluation des symptômes, l'analyse palpébrale et du film lacrymal, ainsi que des mesures objectives LacryDiag, conformément aux critères diagnostiques internationaux de la MGD et de la sécheresse oculaire (Nelson et al., 2011 ; Tomlinson et al., 2011 ; Wolffsohn et al., 2017). Les participants ont été inclus de manière

séquentielle tout au long de la période d'étude, constituant une cohorte clinique en conditions réelles. L'échantillon final comprend n = 50 patients répondant aux critères d'éligibilité et ayant bénéficié du programme thérapeutique.

Tableau 1. Critères d'inclusion et d'exclusion

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Diagnostic clinique confirmé de dysfonction des glandes de Meibomius (DGM/MGD) selon les recommandations internationales.	Toute contre-indication à la lumière pulsée intense (IPL), incluant une photosensibilité connue ou la prise de médicaments photosensibilisants.
Présence de symptômes compatibles avec une sécheresse oculaire évaporative (sécheresse, brûlure, sensation de corps étranger, larmoiement, vision fluctuante).	Phototype cutané et/ou affection dermatologique faciale jugés non compatibles avec l'IPL selon les consignes de sécurité du dispositif.
Âge compris dans l'intervalle prédéfini de l'étude.	Infection oculaire active, conjonctivite allergique sévère ou pathologie significative de la surface oculaire non liée à la MGD.
Évaluation initiale par LacryDiag montrant une instabilité du film lacrymal et/ou des altérations meibomiennes compatibles avec la MGD.	Maladie auto-immune systémique principalement associée à une sécheresse aqueuse (sauf si stable et sans modification thérapeutique pendant l'étude).
Capacité et volonté de réaliser l'ensemble des séances et des visites de suivi.	Début récent ou modification récente d'un traitement pouvant influencer le film lacrymal ou la fonction meibomienne (ex. ciclosporine topique, corticoïdes, tétracyclines systémiques) durant la période de sevrage.
	Grossesse ou allaitement, selon la politique clinique.

Il s'agit des exigences de sécurité liées à l'IPL, ainsi que des conditions cliniques nécessaires pour isoler une sécheresse oculaire évaporative associée à la MGD (Craig et al., 2017 ; Jones et al., 2017 ; Jiang et al., 2016 ; Murtaza et al., 2021 ; Tashbayev et al., 2020).

3.4. Considérations éthiques

Les participants n'ont été inclus qu'après avoir reçu une explication complète des objectifs de l'étude, des procédures, des bénéfices

attendus et des risques potentiels, et avoir signé un consentement éclairé écrit. L'anonymisation, assurée par l'utilisation d'identifiants codés, ainsi qu'un stockage sécurisé des données avec accès limité, ont garanti la confidentialité. Ces démarches sont conformes aux recommandations de TFOS DEWS II pour la recherche clinique portant sur la sécheresse oculaire (Craig et al., 2017 ; Jones et al., 2017).

3.5. Protocole clinique

3.5.1. Visite de base (T0)

Un recueil des antécédents médicaux et oculaires a été effectué au moment de la visite initiale, avec une attention particulière portée à la durée des symptômes, aux traitements antérieurs administrés pour la prise en charge de la sécheresse oculaire, aux comorbidités systémiques ainsi qu'aux facteurs environnementaux. Un questionnaire symptomatique détaillé l'Ocular Surface Disease Index (OSDI), a été proposé afin de mesurer la sévérité subjective, conformément aux recommandations de prise en charge de TFOS DEWS II (Jones et al., 2017). L'analyseur de surface oculaire LacryDiag a ensuite été utilisé pour une évaluation objective réalisée dans des conditions environnementales contrôlées et selon une séquence standardisée. Le temps de rupture non invasif (NIBUT), les mesures interférométriques de la couche lipidique, la hauteur du ménisque lacrymal et la méibographie des paupières inférieures ont été effectués afin d'évaluer la qualité du film lacrymal et de quantifier le dropout glandulaire et la morphologie (Ward et al., 2021 ; Sánchez-González et al., 2022 ; Pauk et al., 2023). À noter que la répétabilité du LacryDiag dans l'évaluation de la surface oculaire et des glandes de Meibomius constitue un argument en faveur de son utilisation pour mesurer la réponse au traitement (Ward et al., 2021).

