

Erreur réfractive après la chirurgie de la cataracte utilisant la formule Barrett Universal II

Rita KARAM HAIBY

SAERA. School of Advanced Education Research and Accreditation

RÉSUMÉ

Objectif : Comparer la précision prédictive de quatre formules de calcul de la puissance de l'implant intraoculaire (SRK II, SRK/T, Holladay I et Barrett Universal II) chez des patients opérés de la cataracte présentant une longueur axiale normale.

Méthodes : Une étude observationnelle analytique rétrospective a été réalisée chez des patients opérés de cataracte présentant une longueur axiale comprise entre 22 et 24,5mm. Les performances prédictives des différentes formules biométriques ont été évaluées à l'aide de l'erreur absolue moyenne (Mean Absolute Error, MAE), de la racine de l'erreur quadratique moyenne (Root Mean Square Error, RMSE) et de la proportion d'yeux atteignant les seuils cliniquement pertinents de $\pm 0,25$ D, $\pm 0,50$ D et $\pm 1,00$ D. Des comparaisons statistiques appropriées ont été réalisées pour l'analyse des données.

Résultats : L'analyse a porté sur 200 yeux issus de 132 patients. La formule Barrett Universal II a présenté la meilleure précision prédictive globale, avec la plus faible erreur absolue moyenne (MAE = 0,2376 D) et la plus faible dispersion des erreurs. Les formules Holladay I (MAE = 0,2635 D) et SRK/T (MAE = 0,2861 D) ont montré des performances intermédiaires, tandis que la formule SRK II a présenté la précision la plus faible (MAE = 0,3451 D). Sur le plan clinique, 65,5 % des yeux calculés avec Barrett Universal II se situaient dans l'intervalle $\pm 0,25$ D, contre 63,0 % pour Holladay I, 58,0 % pour SRK/T et 46,0 % pour SRK II.

Conclusion : Chez les patients présentant une longueur axiale normale, la formule Barrett Universal II offre une précision prédictive supérieure aux autres formules évaluées pour le calcul de la puissance des implants intraoculaires.

Mots-clés :

Biométrie oculaire ; chirurgie de la cataracte ; implant intraoculaire ; calcul de puissance de l'implant ; Barrett Universal II ; erreur de prédiction réfractive.

INTRODUCTION

La chirurgie de la cataracte constitue l'une des inventions chirurgicales les plus couramment pratiquées en ophtalmologie moderne. Historiquement centrée sur la restauration de la transparence des milieux oculaires et l'amélioration de l'acuité visuelle, elle s'inscrit aujourd'hui dans une logique de chirurgie réfractive, visant non seulement à améliorer la vision, mais également à optimiser la qualité visuelle postopératoire et à rapprocher le résultat réfractif de l'emmétropie (Lundström et al., 2018).

L'évolution des attentes des patients, de plus en plus orientées vers une réduction de la dépendance aux corrections optiques, a renforcé l'exigence de précision dans le calcul de la puissance de l'implant intraoculaire (IOL). Même une erreur réfractive postopératoire modérée peut compromettre la qualité visuelle fonctionnelle et influencer négativement la satisfaction globale du patient, dans un contexte où la chirurgie de la cataracte est désormais perçue comme une intervention à visée réfractive (Cooke & Cooke, 2016).

Au cours des dernières décennies, les formules biométriques utilisées pour le calcul de la puissance des implants intraoculaires ont connu une évolution majeure. Les modèles empiriques initiaux, tels que la formule SRK II, ont progressivement laissé place à des formules théoriques plus sophistiquées intégrant un nombre croissant de paramètres biométriques, notamment SRK/T, Holladay I et plus récemment Barrett Universal II (Barrett,

2013 ; Hoffer, 2012). Ces avancées ont permis d'améliorer la prédiction de la réfraction postopératoire, en particulier grâce à une modélisation biométrique plus avancée permettant d'améliorer la précision de la prédiction réfractive. Cependant, malgré ces progrès, une variabilité persistante de l'erreur prédictive demeure en pratique clinique. Cette variabilité est influencée par plusieurs facteurs biométriques, notamment la longueur axiale, la kératométrie cornéenne et les limites intrinsèques des modèles de prédiction de l'ELP (Norrby, 2008). Si de nombreuses études se sont intéressées aux performances des formules dans des biométries extrêmes, une incertitude subsiste quant à la formule offrant la meilleure précision chez les patients présentant une longueur axiale dans les valeurs dites normales, alors même que ce groupe représente une proportion importante des candidats à la chirurgie de la cataracte (Melles et al., 2018 ; Kane et al., 2016).

Dans ce contexte, apparaît pertinent de conduire une analyse comparative reposant sur des données cliniques réelles, issues d'une population homogène, afin d'identifier la formule biométrique offrant la meilleure fiabilité prédictive dans ce sous-groupe spécifique.

Objectif principal

Comparer la précision prédictive des formules SRK II, SRK/T, Holladay I et Barrett Universal II chez des patients opérés de cataracte présentant une longueur axiale comprise entre 22 et 24,5 mm.

Objectifs secondaires

- Évaluer l'erreur de prédiction moyenne et absolue pour chaque formule biométrique.
- Comparer la proportion des yeux obtenant un résultat réfractif dans les intervalles $\pm 0,25$ D, $\pm 0,50$ D et $\pm 1,00$ D.
- Identifier la formule offrant la meilleure fiabilité clinique au sein de cette population.

Organisation du mémoire

Ce mémoire présente successivement une revue critique de la littérature scientifique, le cadre conceptuel et méthodologique de l'étude, l'analyse des résultats statistiques, une discussion approfondie des données obtenues, puis une conclusion générale accompagnée de recommandations cliniques et de perspective de recherche.

REVUE DE LA LITTÉRATURE

1-La cataracte : bases cliniques, mécanismes et enjeux visuels

La cataracte correspond à une opacification progressive du cristallin, entraînant une altération de la transmission lumineuse vers la rétine et une dégradation variable de la fonction visuelle. Elle constitue l'une des principales causes de baisse visuelle réversible chez la population âgée et représente un enjeu majeur de santé publique en ophtalmologie (Kanski & Bowling, 2016).

La cataracte résulte principalement de la dénaturation et de l'agrégation des protéines cristalliniennes, conduisant à une

désorganisation de l'architecture interne du cristallin. Cette altération favorise la diffusion de la lumière, réduit le contraste et compromet la netteté de l'image rétinienne (Touhami, S., 2021). La cataracte sénile, survenant généralement après l'âge de 60-70 ans sans cause spécifique identifiable, constitue la forme la plus fréquente et la principale indication de chirurgie du cristallin chez l'adulte âgé (Yanoff & Duker, 2019).

Bien que le vieillissement physiologique demeure le principal facteur étiologique, la cataracte peut également être associée à diverses causes secondaires, notamment traumatiques, métaboliques, iatrogènes ou congénitales. D'autres facteurs de risque sont reconnus sont, l'exposition chronique aux rayonnements ultraviolets, le tabagisme, le diabète, ainsi que des influences environnementales et nutritionnelles (Touhami, S., 2021 ; Yanoff & Duker, 2019).

Sur le plan clinique, la cataracte est classée selon la localisation anatomique de l'opacification et son impact fonctionnel sur la vision. La cataracte nucléaire est associée à une myopie d'indice progressive, la cataracte corticale, responsable d'éblouissements et de fluctuations visuelle, ainsi que les cataractes sous-capsulaires, souvent liées à une gêne visuelle marquée, notamment en condition de forte luminosité (Touhami, S., 2021).

2-La chirurgie de la cataracte : d'une restauration visuelle à une chirurgie réfractive

Historiquement destinée à restaurer la transparence des milieux oculaires, la chirurgie de la cataracte a progressivement

évolué vers une intervention à visée réfractive. Aujourd'hui, l'objectif ne se limite plus à l'amélioration de l'acuité visuelle, mais inclut l'optimisation du résultat réfractif postopératoire et l'obtention d'une réfraction la plus proche possible de l'emmétropie (Lundström et al., 2018).

Cette évolution s'accompagne d'une exigence accrue de précision dans le calcul de la puissance de l'implant intraoculaire. Une erreur réfractive postopératoire, même modérée, peut altérer la qualité visuelle et influencer négativement la satisfaction du patient, soulignant le rôle central biométrique dans le succès de l'intervention (Cooke & Cooke, 2016).

Dans ce contexte, les recommandations des sociétés savantes, notamment la Société Française d'Ophtalmologie (SFO, 2026), insistent sur l'importance d'une biométrie rigoureuse, d'un choix approprié de la formule de calcul de la puissance de l'implant intraoculaire (IOL) et d'une planification personnalisée intégrant les paramètres anatomiques du patient.

3-Fondements biométriques et sources d'erreur dans le calcul d'implant

Le calcul de la puissance d'un implant intraoculaire repose sur plusieurs paramètres biométriques essentiels, incluant la longueur axiale, la kératométrie cornéenne, la profondeur de la chambre antérieure, l'épaisseur du cristallin et l'estimation de la position effective de l'implant (Effective Lens Position, ELP) (Norrby, 2008).

Toute imprécision dans la mesure ou l'interprétation de ces paramètres peut

conduire à une erreur réfractive postopératoire cliniquement significative. Bien que les biomètres optiques modernes, tels que le Lenstar et l'IO Master, ont permis d'améliorer la reproductibilité et la fiabilité des mesures, certaines limites persistent, notamment en cas de cataractes denses, d'irrégularités cornéennes ou de fixation instable (Savini et al., 2020).

Comme le souligne Norrby (2008), l'erreur réfractive postopératoire résulte d'une interaction multifactorielle entre la qualité des données biométriques, la modélisation de l'ELP, l'optimisation des constantes d'implant, la technique chirurgicale et les caractéristiques individuelles des patients. Dans ce contexte, la qualité biométrique constitue un facteur plus déterminant que le choix de la formule elle-même.

4-Évolution des formules biométriques et performances comparatives

Les formules de calcul de la puissance des implants intraoculaires ont connu une évolution progressive, passant de modèles empiriques basés sur des relations de régression, tels que la formule SRK II, à des modèles théoriques plus avancés intégrant des principes d'optique géométrique, notamment SRK/T et Holladay I (Hoffer, 1993 ; Holladay, 1996).

Les formules modernes, en particulier Barrett Universal II, reposent sur une modélisation théorique avancée de la position effective de l'implant, intégrant simultanément plusieurs paramètres biométriques afin d'améliorer la précision prédictive (Barrett, 2015). De nombreuses études comparatives publiées dans des revues majeures, rapportent une

supériorité des formules de génération récente, notamment chez les yeux présentant une longueur axiale normale (Kane et al., 2016 ; Melles et al., 2018).

Toutefois, certaines analyses suggèrent que SRK/T et Holladay I peuvent offrir des performances comparables dans des populations spécifiques, indiquant que les différences observées entre formules ne sont pas toujours cliniquement majeures, malgré une significativité statistique (Cooke & Cooke, 2016). Ces constats soulignent l'importance d'une interprétation nuancée des performances biométriques.

5-Intelligence artificielle, personnalisation du calcul et optimisation des constantes

L'intégration de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique a conduit au développement de nouvelles formules biométriques, telles que Kane, EVO et Hill-RBF, qui exploitent de vastes bases de données cliniques pour modéliser des relations non linéaires complexes entre les paramètres biométriques et le résultat réfractif postopératoire (Koch, D. D., 2017).

Toutefois, chez les patients présentant une biométrie normale, leur avantage clinique par rapport à Barrett Universal II demeure parfois modeste (Savini et al., 2020).

Par ailleurs, l'optimisation des constantes d'implant, notamment via des bases de données internationales telles que l'ULIB, constitue un levier essentiel pour améliorer la fiabilité du calcul de la puissance d'implant et réduire les biais systématiques propres à chaque centre chirurgical (Norrby, 2008).

6-Significativité statistique, pertinence clinique et rôle de l'optométriste

Une différence statistiquement significative entre formules biométriques ne correspond pas nécessairement à un bénéfice clinique perceptible ; l'interprétation des résultats doit donc s'appuyer sur des indicateurs cliniquement pertinents, notamment la proportion d'yeux atteignant les seuils $\pm 0,25$ D, $\pm 0,50$ D et $\pm 1,00$ D (Savini et al., 2020 ; Cooke & Cooke, 2016). Dans ce contexte, la qualité des mesures biométriques et leur interprétation constituent un élément déterminant du résultat réfractif postopératoire (Gatinel, 2019).

7-Besoin scientifique et justification de la présente étude

Malgré l'abondance de travaux consacrés, aux formules biométriques, plusieurs limites persistent dans la littérature scientifique, notamment l'hétérogénéité des cohortes, la variabilité des protocoles chirurgicaux et la diversité des dispositifs biométriques utilisés, ce qui complique la génération des résultats (Melles et al., 2018). Relativement peu d'études se concentrent exclusivement sur des populations présentant une longueur axiale strictement normale, alors que ce groupe représente une proportion importante des candidats à la chirurgie de la cataracte. De plus, la performance des formules peut dépendre de facteurs locaux, tels que le biomètre utilisé, l'optimisation des constantes d'implant et les pratiques chirurgicales propres à chaque centre. Dans ce contexte, la présente étude s'inscrit dans une démarche visant à évaluer, au sein d'une population homogène d'yeux

présentant une longueur axiale comprise entre 22 et 24,5 mm, la précision comparative des formules SRK II, SRK/T, Holladay I et Barrett Universal II. L'objectif est de produire des résultats directement applicables à la pratique clinique et de contribuer à l'optimisation des décisions biométriques en chirurgie de la cataracte.

CADRE CONCEPTUEL ET JUSTIFICATION THEORIQUE

1-Logique théorique du calcul de la puissance de l'implant intraoculaire

Le calcul de la puissance d'un implant intraoculaire repose sur un modèle optique théorique de l'œil pseudophaque, dans lequel le résultat postopératoire est déterminé par l'interaction entre la puissance cornéenne, la puissance de l'implant et la puissance finale de celui-ci dans l'œil. Cette position, appelée position effective de l'implant (Effective Lens Position, ELP), constitue l'un des paramètres les plus déterminants dans la précision du résultat réfractif (Norrby, 2008). Une variation minime dans l'estimation de l'ELP peut entraîner une erreur réfractive cliniquement significative. Ainsi, même en présence de mesures biométriques précises, une prédiction imparfaite de la position postopératoire de l'implant peut conduire à un résultat visuel éloigné de la cible souhaitée (Olsen, 2007). Les premières générations de formules biométriques reposaient sur des relations empiriques simplifiées, établissant un lien approximatif entre la longueur axiale et la position probable de l'implant. Au fil du temps, les modèles théoriques ont intégré un nombre croissant de paramètres anatomiques – notamment la profondeur de la chambre

antérieure, l'épaisseur du cristallin et la kératométrie – permettant une modélisation plus fine, individualisée et physiologiquement cohérente de l'œil pseudophaque (Barrett, 2015 ; Kane et al., 2016).