3.5.2. Protocole de traitement IPL avec ThermaEye

Le système ThermaEye IPL a été utilisé pour délivrer la lumière pulsée intense. L'application de l'IPL a été centrée sur les zones périorbitaires et malaires proches des paupières inférieures, conformément aux instructions du fabricant et aux recommandations existantes concernant l'IPL dans la MGD (Dell et al., 2017 ; Jiang et al., 2016 ; Tashbayev et al., 2020 ; Min et al., 2024). Les réglages de l'appareil, incluant la plage de longueurs d'onde, la fluence, le nombre d'impulsions et le nombre de passages, ont été standardisés [ou ajustés au phototype lorsque nécessaire] et alignés sur des paramètres validés en fonction du phototype, tels que retenus dans les études antérieures (Jiang et al., 2016 ;

Murtaza et al., 2021 ; Lee et al., 2025). Des coques oculaires de protection ont été mises en place afin d'éviter toute exposition oculaire, et un gel de contact a été appliqué pour maximiser la transmission de l'énergie et réduire l'inconfort thermique. Une surveillance de la tolérance et de la sécurité a été assurée pendant et après chaque séance, en tenant compte des profils de tolérabilité reconnus et rapportés dans les essais cliniques et méta-analyses sur l'IPL (Jiang et al., 2016 ; Murtaza et al., 2021 ; Qin et al., 2023 ; Peira et al., 2025).

3.5.3. Protocole Idra Mask ACTIVA

La thérapie thermo-vibratoire a été appliquée au moyen de l'Idra Mask ACTIVA immédiatement après chaque séance d'IPL, pour une durée de 15 minutes. Le masque fournit aux paupières une chaleur précise de 42°C associée à des vibrations permettant de liquéfier le meibum épaissi et de vider les canaux, ce qui est soutenu par les données issues d'études pilotes et de traitements sériés dans des cohortes de MGD (Vigo et al., 2021 ; Vigo et al., 2023). Les programmes de température ont été utilisés conformément au protocole de l'appareil, et la chronologie par rapport à l'IPL a été maintenue aussi constante que possible afin d'optimiser les bénéfices thermiques séquentiels (Beining et al., 2022 ; Vigo et al., 2023).

3.5.4. Expression des glandes de Meibomius

Après l'application d'ACTIVA, l'expression des glandes de Meibomius a été réalisée manuellement à l'aide de pinces de Meibomius. Une pression graduelle le long de la plaque tarsale a été appliquée afin d'évacuer les sécrétions stagnantes. Cette procédure est recommandée dans les systèmes internationaux de prise en charge de la MGD et est fréquemment intégrée aux protocoles IPL pour améliorer la clairance des canaux obstrués (Geerling et al., 2011 ; Jones et al., 2017 ; Dell et al., 2017). Le confort de patient a été assuré par une technique bien contrôlée avec introduction de courtes pauses lorsque nécessaire.

3.5.5. Calendrier de traitement

Le traitement a consisté en trois séances d'IPL, suivies d'Idra Mask ACTIVA et d'expression glandulaire, espacées de 15 jours, et organisées selon la chronologie suivante : T0 (baseline, LacryDiag), T1 (après la séance 1), T2 (après la séance 2) et T3 (après la séance 3 / suivi final). Ce calendrier est conforme aux régimes thérapeutiques IPL publiés ayant montré une efficacité clinique dans la MGD (Dell et al., 2017 ; Toyos et al., 2022 ; Min et al., 2024 ; Vergés et al., 2021).

3.6. Mesures des résultats

3.6.1. Variables de résultat principales

Les paramètres objectifs LacryDiag utilisés pour mesurer la stabilité du film lacrymal et l'état des glandes de Meibomius constituent les critères de jugement principaux. Les résultats primaires comprennent le NIBUT, le motif/score ou la qualité de la couche lipidique mesurée par interférométrie, ainsi que le dropout glandulaire et la morphologie évalués par méibographie, en comparant la situation de base au suivi final. Ces pratiques sont conformes aux critères diagnostiques de TFOS DEWS II et aux recherches antérieures sur l'IPL et les thérapies thermiques, lesquelles ont rapporté des résultats positifs sur des critères similaires (Wolffsohn et al., 2017 ; Dell et al., 2017 ; Jiang et al., 2016 ; Vigo et al., 2023).