2-Concepts clés et variables de l'étude

Dans le cadre de la présente recherche, la variable indépendante correspond à la formule biométrique utilisée pour le calcul de la puissance de l'implant intraoculaire. Pour cette analyse, nous avons choisi de nous concentrer sur quatre modèles de référence : SRK II, SRK/T, Holladay I et Barrett Universal II (Cooke & Cooke, 2016). Le cœur de notre évaluation repose sur l'erreur de prédiction réfractive, c'est-à-dire le décalage réel entre la vision mesurée après l'opération et celle que la formule avait anticipée (Norrby, 2008). C'est cet écart qui nous sert de boussole pour juger de la fiabilité de chaque modèle. En complément, nous avons examiné l'erreur absolue moyenne (MAE) et le pourcentage de patients atteignant les seuils de précision standards en chirurgie de la cataracte, soit $\pm 0,25$ D, $\pm 0,50$ D et $\pm 1,00$ D (Savini et al., 2020). Enfin, pour garantir que nos résultats ne soient pas faussés par des éléments extérieurs, nous avons strictement encadré l'étude : nous n'avons inclus que des yeux à longueur axiale normale et utilisé un matériel unique qu'il s'agisse du biomètre, du modèle d'implant ou du protocole chirurgical lui-même (Melles et al., 2018).

3-Hypothèse scientifique et fondement théorique

La présente étude repose sur l'hypothèse que les formules biométriques intégrant un plus grand nombre de paramètres anatomiques et reposant sur une modélisation avancée de la position effective de l'implant permettent d'améliorer la précision du résultat réfractif postopératoire (Barrett, 2015).

En d'autres termes, plus une formule est capable d'estimer avec exactitude la position finale de l'implant, plus elle est susceptible de produire un résultat visuel proche de la cible réfractive souhaitée (Kane et al., 2016).

Dans ce cadre, il est théoriquement plausible que des formules modernes reposant sur des modèles optiques avancés – telles que Barrett Universal II – offrent une stabilité prédictive supérieure à celle des modèles plus anciens basés principalement sur des relations empiriques, comme SRK II (Cooke & Cooke, 2016).

4-Cohérence entre cadre conceptuel et choix méthodologique

Le choix d'une étude observationnelle analytique rétrospective repose sur la disponibilité de données cliniques réelles, permettant d'évaluer la performance des formules biométriques dans des conditions proches de la pratique quotidienne (Norrby, 2008).

Cette approche favorise une validité externe satisfaisante, car elle reflète les résultats obtenus dans un contexte clinique réel. Bien que l'absence de randomisation puisse constituer une limite sur le plan méthodologique, cette contrainte est partiellement compensée par l'utilisation de mesures appariées chez les mêmes patients, ce qui renforce la robustesse des

comparaisons statistiques (Savini et al., 2020). Par ailleurs, la restriction de l'échantillon aux yeux présentant une longueur axiale normale vise à réduire l'influence des biométries extrêmes – connues pour majorer l'erreur prédictive – et à améliorer la pertinence clinique des résultats obtenus (Melles et al., 2018).

5-Portée théorique et limites du modèle conceptuel

Malgré les améliorations apportées par les formules biométriques modernes, une précision réfractive absolue ne peut être garantie en pratique clinique. Cette limitation s'explique par la variabilité biologique interindividuelle, les limites techniques des instruments biométriques, les phénomènes de cicatrisation postopératoire ainsi que certaines variations liées à la technique chirurgicale. Le calcul de la puissance de l'implant intraoculaire doit ainsi être considéré comme une approche probabiliste visant à réduire le risque d'erreur réfractive plutôt qu'à atteindre une précision théorique absolue. Ce cadre conceptuel constitue le fondement scientifique justifiant l'analyse comparative réalisée dans la présente étude.

MATÉRIELS ET MÉTHODE

Type de l'étude

Il s'agit d'une étude observationnelle analytique rétrospective avec comparaison appariée intraoculaire.

Population cible et lieu de l'étude

La population cible était constituée de patients opérés de cataracte et suivis en préopératoire et en postopératoire dans un centre unique : le Centre d'Ophtalmologie de l'Hôpital du Levant (Beyrouth, Liban). Le recrutement a concerné des patients consécutifs opérés au cours de la période d'étude, afin de limiter les biais de sélection. Chaque œil a été considéré comme une unité statistique distincte dans le cadre de l'analyse.

Bilan préopératoire

Le bilan préopératoire comprenait le recueil des antécédents médicaux et ophtalmologiques, incluant les pathologies générales, les traitements en cours et les éventuels antécédents chirurgicaux. Un examen ophtalmologique complet a été réalisé, comprenant la mesure de l'acuité visuelle de loin et de près, une réfraction objective et subjective, un examen du segment antérieur à la lampe à fente, ainsi qu'un examen du fond d'œil après dilatation pupillaire.

Les investigations complémentaires incluaient la mesure de la pression intraoculaire, une biométrie oculaire complète (longueur axiale et kératométrie) réalisée à l'aide du biomètre optique Lenstar-LS900, une topographie cornéenne afin d'exclure toute irrégularité ou ectasie, une évaluation endothéliale lorsque nécessaire, ainsi qu'un examen maculaire par tomographie en cohérence optique (OCT).

Toute pathologie oculaire susceptible d'influencer les résultats visuels ou réfractifs, notamment les atteintes rétinien-

significatives, constituait un critère d'exclusion. L'ensemble de ce bilan visait à optimiser le calcul de la puissance de l'implant intraoculaire et à permettre la comparaison des prédictions issues des différentes formules biométriques avec le résultat réfractif postopératoire.

Procédure chirurgicale et implant

Toutes les interventions ont été réalisées par un seul chirurgien, afin de réduire la variabilité liée à la technique opératoire. La chirurgie a été effectuée par phacoémulsification standard, avec implantation systématique du même modèle d'implant intraoculaire : CT ASPHINA 409 M Zeiss (implant monofocal).

L'utilisation d'un implant identique pour l'ensemble des cas a permis de limiter les biais liés aux différences de constantes ou de design optique.

Le suivi postopératoire principal a été réalisé à un mois et trois mois, incluant une réfraction subjective et le calcul de l'équivalence sphérique postopératoire.

Taille de l'échantillon

L'unité statistique retenue pour l'analyse était l'œil, permettant une comparaison appariée des performances prédictives des différentes formules biométriques.

Critères d'inclusion

Ont été inclus dans l'étude :

- Des patients présentant une cataracte nécessitant une chirurgie,
- Un âge compris entre 50 et 75 ans,

- Une topographie cornéenne normale (absence de kératocône ou d'ectasie),
- Un OCT maculaire normal,
- Une longueur axiale comprise entre 22 et 24,5 mm,
- Une kératométrie moyenne comprise entre 42,5 et 45 D,
- L'absence de diabète,
- Un astigmatisme cornéen inférieur à 0,75 D

Critères d'exclusion

Ont été exclus :

- Les patients présentant un glaucome non contrôlé,
- Un antécédent de chirurgie oculaire dans les six mois précédents,
- Un diabète non contrôlé ou une pathologie systématique instable,
- Des complications peropératoires ou postopératoires significatives,
- Une incapacité à assurer un suivi postopératoire complet.

Collecte des données

Les données ont été collectées de manière rétrospective à partir des dossiers médicaux et des résultats biométriques, incluant :

- Les valeurs réfractives prédites par chaque formule étudiée (Barrett Universal II, SRK II, SRK/T, Holladay I),
- L'équivalence sphérique postopératoire réelle mesurée à trois mois (référence clinique),
- Les principales variables biométriques : longueur axiale, kératométrie et paramètres du segment antérieur.

Le tableau complet des données est présenté en Annexe A.

Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel IBM SPSS Statistics version 26. L'unité statistique retenue pour l'analyse était l'œil. Avant l'analyse, la base de données a été vérifiée afin d'identifier d'éventuelles valeurs manquantes, incohérences ou valeurs aberrantes.

La performance des formules biométriques a été évaluée à partir de l'erreur de prédiction réfractive (Prediction Error, PE), définie comme la différence entre l'équivalence sphérique postopératoire mesurée à trois mois et la réfraction prédite par chaque formule. L'erreur absolue ($|PE|$) a été utilisée afin d'évaluer la précision indépendamment du biais directionnel.

Les performances ont été décrites à l'aide de la moyenne et de la médiane du PE, de l'erreur absolue moyenne (Mean Absolute Error, MAE), de l'erreur absolue médiane (Median Absolute Error, MedAE) et de la racine de l'erreur quadratique moyenne (Root Mean Square Error, RMSE). L'évaluation clinique reposait également sur la proportion d'yeux présentant une erreur absolue inférieure aux seuils de $\pm 0,25$ D, $\pm 0,50$ D et $\pm 1,00$ D.

Les comparaisons globales entre les quatre formules pour les variables continues (PE et $|PE|$) ont été réalisées à l'aide du test non paramétrique de Friedman pour mesures répétées. En cas de résultat significatif, des comparaisons post-hoc ont été effectuées à l'aide du test de Wilcoxon pour séries

appariées, avec correction pour comparaisons multiples selon la méthode de Holm (ou Bonferroni).

Afin d'évaluer la pertinence clinique des performances réfractives, l'erreur absolue a été catégorisée selon les seuils classiquement utilisés en chirurgie de la cataracte ((PE) $\leq$ 0,25 D.

Les proportions d'yeux atteignant les différents seuils d'erreur absolue ont été comparées à l'aide du test de Cochran (Cochran's Q) pour données appariées, suivi, lorsque nécessaire, de comparaisons post-hoc par test de McNemar avec correction pour comparaisons multiples.

Le seuil de significativité statistique a été fixé à $p < 0,05$ pour l'ensemble des analyses.

Considérations éthiques

Les données ont été extraites rétrospectivement des dossiers médicaux et anonymisées avant l'analyse, garantissant la confidentialité et la protection des informations personnelles des patients.

L'étude a été conduite conformément aux principes de la Déclaration d'Helsinki et aux règles applicables à la recherche clinique rétrospective au sein de l'établissement.

Le protocole a été validé par l'autorité institutionnelle compétente, et l'utilisation des données cliniques a respecté les

exigences en matière de respect de la vie privée et de conformité éthique.

RÉSULTATS

Présentation générale des résultats

Après application des critères d'inclusion et d'exclusion, 200 yeux issus de 132 patients ont été inclus dans l'analyse. Parmi eux, 68 patients ont contribué par les deux yeux et 64 par un seul œil. La population comprenait 75 femmes (56,8 %) et 57 hommes (43,2 %). L'âge des patients était compris entre 50 et 75 ans.

Les performances prédictives des différentes formules biométriques sont présentées dans les tableaux et figures ci-dessous.

Comparaison globale des performances prédictives

Les statistiques descriptives des erreurs de prédiction réfractive pour les différentes formules biométriques sont présentées dans le Tableau 1. Ce tableau résume les valeurs moyennes, médianes et les indicateurs de dispersion des erreurs de prédiction observées pour chaque formule.

La distribution des erreurs de prédiction est illustrée par la Figure 1, qui présente un diagramme en boîtes (boxplot) permettant de visualiser la dispersion des valeurs et les différences de distribution entre les formules biométriques étudiées.

Tableau 1

*Statistiques descriptives des erreurs de prédiction (PE) (n = 200 yeux)
(Valeurs en dioptries, D — données issues du fichier Excel)*

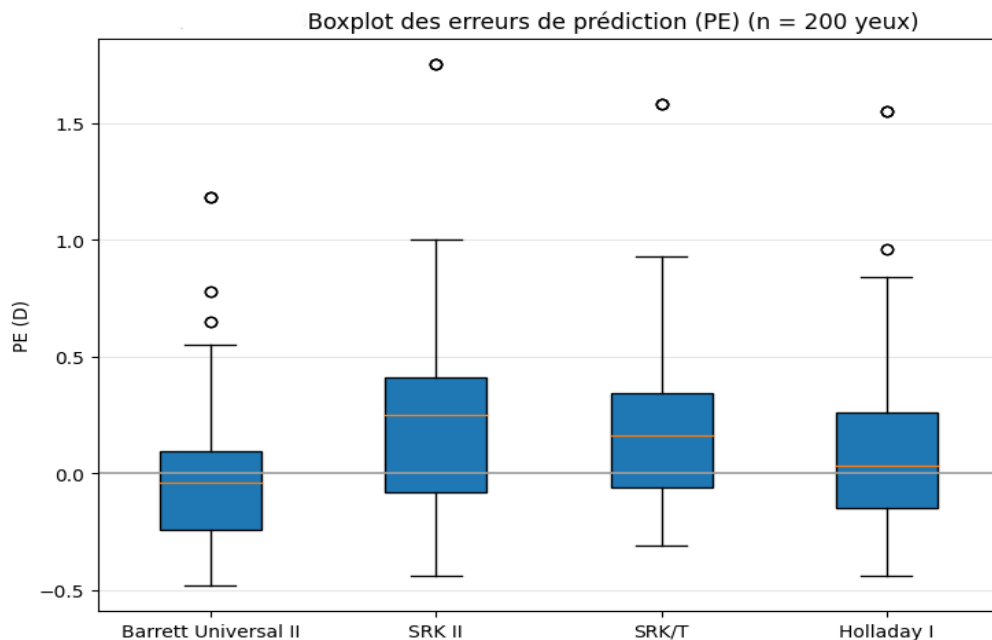
Formule biométrique	N	PE	SD	Médiane [IIQ]	MAE	RMSE
Barrett Universal II	200	-0,0366	0,3147	-0.25 [-0.04 ; 0.11]	0,2376	0,3160
SRK II	200	+0,2174	0,3836	-0.08 [0.25 ; 0.41]	0,3451	0,4400
SRK/T	200	+0,1811	0,3412	-0.09 [0.16 ; 0.36]	0,2861	0,3855
Holladay I	200	+0,1140	0,3574	-0.15 [0.03 ; 0.26]	0,2635	0,3743

Note.

PE = *Prediction Error* (erreur de prédiction réfractive) ; SD = *Standard Deviation* (écart-type) ; IIQ = Intervalle Interquartile ; MAE = *Mean Absolute Error* (erreur absolue moyenne) ; RMSE = *Root Mean Square Error* (racine de l'erreur quadratique moyenne).

Figure 1.

Boxplot comparatif des erreurs de prédiction (PE) selon la formule biométrique.



Vérification de la normalité des différences

Les distributions des erreurs de prédiction n'étant pas normales, les comparaisons entre formules biométriques ont été réalisées à l'aide de tests non paramétriques pour données appariées. La moyenne du PE ne différait pas significativement de zéro pour la formule Barrett Universal II ($p > 0,05$), tandis qu'une différence significative était observée pour les formules SRK II, SRK/T et Holladay I ($p < 0,001$).

Résultats du test de Friedman et des rangs signés de Wilcoxon

Les distributions des erreurs de prédiction n'étant pas normales, des tests non paramétriques pour données appariées ont été utilisés. Le test de Friedman a montré une différence globale significative entre les formules biométriques ($\chi^2 = 272,617$; $p < 0,001$). Les comparaisons post-hoc par test de Wilcoxon apparié ont confirmé des différences significatives entre Barrett Universal II et les autres formules (Tableaux 2 et 3).