3.6.2. Variables de résultat secondaires

Les critères secondaires comprenaient la variation de la hauteur du ménisque lacrymal, la variation des scores symptomatiques lorsque des questionnaires étaient utilisés, ainsi que l'enregistrement des effets indésirables ou de l'inconfort lors de chaque visite. La hauteur du ménisque lacrymal est communément considérée comme un substitut du volume lacrymal dans la méthodologie TFOS DEWS II, tandis que la surveillance de la tolérance permet de documenter le profil de risque souhaitable des interventions IPL et thermiques (Wolffsohn et al., 2017 ; Jiang et al., 2016 ; Murtaza et al., 2021 ; Beining et al., 2022).

3.6.3. Temps de mesure

Les mesures de référence ont été relevées avant la première séance et lors de la visite post-traitement, et la comparaison inférentielle principale a été réalisée entre la situation initiale et le suivi final, après la troisième séance.

3.7. Collecte et gestion des données

Les données cliniques et les résultats LacryDiag ont été consignés au moyen de formulaires standardisés de recueil de cas, puis saisis dans une base de données électronique protégée par mot de passe. L'identification des participants a été effectuée à l'aide d'identifiants codés uniques. Des contrôles de cohérence et des vérifications régulières des données ont été appliqués afin d'assurer leur intégrité, conformément aux bonnes pratiques en recherche clinique sur la surface oculaire (Wolffsohn et al., 2017 ; Sánchez-González et al., 2022).

3.8. Analyse statistique

IBM SPSS Statistics [version 27.0] a été utilisé pour les analyses statistiques. Les variables continues ont été résumées sous forme de moyennes et d'écarts-types lorsqu'elles étaient normalement distribuées, ou de

médianes et d'intervalles interquartiles lorsqu'elles ne l'étaient pas, tandis que les variables catégorielles ont été décrites par des fréquences et des pourcentages. La normalité des distributions a été vérifiée à l'aide du test de Shapiro–Wilk et des graphiques Q–Q. Les tests t appariés ont été appliqués aux variables présentant une distribution normale, et les tests de Wilcoxon pour rangs signés aux variables non normales, dans les comparaisons pré–post. Lorsque plus de deux temps de mesure étaient disponibles, une ANOVA à mesures répétées ou un test de Friedman a été utilisé, avec des tests post hocs ajustés par Bonferroni. Le seuil de significativité statistique a été fixé à $p < 0,05$, et l'impact des données manquantes a été traité par exclusion listwise dans chaque analyse, conformément aux pratiques standard dans les études publiées sur les interventions de MGD (Dell et al., 2017 ; Jiang et al., 2016 ; Liu et al., 2020 ; Qin et al., 2023).

3.9. Limites méthodologiques et biais potentiels

Le plan de recherche présente plusieurs limites inhérentes aux méthodologies d'études cliniques. Bien qu'il soit comparable à ce qui est réalisable en conditions réelles, la taille de l'échantillon peut restreindre la puissance statistique et la généralisation des résultats. L'absence de groupe contrôle limite la capacité à établir une causalité claire et peut laisser place à un effet placebo ou à une régression vers la moyenne. Des variables confondantes potentielles incluent l'exposition environnementale, l'usage inconstant de soins complémentaires à domicile et d'autres traitements oculaires concomitants. Enfin, bien que LacryDiag soit un instrument non invasif fournissant des mesures standardisées, une certaine variabilité opérateur peut survenir en raison de légères variations dans l'acquisition des méibographies et dans la technique d'expression glandulaire. Ces limites sont reconnues afin de contextualiser les résultats et d'orienter de futures études contrôlées (Jones et al., 2017 ; Tashbayev et al., 2020 ; Beining et al., 2022).

4. Résultats

4.1. Description de l'échantillon de l'étude

Au total, cinquante ($n = 50$) participants ont été inclus et analysés, sans données manquantes pour les paramètres LacryDiag rapportés, ce qui garantit l'exhaustivité des comparaisons intra-sujets. L'échantillon est majoritairement féminin, avec 35 femmes (70,0 %) et 15 hommes (30,0 %). La distribution par classes d'âge est relativement homogène : 18–30 ans (18,0 %), 31–45 ans (28,0 %), 46–60 ans (28,0

%) et 61–80 ans (26,0 %). Cette structure démographique confère à l'échantillon une diversité suffisante pour refléter une population clinique réelle présentant une dysfonction des glandes de Meibomius (MGD). Les caractéristiques cliniques initiales sont compatibles avec MGD obstructive associée à une sécheresse oculaire évaporative, comme en témoignent les valeurs basales de stabilité du film lacrymal, de qualité lipidique et de morphologie glandulaire décrites ci-après.