Tableau 2

Comparaison de l'erreur de prédiction signée (PE, D) entre les quatre formules biométriques : médiane [IQR], rangs moyens et test de Friedman (N = 200)

Formule	Médiane [IQR] (D)	Rang moyen (Friedman)	Friedman χ^2	p.value
Barrett Universal II	-0.040 [-0.248 ; 0.105]	1.29	272.617	<0.001
SRK II	0.250 [-0.080 ; 0.410]	3.14		
SRK/T	0.160 [-0.088 ; 0.355]	3.13		
Holladay I	0.030 [-0.150 ; 0.260]	2.45		

Note. PE = erreur de prédiction réfractive ; IQR = intervalle interquartile ; χ^2 = statistique du test de Friedman. Les comparaisons ont été réalisées sur des données appariées (N = 200 yeux).

Tableau 3

Comparaisons post-hoc (Wilcoxon apparié) des erreurs de prédiction signées (PE, D) entre formules (N=200)

Comparaison (PE)	Z	p value (Bonferroni)
SRK II vs Barrett	-11.636	<0.001
SRK/T vs Barrett	-12.093	<0.001
Holladay I vs Barrett	-10.741	<0.001
SRK/T vs SRK II	-2.496	0.078
Holladay I vs SRK II	-5.891	<0.001
Holladay I vs SRK/T	-8.084	<0.001

Note. Comparaisons post-hoc réalisées à l'aide du test de Wilcoxon apparié (bilatéral). Les valeurs de p ont été ajustées pour comparaisons multiples selon la correction de Bonferroni.

Proportion d'yeux atteignant les seuils d'erreur réfractive

La proportion d'yeux atteignant les seuils cliniquement pertinents d'erreur de prédiction est présentée au Tableau 4 et à la Figure 2. La formule Barrett Universal II présentait la proportion la plus élevée d'yeux dans les intervalles $\pm 0,25$ D (65,5 %) et $\pm 0,50$

D (93,5 %). Aucune différence n'était observée entre les formules pour le seuil $\pm 1,00$ D.

Le test de Cochran a montré une différence globale significative entre les formules pour les seuils $\pm 0,25$ D et $\pm 0,50$ D ($p < 0,001$), mais pas pour $\pm 1,00$ D. Les comparaisons post-hoc par test de McNemar sont présentées dans le Tableau 5.

Tableau 4

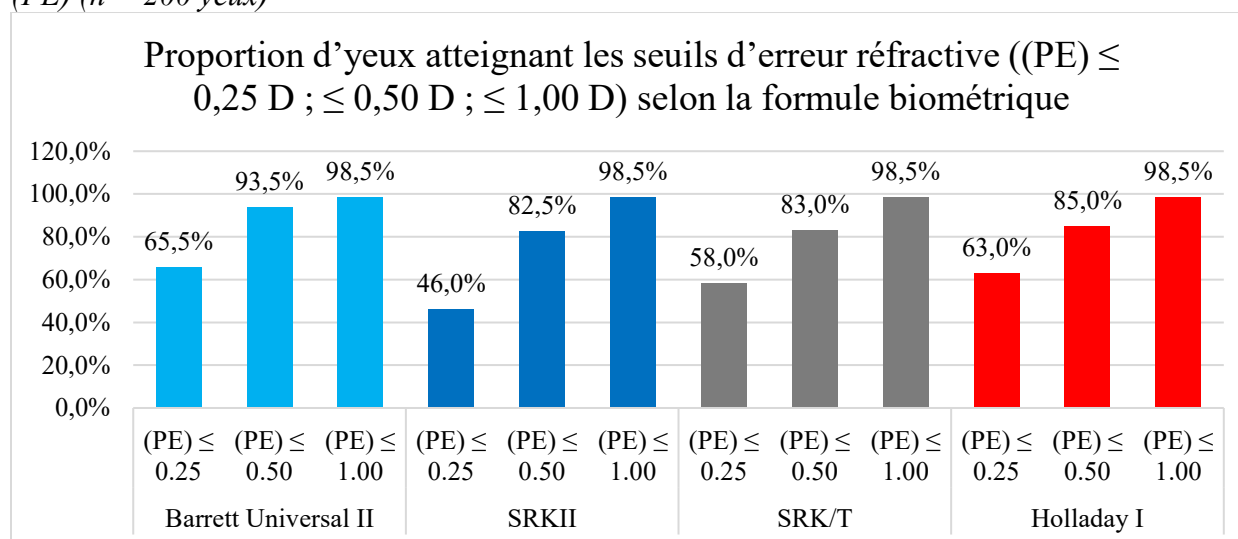
Comparaison des proportions d'yeux atteignant les seuils cliniques d'erreur prédictive ((PE) $\leq 0,25$ D ; $\leq 0,50$ D ; $\leq 1,00$ D) entre les formules biométriques : test de Cochran (N = 200)

Seuil	Barrett n (%)	SRK II n (%)	SRK/T n (%)	Holladay I n (%)	Cochran's Q (ddl=3)	p
(PE) $\leq 0,25$ D	131 (65,5)	92 (46,0)	116 (58,0)	126 (63,0)	27,365	<0,001
(PE) $\leq 0,50$ D	187 (93,5)	165 (82,5)	166 (83,0)	170 (85,0)	36,941	<0,001
(PE) $\leq 1,00$ D	197 (98,5)	197 (98,5)	197 (98,5)	197 (98,5)	0,000	1,000

Note. Les valeurs correspondent à la proportion d'yeux dont l'erreur de prédiction réfractive (PE) est comprise dans les intervalles $\pm 0,25$ D, $\pm 0,50$ D et $\pm 1,00$ D

Figure 2.

Proportion d'yeux atteignant les seuils cliniquement pertinents d'erreur de prédiction réfractive (PE) (n = 200 yeux)



Note. Le PE est défini comme la différence entre l'équivalence sphérique postopératoire mesurée à trois mois et la réfraction prédite par chaque formule biométrique.

Comparaison directe de Barrett Universal II avec les autres formules

Tableau 5

Comparaisons post-hoc par test de McNemar (comparaisons dirigées : Barrett Universal II vs autres formules) selon les seuils de précision (PE) (N = 200)

		SRKII: (PE) ≤ 0.25		p.value	SRK/T: (PE) ≤ 0.25		p.value	Holladay I: (PE) ≤ 0.25		p.value
		Non	Oui		Non	Oui		Non	Oui	
Barrett Universal II: (PE) ≤ 0.25	Non	39	30	<0.001	37	32	0.115	43	26	0.597
		56.5%	43.5%		53.6%	46.4%		62.3%	37.7%	
	Oui	69	62		47	84		31	100	
		52.7%	47.3%		35.9%	64.1%		23.7%	76.3%	
Barrett Universal II: (PE) ≤ 0.50										
		SRKII: (PE) ≤ 0.50		Total	SRK/T: (PE) ≤ 0.50		p.value	Holladay I: (PE) ≤ 0.50		p.value
		Non	Oui		Non	Oui		Non	Oui	
Barrett Universal II: (PE) ≤ 0.50	Non	11	2	<0.001	13	0	<0.001	13	0	<0.001
		84.6%	15.4%		100.0%	0.0%		100.0%	0.0%	
	Oui	24	163		21	166		17	170	
		12.8%	87.2%		11.2%	88.8%		9.1%	90.9%	
Barrett Universal II: (PE) ≤ 1.00										
		SRKII: (PE) ≤ 0.50		Total	SRK/T: (PE) ≤ 1.00		p.value	Holladay I: (PE) ≤ 1.00		p.value
		Non	Oui		Non	Oui		Non	Oui	
Barrett Universal II: (PE) ≤ 1.00	Non	3	0	1.000	3	0	1.000	3	0	1.000
		100.0%	0.0%		100.0%	0.0%		100.0%	0.0%	
	Oui	0	197		0	197		0	197	
		0.0%	100.0%		0.0%	100.0%		0.0%	100.0%	

Note. Comparaisons post-hoc réalisées à l'aide du test de McNemar pour données appariées. Les valeurs de p sont présentées après correction pour comparaisons multiples.