Tableau 1.

Caractéristiques démographiques de l'échantillon (Section 4.1)

Variable	Catégorie	n	%
Sexe (Gendre)	Femmes	35	70,0
	Hommes	15	30,0
Tranche d'âge	18–30 ans	9	18,0
	31–45 ans	14	28,0
	46–60 ans	14	28,0
	61–80 ans	13	26,0

4.2. Paramètres de base de la surface oculaire et du LacryDiag

L'évaluation initiale par LacryDiag a mis en évidence une instabilité lacrymale et une atteinte meibomienne significatives dès T0. Le NIBUT moyen a été de 7,88 ± 3,13 s à l'œil droit (OD) et de 8,34 ± 3,98 s à l'œil gauche (OG), avec des médianes respectives de 7,30 s et 7,05 s, traduisant une rupture précoce du film lacrymal. L'interférométrie a montré une couche lipidique altérée, avec une moyenne de 29,00 ± 23,80 nm (OD) et 27,55 ± 24,83 nm (OG), et une forte dispersion interindividuelle, ce qui est cohérent avec l'hétérogénéité clinique habituelle de la MGD. La hauteur du ménisque lacrymal a été de 0,1718 ± 0,0513 mm (OD) et 0,1662 ± 0,0545 mm (OG), indiquant une déficience globale du volume lacrymal. Enfin, la méibographie a révélé une perte glandulaire substantielle, avec un pourcentage moyen de dropout de 45,86 ± 16,17 % (OD) et 45,68 ± 15,56 % (OG), confirmant une atteinte structurelle notable des glandes de Meibomius au départ.

Tableau 2.

Paramètres LacryDiag de base à T0 (Section 4.2)

Paramètre basal (T0)	Œil	Moyenne	ET	Médiane (IQR)	Min–Max
NIBUT (s)	OD	7,884	3,125	7,30 (4,6)	3,9–18,1
	OG	8,336	3,976	7,05 (5,4)	4,2–25,2
Interférométrie (nm)	OD	29,000	23,798	30,00 (15,0)	7,5–120,0
	OG	27,553	24,825	15,00 (15,0)	0,15–120,0
Hauteur du ménisque lacrymal (mm)	OD	0,1718	0,0513	0,165 (0,07)	0,07–0,27
	OG	0,1662	0,0545	0,165 (0,06)	0,04–0,31
Méibographie (%)	OD	45,86	16,17	46,00 (28)	14–76

	OG	45,68	15,56	43,00 (27)	16–84

L'analyse comparative pré-/post-traitement met en évidence une amélioration statistiquement significative de l'ensemble des paramètres fonctionnels et structurels évalués.

Concernant la stabilité du film lacrymal, les tests de Wilcoxon pour séries appariées ont montré une augmentation hautement significative du NIBUT dans les deux yeux après le protocole. La quasi-totalité des participants a présenté une amélioration (48 rangs positifs sur 50 pour OD et OG), avec des valeurs de Z de −5,924 (OD) et −6,083 (OG), $p < 0,001$. Ces résultats traduisent un renforcement homogène de la stabilité lacrymale au sein de la cohorte.

A propos de la qualité de la couche lipidique, l'interférométrie a également changé de manière significative

4.3. Changements après le protocole IPL + Idra Mask ACTIVA

. Les comparaisons appariées indiquent une amélioration post-thérapeutique dans la majorité des cas (33 rangs positifs OD et 34 rangs positifs OG), avec Z = −4,595 (OD) et Z = −4,982 (OG), $p < 0,001$. Cette évolution est compatible avec une restauration fonctionnelle de la sécrétion meibomienne et une meilleure organisation de la couche lipidique superficielle.

La hauteur du ménisque lacrymal a augmenté de façon significative après traitement, traduisant une amélioration du contexte hydrique de surface ou de la dynamique de rétention lacrymale. Les tests de Wilcoxon montrent une prédominance des améliorations post-protocole (33 rangs positifs OD et 42 rangs positifs OG), avec Z = −3,798 (OD) et Z = −5,289 (OG), $p < 0,001$.

Tableau 3.

Tests de Wilcoxon pour variables non normales (T0 vs T3) (Section 4.3)

Variable (Après vs Avant)	Rangs négatifs n	Rangs positifs n	Égalités n	Z	P
NIBUT OD (s)	1	48	1	−5,924	< 0,001
NIBUT OG (s)	1	48	1	−6,083	< 0,001
Interférométrie OD (nm)	4	33	13	−4,595	< 0,001
Interférométrie OG (nm)	2	34	14	−4,982	< 0,001
Ménisque lacrymal OD (mm)	10	33	7	−3,798	< 0,001
Ménisque lacrymal OG (mm)	5	42	3	−5,289	< 0,001

Relativement à la meibographie, les

résultats des tests t appariés indiquent une amélioration morphologique hautement significative des glandes de Meibomius entre l'évaluation initiale (T0) et l'évaluation finale (T3). À l'œil droit (OD), le pourcentage moyen de dropout glandulaire est passé de 45,86 % (ET = 16,17) à 33,64 % (ET = 13,37), correspondant à une réduction moyenne de 12,22 points. Cette diminution est statistiquement très significative ($t(49) = 15,26$; $p < 0,001$) et associée à une taille d'effet élevée (d de Cohen = 1,14), suggérant un impact substantiel du protocole thérapeutique sur l'intégrité glandulaire.

De manière concordante, à l'œil gauche (OG), le dropout moyen a diminué de 45,68 % (ET = 15,56) à 32,96 % (ET = 14,25), soit une réduction moyenne de 12,72 points. Cette évolution est également hautement significative ($t(49) = 16,15$; $p < 0,001$) avec une taille d'effet importante (d = 1,05).

Tableau 4.

Tests t appariés pour la méibographie (T0 vs T3) (Section 4.3)

Œil	Temps	Moyenne (%)	ET	Différence moyenne	t (ddl=49)	P	d de Cohen
OD	T0 (Avant)	45,86	16,17	12,22	15,26	< 0,001	1,14
	T3 (Après)	33,64	13,37				
OG	T0 (Avant)	45,68	15,56	12,72	16,15	< 0,001	1,05
	T3 (Après)	32,96	14,25				

5. Discussion

Les résultats de cette étude démontrent une amélioration bilatérale, statistiquement très significative et cliniquement pertinente des principaux paramètres LacryDiag après le protocole combiné IPL + Idra Mask ACTIVA + expression. Les hypothèses ont donc été confirmées dans une large mesure. L'augmentation du NIBUT traduit une meilleure stabilité du film lacrymal et une diminution de la rupture précoce, ce qui est attendu lorsque la couche lipidique retrouve une efficacité fonctionnelle. L'amélioration de l'interférométrie suggère en effet une restauration de la qualité et de la continuité du film lipidique, cohérente avec une sécrétion meibomienne plus fluide et mieux répartie. De plus, la méibographie met en évidence une amélioration structurelle robuste et bilatérale après le protocole combiné IPL + Idra Mask ACTIVA + expression glandulaire. L'ampleur des tailles d'effet observées renforce la pertinence clinique de cette amélioration, en suggérant non seulement une différence statistique, mais également un changement morphologique notable susceptible de soutenir une meilleure fonctionnalité meibomienne et une stabilisation durable du film lacrymal.

La comparaison avec les travaux

antérieurs évaluant l'IPL comme modalité isolée révèle des résultats globalement concordants, notamment sur la stabilité lacrymale et la qualité lipidique. Des études récentes ont toutefois montré que l'ampleur de l'effet de l'IPL peut varier en fonction des filtres utilisés et du spectre délivré, influençant le rendement thermique et l'impact anti-inflammatoire (Lee et al., 2025). Le protocole combiné de la présente étude pourrait donc réduire cette variabilité inter-individuelle en ajoutant une thermothérapie standardisée immédiatement après l'IPL, suivie d'une expression mécanique systématique. Cette séquence favorise un continuum thérapeutique allant du ramollissement photothermique initial à une fluidification prolongée et à une évacuation active des sécrétions obstructives. La cohérence directionnelle des changements sur plusieurs indicateurs objectifs soutient l'idée d'un effet additionnel du protocole multimodal.

Par ailleurs, les études sur les traitements thermiques en cabinet et sur l'expression glandulaire rapportent des gains substantiels de stabilité lacrymale et de qualité du meibum, surtout lorsqu'ils sont réalisés de manière sériée et associés à une expression efficace (Tao et al., 2023). L'Idra Mask ACTIVA, en fournissant une chaleur uniforme et une vibration continue, est susceptible d'optimiser la mobilisation lipidique avant l'expression, ce qui pourrait expliquer l'ampleur des améliorations observées en interférométrie et en méibographie. Le fait que des bénéfices de l'IPL aient été rapportés dans d'autres affections liées à l'obstruction meibomienne, telles que les chalazions récidivants, renforce également la plausibilité biologique d'un impact direct sur la fonction glandulaire (Arita & Fukuoka, 2022).