DISCUSSION

En accord avec plusieurs études comparatives récentes, les résultats de cette étude montrent que la précision prédictive des formules biométriques n'est pas équivalente chez les patients présentant une longueur axiale standard (22–24,5 mm), Barrett Universal II a présenté la meilleure performance globale dans la population étudiée.

Sur le plan quantitatif, Barrett Universal II a montré l'erreur absolue moyenne la plus faible (MAE = 0,2376 D), associée à une proportion plus élevée d'yeux atteignant le seuil clinique de $\pm 0,25$ D (65,5 %) et $\pm 0,50$ D (93,5 %), comparativement à Holladay I (63,0 % et 85,0 %), SRK/T (58,0 % et 83,0 %) et SRK II (46,0 % et 82,5 %). Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés dans la littérature, où les formules intégrant une modélisation biométrique plus complète tendent à réduire la dispersion des erreurs de prédiction, en particulier chez les yeux de longueur axiale moyenne. Plusieurs études comparatives récentes ont également rapporté une performance supérieure ou équivalente de la formule Barrett Universal II chez les yeux présentant une longueur axiale moyenne, confirmant la robustesse de ce modèle dans les biométries standards (Melles et al., 2018 ; Kane et al., 2016 ; Savini et al., 2020 ; Yoon & Whang, 2023).

L'amélioration des performances observées avec Barrett Universal II peut s'expliquer par son modèle théorique intégrant simultanément plusieurs paramètres biométriques et permettant une estimation plus précise de la position effective de l'implant. Cette approche réduit les

approximations empiriques utilisées dans les formules de générations antérieures et améliore la stabilité prédictive, ce qui est cohérent avec les explications proposées dans la littérature concernant les formules de dernière génération.

Sur le plan clinique, ces résultats présentent une implication directe dans un contexte où la chirurgie de la cataracte est désormais considérée comme une procédure à visée réfractive. La capacité à atteindre des intervalles réfractifs étroits constitue un déterminant majeur de la satisfaction visuelle postopératoire, en particulier chez les patients présentant des attentes fonctionnelles élevées. L'utilisation de formules présentant une meilleure stabilité prédictive pourrait contribuer à réduire l'erreur réfractive résiduelle et à améliorer la prévisibilité des résultats.

Certaines limites doivent néanmoins être prises en considération. Le caractère rétrospectif et monocentrique de l'étude peut introduire un biais de sélection, et l'utilisation d'un modèle unique d'implant intraoculaire limite l'extrapolation des résultats à d'autres implants. Par ailleurs, l'analyse a été volontairement restreinte aux yeux présentant une longueur axiale normale, ce qui ne permet pas d'évaluer les performances relatives des formules dans les biométries extrêmes. Des études prospectives et multicentriques incluant des populations plus larges et des formules de nouvelle génération permettront de confirmer et d'étendre ces observations.

CONCLUSION

Chez les patients présentant une longueur axiale comprise entre 22 et 24,5 mm, la formule Barrett Universal II présente la meilleure précision prédictive parmi les formules biométriques évaluées, avec l'erreur absolue moyenne la plus faible et la proportion la plus élevée d'yeux atteignant les seuils réfractifs cliniquement pertinents. Ces résultats confirment que le choix de la formule biométrique constitue un élément déterminant dans l'obtention d'un résultat réfractif postopératoire prévisible en chirurgie de la cataracte.

Sur le plan clinique, l'utilisation de formules intégrant une modélisation biométrique avancée contribue à réduire l'erreur réfractive résiduelle et à améliorer la qualité visuelle postopératoire dans un contexte où la chirurgie de la cataracte est désormais considérée comme une procédure à visée réfractive. Dans cette population, la formule Barrett Universal II apparaît ainsi comme une référence fiable pour le calcul de la puissance de l'implant intraoculaire dans la pratique clinique actuelle.

CONCLUSION PRATIQUE ET RECOMMANDATIONS

Sur le plan pratique, ces résultats soulignent l'importance d'une biométrie rigoureuse et du choix adapté de la formule de calcul dans la planification préopératoire. L'intégration progressive de formules de nouvelle génération telles que Kane, Olsen ou EVO, et le développement d'études multicentriques permettra d'améliorer encore la précision réfractive en chirurgie de la cataracte.

RÉFÉRENCES

- Barrett, G. D. (2013). *The Barrett Universal II formula* [Logiciel.]. <https://haag-streit.com/en/products/software/eyesuite/eyesuite-iol-1/barrett-universal-II>
- Barrett, G. D. (2015). An improved universal theoretical formula for intraocular lens power prediction. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 19(6), 713–720. [https://doi.org/10.1016/S0886-3350\(13\)80339-2](https://doi.org/10.1016/S0886-3350(13)80339-2)
- Cooke, D. L., & Cooke, T. L. (2016). Comparison of 9 intraocular lens power calculation formulas. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 42(8), 1157–1164. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2016.06.029>
- Gatinel, D. (2019). Calcul de la puissance de l'implant intraoculaire. *Société Française d'Ophtalmologie (SFO)*. <https://www.gatinel.com/recherche-formation/biometrie-oculaire-calcul-dimplant/calcul-dimplant-formule-theorique/>
- Hoffer, K. J. (1993). The Hoffer Q formula: A comparison of theoretical and regression formulas. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 19(6), 700–712. [https://doi.org/10.1016/S0886-3350\(13\)80338-0](https://doi.org/10.1016/S0886-3350(13)80338-0)
- Hoffer, K. J. (2012). IOL Power Selection. *SLACK Incorporated*. <https://share.google/NYozVW7fdT134xuNQ>
- Holladay, J. T. (1996). Standardizing constants for ultrasonic biometry, keratometry, and intraocular lens power calculations. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 23(9):1356-70. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9423908/?utm_source=chatgpt.com
- Kane, J. X., Van Heerden, A., Atik, A., & Petsoglou, C. (2016). Accuracy of 7 formulas for intraocular lens power calculation: Study of 10,930 eyes. *Ophthalmology*, 42(10) :1490–1500 <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2016.07.021>
- Kanski, J. J., & Bowling, B. (2016). *Ophtalmologie clinique : Une approche systémique* (8e éd.). Elsevier Masson.
- Koch, D. D. (2017). Pursuing perfection in intraocular lens power calculations. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 43(6), 717-718. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.06.006>
- Lundström, M., Dickman, O., Henry, Y., Manning, S., Rosen, P., Stenevi, U., & Young, D. (2018). Risk factors for refractive error after cataract surgery: Analysis of 282,811 eyes from the European Registry of Quality Outcomes for Cataract and Refractive Surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 44(4), 447–452. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.01.031>