Sur le plan de la pratique optométrique, ces résultats plaident en faveur d'une intégration structurée de ce protocole combiné dans les algorithmes de prise en charge de la MGD modérée à sévère, particulièrement chez les patients insuffisamment améliorés par les traitements de première intention. La séquence IPL–ACTIVA–expression est pragmatique, réalisable en clinique d'optométrie équipée, et compatible avec un suivi standardisé. Trois séances espacées de quinze jours paraissent suffisantes pour induire une amélioration objective importante, tout en restant acceptables sur le plan organisationnel. La sélection des patients doit toutefois tenir compte des contre-indications à l'IPL et de la sévérité initiale de la MGD afin d'optimiser le rapport bénéfice–risque.

L'étude présente plusieurs forces. L'usage d'une batterie de mesures non invasives et quantitatives permet de documenter un bénéfice objectif multidimensionnel, limitant le biais lié à la subjectivité des symptômes. La standardisation du protocole combiné renforce la validité interne et facilite la reproductibilité clinique. Néanmoins, des limites doivent être reconnues. L'absence de groupe contrôle ne permet pas d'exclure totalement un effet contextuel ou une régression vers la moyenne. La taille d'échantillon, bien qu'adéquate pour des comparaisons intra-sujets, réduit la généralisation des résultats. Le suivi à court terme ne permet pas d'apprécier la durabilité de l'effet, point essentiel dans une pathologie chronique.

En conséquence, de futures recherches devraient privilégier des essais randomisés contrôlés comparant les modalités isolées et combinées, avec un suivi prolongé et une harmonisation stricte des paramètres techniques. L'intégration de marqueurs biologiques ou inflammatoires compléterait utilement les données LacryDiag pour mieux relier l'amélioration clinique aux mécanismes d'action et identifier les profils de patients les plus répondeurs.

6. Conclusion

Cette étude a évalué l'impact d'un protocole combinant la lumière pulsée intense, l'Idra Mask ACTIVA et l'expression des glandes de Meibomius chez des patients présentant un dysfonctionnement des glandes de meibomius associé à une sécheresse oculaire évaporative. Les résultats montrent une amélioration objective significative et bilatérale de la stabilité du film lacrymal, de la qualité de la couche lipidique, de la hauteur du ménisque lacrymal et de la morphologie glandulaire. Ces changements indiquent que l'intervention agit à la fois sur la composante fonctionnelle de la sécheresse évaporative et sur l'atteinte structurelle sous-jacente des glandes, ce qui confirme la pertinence physiopathologique du protocole.

Les objectifs principaux ont été atteints, en particulier la démonstration d'un gain de stabilité lacrymale et d'une amélioration lipidique mesurable, ainsi que la réduction du dropout en méibographie. Les hypothèses formulées au départ sont donc globalement validées, avec des effets d'ampleur importante observés sur les indicateurs clés. L'ensemble des résultats converge vers l'idée qu'une approche multimodale, combinant action photothermique, thermothérapie prolongée et

évacuation mécanique, permet une restauration satisfaisante de l'écosystème lacrymal.

Sur le plan clinique, le message final est que ce protocole peut constituer une option efficace et réaliste pour la prise en charge des MGD modérées à sévères en pratique optométrique, à condition de respecter les critères de sélection et les mesures de sécurité liées à l'IPL. Cette approche offre une amélioration objective tangible susceptible d'être associée à un bénéfice fonctionnel durable pour les patients. Enfin, ces résultats ouvrent des perspectives de valorisation scientifique et clinique, notamment par des études contrôlées de plus grande envergure, ainsi que par une diffusion dans des revues et congrès spécialisés en surface oculaire et optométrie.

Références

Arita, R., & Fukuoka, S. (2022). Therapeutic efficacy and safety of intense pulsed light for refractive multiple recurrent chalazia. *Journal of Clinical Medicine*, *11*(18), 5338.

Beining, M. W., Magnø, M. S., Moschowits, E., Olafsson, J., Vehof, J., Dartt, D. A., & Utheim, T. P. (2022). In-office thermal systems for the treatment of dry eye disease. *survey of ophthalmology*, *67*(5), 1405-1418.