- Melles, R. B., Holladay, J. T., & Chang, W. J. (2018). Accuracy of intraocular lens calculation formulas. *Ophthalmology*, 125(2), 169–178. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2017.08.027>
- Norrby, S. (2008). Sources of error in intraocular lens power calculation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 34(3), 368–376. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2007.10.031>
- Olsen, T. (2007). Calculation of intraocular lens power: a review. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, 85(5), 472–485. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1600-0420.2007.00879.x>
- Savini, G., Taroni, L., & Hoffer, K. J. (2020). Recent developments in intraocular lens power calculation methods. *Current Opinion in Ophthalmology*, 8(22):1553. <https://atm.amegroups.org/article/view/49233/html>
- Société Française d'Ophtalmologie (SFO). (2026). *Recommandations professionnelles sur la chirurgie de la cataracte*. <https://share.google/5IDhUV0TxcWgB4BRY>
- Touhami, S. (2021). Cataracte. *EMC - Ophtalmologie*, 18(4), 1-24. [Article 6-0150]. <https://www.emc-consulte.com/article/1481120/cataracte>
- Yanoff, M., & Duker, J. S. (2019). *Ophthalmology* (5e éd.). Elsevier.
- Yoon, P. Y., & Whang, W. J. (2023). Comparison of the accuracy of current-generation intraocular lens power calculation formulas in patients with normal axial lengths. *Scientific Reports*, 13(1), 1-10. <https://doi.org/10.3341/kjo.2023.0034>

ANNEXE A

Récolte des données						Prediction Error (PE) = E.S POST CAT – Valeur prédite			
ID	BARRETT II	SRK II	SRK T	HOLLADAY	E.S POST CAT	PE BARRETT II	PE SRK II	PE SRKT	PE HOLLADAY
1	-0.33	-0.54	-0.41	-0.29	-0.25	0.08	0.29	0.16	0.04
2	-0.33	-0.54	-0.41	-0.29	-0.25	0.08	0.29	0.16	0.04
3	-0.38	-0.79	-0.65	-0.68	-0.25	0.13	0.54	0.4	0.43
4	-0.38	-0.79	-0.65	-0.68	-0.25	0.13	0.54	0.4	0.43
5	-0.24	-0.65	-0.47	-0.27	-0.25	-0.01	0.4	0.22	0.02
6	-0.24	-0.65	-0.47	-0.27	-0.25	-0.01	0.4	0.22	0.02
7	-0.25	-0.42	-0.58	-0.42	-0.25	0	0.17	0.33	0.17
8	-0.25	-0.42	-0.58	-0.42	-0.25	0	0.17	0.33	0.17
9	-0.06	-0.21	-0.28	-0.34	-0.5	-0.44	-0.29	-0.22	-0.16
10	-0.06	-0.21	-0.28	-0.34	-0.5	-0.44	-0.29	-0.22	-0.16
11	-0.35	-0.75	-0.68	-0.51	-0.5	-0.15	0.25	0.18	0.01
12	-0.35	-0.75	-0.68	-0.51	-0.5	-0.15	0.25	0.18	0.01
13	-0.25	-0.56	-0.46	-0.41	-0.5	-0.25	0.06	-0.04	-0.09
14	-0.25	-0.56	-0.46	-0.41	-0.5	-0.25	0.06	-0.04	-0.09
15	-0.29	-0.01	-0.23	-0.27	-0.25	0.04	-0.24	-0.02	0.02
16	-0.08	-0.37	0	-0.01	-0.25	-0.17	0.12	-0.25	-0.24
17	-0.08	-0.37	0	-0.01	-0.25	-0.17	0.12	-0.25	-0.24
18	-0.15	-0.29	-0.4	-0.36	-0.25	-0.1	0.04	0.15	0.11
19	-0.15	-0.29	-0.4	-0.36	-0.25	-0.1	0.04	0.15	0.11
20	-0.15	-0.29	-0.4	-0.36	-0.5	-0.35	-0.21	-0.1	-0.14
21	-0.15	-0.29	-0.4	-0.36	-0.5	-0.35	-0.21	-0.1	-0.14
22	-0.11	-0.38	-0.39	-0.53	-0.5	-0.39	-0.12	-0.11	0.03
23	-0.16	-0.5	-0.51	-0.67	0	0.16	0.5	0.51	0.67
24	-0.1	-0.18	-0.23	-0.31	-0.25	-0.15	-0.07	-0.02	0.06
25	-0.1	-0.06	-0.22	-0.23	-0.5	-0.4	-0.44	-0.28	-0.27
26	-0.1	-0.06	-0.22	-0.23	-0.5	-0.4	-0.44	-0.28	-0.27
27	-0.18	-0.75	-0.58	-0.55	1	1.18	1.75	1.58	1.55
28	-0.18	-0.75	-0.58	-0.55	0.25	0.43	1	0.83	0.8
29	-0.02	-0.25	-0.19	-0.06	-0.5	-0.48	-0.25	-0.31	-0.44
30	-0.02	-0.25	-0.19	-0.06	-0.5	-0.48	-0.25	-0.31	-0.44
31	-0.47	-0.8	-0.69	-0.59	0	0.47	0.8	0.69	0.59
32	-0.08	-0.34	-0.31	-0.27	-0.5	-0.42	-0.16	-0.19	-0.23
33	-0.08	-0.25	-0.35	-0.18	-0.5	-0.42	-0.25	-0.15	-0.32
34	-0.08	-0.25	-0.35	-0.18	-0.5	-0.42	-0.25	-0.15	-0.32
35	-0.34	-0.61	-0.51	-0.47	-0.25	0.09	0.36	0.26	0.22
36	-0.34	-0.61	-0.51	-0.47	-0.25	0.09	0.36	0.26	0.22
37	-0.21	-0.66	-0.27	-0.09	-0.25	-0.04	0.41	0.02	-0.16

38	-0.21	-0.66	-0.27	-0.09	-0.25	-0.04	0.41	0.02	-0.16
39	-0.19	-0.32	-0.4	-0.26	0.25	0.44	0.57	0.65	0.51
40	-0.19	-0.32	-0.4	-0.26	0	0.19	0.32	0.4	0.26
41	-0.14	-0.42	-0.41	-0.35	0	0.14	0.42	0.41	0.35
42	-0.06	-0.26	-0.3	-0.28	-0.25	-0.19	0.01	0.05	0.03
43	-0.03	-0.73	-0.38	-0.26	-0.25	-0.22	0.48	0.13	0.01
44	-0.16	-0.56	-0.53	-0.35	0	0.16	0.56	0.53	0.35
45	-0.13	-0.52	-0.57	-0.36	-0.25	-0.12	0.27	0.32	0.11
46	-0.21	-0.17	-0.7	-0.51	-0.25	-0.04	-0.08	0.45	0.26
47	-0.1	-0.14	-0.32	-0.48	-0.25	-0.15	-0.11	0.07	0.23
48	-0.14	-0.34	-0.33	-0.26	-0.25	-0.11	0.09	0.08	0.01
49	-0.14	-0.34	-0.33	-0.26	-0.25	-0.11	0.09	0.08	0.01
50	-0.26	-0.25	-0.41	-0.4	0.25	0.51	0.5	0.66	0.65
51	-0.13	-0.14	-0.31	-0.3	0.25	0.38	0.39	0.56	0.55
52	-0.15	-0.02	-0.33	-0.29	-0.25	-0.1	-0.23	0.08	0.04
53	-0.16	-0.43	-0.36	-0.28	0	0.16	0.43	0.36	0.28
54	-0.13	-0.52	-0.57	-0.36	-0.5	-0.37	0.02	0.07	-0.14
55	-0.16	-0.29	-0.49	-0.41	-0.25	-0.09	0.04	0.24	0.16
56	-0.08	-0.42	-0.52	-0.35	-0.5	-0.42	-0.08	0.02	-0.15
57	-0.26	-0.75	-0.34	-0.18	-0.5	-0.24	0.25	-0.16	-0.32
58	-0.26	-0.75	-0.34	-0.18	-0.5	-0.24	0.25	-0.16	-0.32
59	-0.11	-0.53	-0.58	-0.6	0	0.11	0.53	0.58	0.6
60	-0.11	-0.53	-0.58	-0.6	0	0.11	0.53	0.58	0.6
61	-0.34	-0.61	-0.51	-0.47	-0.25	0.09	0.36	0.26	0.22
62	-0.34	-0.61	-0.51	-0.47	-0.25	0.09	0.36	0.26	0.22
63	-0.29	-0.56	-0.31	-0.28	0.25	0.54	0.81	0.56	0.53
64	-0.25	-0.62	-0.45	-0.47	-0.25	0	0.37	0.2	0.22
65	-0.3	-0.64	-0.48	-0.59	-0.25	0.05	0.39	0.23	0.34
66	-0.15	-0.26	-0.29	-0.28	0.5	0.65	0.76	0.79	0.78
67	-0.28	-0.33	-0.43	-0.46	0.5	0.78	0.83	0.93	0.96
68	-0.18	-0.45	-0.35	-0.18	0.25	0.43	0.7	0.6	0.43
69	-0.39	-0.64	-0.59	-0.26	-0.25	0.14	0.39	0.34	0.01
70	-0.3	-0.64	-0.48	-0.59	0.25	0.55	0.89	0.73	0.84
71	-0.06	-0.04	-0.2	-0.21	-0.25	-0.19	-0.21	-0.05	-0.04
72	-0.25	-0.32	-0.38	-0.31	-0.25	0	0.07	0.13	0.06
73	-0.08	-0.65	-0.32	-0.1	-0.25	-0.17	0.4	0.07	-0.15
74	-0.08	-0.65	-0.32	-0.1	-0.25	-0.17	0.4	0.07	-0.15
75	-0.33	-0.54	-0.41	-0.29	-0.25	0.08	0.29	0.16	0.04
76	-0.33	-0.54	-0.41	-0.29	-0.25	0.08	0.29	0.16	0.04
77	-0.38	-0.79	-0.65	-0.68	-0.25	0.13	0.54	0.4	0.43
78	-0.38	-0.79	-0.65	-0.68	-0.25	0.13	0.54	0.4	0.43
79	-0.24	-0.65	-0.47	-0.27	-0.25	-0.01	0.4	0.22	0.02
80	-0.24	-0.65	-0.47	-0.27	-0.25	-0.01	0.4	0.22	0.02