Bron, A. J., de Paiva, C. S., Chauhan, S. K., Bonini, S., Gabison, E. E., Jain, S., ... & Sullivan, D. A. (2017). Tfos dews ii pathophysiology report. *The ocular surface*, *15*(3), 438-510.

Chen, K. Y., Chan, H. C., & Chan, C. M. (2025). Is a thermal pulsation system (LipiFlow) effective as a standalone treatment for meibomian gland dysfunction and dry eye? A systematic review and meta-analysis. *Therapeutic Advances in Ophthalmology*, *17*, 25158414251338775.

Craig, J. P., Nichols, K. K., Akpek, E. K., Caffery, B., Dua, H. S., Joo, C. K., ... & Stapleton, F. (2017). TFOS DEWS II definition and classification report. *The ocular surface*, *15*(3), 276-283.

D'Souza, S., James, E., Koul, A., Modak, D., Kundu, G., & Shetty, R. (2023). A randomized controlled study evaluating outcomes of intense pulsed light and low-level light therapy for treating meibomian gland dysfunction and evaporative dry eye. *Indian Journal of Ophthalmology*, *71*(4), 1608-1612.

Dell, S. J., Gaster, R. N., Barbarino, S. C., & Cunningham, D. N. (2017). Prospective evaluation of intense pulsed light and meibomian gland expression efficacy on relieving signs and symptoms of dry eye disease due to meibomian gland dysfunction. *Clinical Ophthalmology*, 817-827.

Di Cello, L., Pellegrini, M., Vagge, A., Borselli, M., Ferro Desideri, L., Scorcia, V., ... & Giannaccare, G. (2021). Advances in the noninvasive diagnosis of dry eye disease. *Applied Sciences*, *11*(21), 10384.

Geerling, G., Tauber, J., Baudouin, C., Goto, E., Matsumoto, Y., O'Brien, T., ... & Nichols, K. K. (2011). The international workshop on meibomian gland dysfunction: report of the subcommittee on management and treatment of meibomian gland dysfunction. *Investigative ophthalmology*

& visual science, *52*(4), 2050-2064.

Jiang, X., Lv, H., Song, H., Zhang, M., Liu, Y., Hu, X., ... & Wang, W. (2016). Evaluation of the safety and effectiveness of intense pulsed light in the treatment of meibomian gland dysfunction. *Journal of ophthalmology*, *2016*(1), 1910694.

Jones, L., Downie, L. E., Korb, D., Benitez-del-Castillo, J. M., Dana, R., Deng, S. X., ... & Craig, J. P. (2017). TFOS DEWS II management and therapy report. *The ocular surface*, *15*(3), 575-628.

Lee, H., Jeon, Y. Y., Eah, K. S., Park, N., Lee, Y. E., Han, J., ... & Lee, H. (2025). A comparative study of intense pulsed light with two different filters in meibomian gland dysfunction: a prospective randomized study. *Journal of Clinical Medicine*, *14*(1), 199.

Liu, S., Tang, S., Dong, H., & Huang, X. (2020). Intense pulsed light for the treatment of Meibomian gland dysfunction: A systematic review and meta-analysis. *Experimental and Therapeutic Medicine*, *20*(2), 1815-1821.

Liu, W., Lin, T., & Gong, L. (2023). Meibomian gland dysfunction patients benefit in ocular parameters and tear chemokines after thermal pulsation treatment. *International Journal of Medical Sciences*, *20*(1), 11.

Liu, Y., Chen, D., Chen, X., Kam, W. R., Hatton, M. P., & Sullivan, D. A. (2019). Hypoxia: a breath of fresh air for the meibomian gland. *The ocular surface*, *17*(2), 310-317.

Liu, Y., Wang, J., Chen, D., Kam, W. R., & Sullivan, D. A. (2020). The role of hypoxia-inducible factor 1α in the regulation of human meibomian gland epithelial cells. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *61*(3), 1-1.

Min, J. S., Jun, I., Kim, T. I., Arita, R., & Seo, K. Y. (2024). Comparison of Intense Pulsed Light Treatments including Upper Lid or Lateral Canthus in Patients of Meibomian Gland Dysfunction. *Journal of Clinical Medicine*, *13*(12), 3581.

Murtaza, F., Toameh, D., Al-Habib, S., Maini, R., Chiu, H. H., Tam, E. S., & Somani, S. (2021). Safety and efficacy of broadband intense pulsed light therapy for dry eye disease with meibomian gland dysfunction. *Clinical Ophthalmology*, 3983-3991.

Nelson, J. D., Shimazaki, J., Benitez-del-Castillo, J. M., Craig, J. P., McCulley, J. P., Den, S., &

Foulks, G. N. (2011). The international workshop on meibomian gland dysfunction: report of the definition and classification subcommittee. *Investigative ophthalmology & visual science*, *52*(4), 1930-1937.

Novo-Diez, A., López-Miguel, A., Fernández, I., Blanco-Vázquez, M., Valencia-Sandonís, C., Enríquez-de-Salamanca, A., ... & Calonge, M. (2022). Effect of a single vectored thermal pulsation treatment of Meibomian gland dysfunction patients under controlled environmental conditions. *Scientific Reports*, *12*(1), 16761.

Pauk, S. V., Petriček, I., Tomić, M., Bulum, T., Jandroković, S., Gulić, M. P., ... & Gaćina, D. L. (2023). Diagnostic accuracy of non-invasive tear film break-up time assessed by the simple manual interferometric device. *Contact Lens and Anterior Eye*, *46*(2), 101776.

Peira, N., Ali, E. M., Modén, N. K., Fjellgren, E., Lennmarken, C., & Hultcrantz, M. (2025). Effectiveness and safety of intense pulsed light therapy for dry eye symptoms due to meibomian gland dysfunction—A systematic review and meta-analysis. *Acta Ophthalmologica*, *103*(4), 371-379.

Pratomo, T. G., Zaifar, A., Wibowo, N. P., Suryono, A. N., & Aziza, Y. (2024). Current application of intense pulsed light for the management of dry eye disease: A systematic review and meta-analysis. *Indian Journal of Ophthalmology*, *72*(Suppl 2), S183-S190.

Qin, G., Chen, J., Li, L., Zhang, Q., Xu, L., Yu, S., ... & Pazo, E. E. (2023). Efficacy of intense pulsed light therapy on signs and symptoms of dry eye disease: a meta-analysis and systematic review. *Indian Journal of Ophthalmology*, *71*(4), 1316-1325.

Sánchez-González, M. C., Capote-Puente, R., García-Romera, M. C., De-Hita-Cantalejo, C., Bautista-Llamas, M. J., Silva-Viguera, C., & Sánchez-González, J. M. (2022). Dry eye disease and tear film assessment through a novel non-invasive ocular surface analyzer: The OSA protocol. *Frontiers in medicine*, *9*, 938484.

Tao, J. P., Shen, J. F., Aakalu, V. K., Foster, J. A., Freitag, S. K., McCulley, T. J., ... & Wladis, E. J. (2023). Thermal pulsation in the management of meibomian gland dysfunction and dry eye: a report by the

American academy of ophthalmology. *Ophthalmology*, *130*(12), 1336-1341.

Tashbayev, B., Yazdani, M., Arita, R., Fineide, F., & Utheim, T. P. (2020). Intense pulsed light treatment in meibomian gland dysfunction: A concise review. *The ocular surface*, *18*(4), 583-594.

Tomlinson, A., Bron, A. J., Korb, D. R., Amano, S., Paugh, J. R., Pearce, E. I., ... & Dogru, M. (2011). The international workshop on meibomian gland dysfunction: report of the diagnosis subcommittee. *Investigative ophthalmology & visual science*, *52*(4), 2006-2049.

Toyos, R., Desai, N. R., Toyos, M., & Dell, S. J. (2022). Intense pulsed light improves signs and symptoms of dry eye disease due to meibomian gland dysfunction: A randomized controlled study. *PLoS One*, *17*(6), e0270268.

Vergés, C., de Ribot, F. M., Salgado-Borges, J., & Gonzalez, J. (2022). Prospective evaluation of intense pulsed light treatment for meibomian gland dysfunction and blepharitis due to ocular rosacea. *European Journal of Dermatology*, *32*(4), 505-515.

Vergés, C., Salgado-Borges, J., & de Ribot, F. M. (2021). Prospective evaluation of a new intense pulsed light, thermaeye plus, in the treatment of dry eye disease due to meibomian gland dysfunction. *Journal of optometry*, *14*(2), 103-113.

Vigo, L., Pellegrini, M., Carones, F., Scorcia, V., & Giannaccare, G. (2021). Short-Term Effects of a Novel Eye Mask Producing Heat and Vibration for the Treatment of Meibomian Gland Dysfunction: A Pilot Study. *Journal of Ophthalmology*, *2021*(1), 1370002.