81	-0.25	-0.42	-0.58	-0.42	-0.25	0	0.17	0.33	0.17
82	-0.25	-0.42	-0.58	-0.42	-0.25	0	0.17	0.33	0.17
83	-0.06	-0.21	-0.28	-0.34	-0.5	-0.44	-0.29	-0.22	-0.16
84	-0.06	-0.21	-0.28	-0.34	-0.5	-0.44	-0.29	-0.22	-0.16
85	-0.35	-0.75	-0.68	-0.51	-0.5	-0.15	0.25	0.18	0.01
86	-0.35	-0.75	-0.68	-0.51	-0.5	-0.15	0.25	0.18	0.01
87	-0.25	-0.56	-0.46	-0.41	-0.5	-0.25	0.06	-0.04	-0.09
88	-0.25	-0.56	-0.46	-0.41	-0.5	-0.25	0.06	-0.04	-0.09
89	-0.29	-0.01	-0.23	-0.27	-0.25	0.04	-0.24	-0.02	0.02
90	-0.08	-0.37	0	-0.01	-0.25	-0.17	0.12	-0.25	-0.24
91	-0.08	-0.37	0	-0.01	-0.25	-0.17	0.12	-0.25	-0.24
92	-0.15	-0.29	-0.4	-0.36	-0.25	-0.1	0.04	0.15	0.11
93	-0.15	-0.29	-0.4	-0.36	-0.25	-0.1	0.04	0.15	0.11
94	-0.15	-0.29	-0.4	-0.36	-0.5	-0.35	-0.21	-0.1	-0.14
95	-0.15	-0.29	-0.4	-0.36	-0.5	-0.35	-0.21	-0.1	-0.14
96	-0.11	-0.38	-0.39	-0.53	-0.5	-0.39	-0.12	-0.11	0.03
97	-0.16	-0.5	-0.51	-0.67	0	0.16	0.5	0.51	0.67
98	-0.1	-0.18	-0.23	-0.31	-0.25	-0.15	-0.07	-0.02	0.06
99	-0.1	-0.06	-0.22	-0.23	-0.5	-0.4	-0.44	-0.28	-0.27
100	-0.1	-0.06	-0.22	-0.23	-0.5	-0.4	-0.44	-0.28	-0.27
101	-0.18	-0.75	-0.58	-0.55	1	1.18	1.75	1.58	1.55
102	-0.18	-0.75	-0.58	-0.55	0.25	0.43	1	0.83	0.8
103	-0.02	-0.25	-0.19	-0.06	-0.5	-0.48	-0.25	-0.31	-0.44
104	-0.02	-0.25	-0.19	-0.06	-0.5	-0.48	-0.25	-0.31	-0.44
105	-0.47	-0.8	-0.69	-0.59	0	0.47	0.8	0.69	0.59
106	-0.08	-0.34	-0.31	-0.27	-0.5	-0.42	-0.16	-0.19	-0.23
107	-0.08	-0.25	-0.35	-0.18	-0.5	-0.42	-0.25	-0.15	-0.32
108	-0.08	-0.25	-0.35	-0.18	-0.5	-0.42	-0.25	-0.15	-0.32
109	-0.34	-0.61	-0.51	-0.47	-0.25	0.09	0.36	0.26	0.22
110	-0.34	-0.61	-0.51	-0.47	-0.25	0.09	0.36	0.26	0.22
111	-0.21	-0.66	-0.27	-0.09	-0.25	-0.04	0.41	0.02	-0.16
112	-0.21	-0.66	-0.27	-0.09	-0.25	-0.04	0.41	0.02	-0.16
113	-0.19	-0.32	-0.4	-0.26	-0.5	-0.31	-0.18	-0.1	-0.24
114	-0.19	-0.32	-0.4	-0.26	-0.5	-0.31	-0.18	-0.1	-0.24
115	-0.33	-0.54	-0.41	-0.29	-0.25	0.08	0.29	0.16	0.04
116	-0.33	-0.54	-0.41	-0.29	-0.25	0.08	0.29	0.16	0.04
117	-0.38	-0.79	-0.65	-0.68	-0.25	0.13	0.54	0.4	0.43
118	-0.38	-0.79	-0.65	-0.68	-0.25	0.13	0.54	0.4	0.43
119	-0.24	-0.65	-0.47	-0.27	-0.25	-0.01	0.4	0.22	0.02
120	-0.24	-0.65	-0.47	-0.27	-0.25	-0.01	0.4	0.22	0.02
121	-0.25	-0.42	-0.58	-0.42	-0.25	0	0.17	0.33	0.17
122	-0.25	-0.42	-0.58	-0.42	-0.25	0	0.17	0.33	0.17
123	-0.06	-0.21	-0.28	-0.34	-0.5	-0.44	-0.29	-0.22	-0.16

124	-0.06	-0.21	-0.28	-0.34	-0.5	-0.44	-0.29	-0.22	-0.16
125	-0.35	-0.75	-0.68	-0.51	-0.5	-0.15	0.25	0.18	0.01
126	-0.35	-0.75	-0.68	-0.51	-0.5	-0.15	0.25	0.18	0.01
127	-0.25	-0.56	-0.46	-0.41	-0.5	-0.25	0.06	-0.04	-0.09
128	-0.25	-0.56	-0.46	-0.41	-0.5	-0.25	0.06	-0.04	-0.09
129	-0.29	-0.01	-0.23	-0.27	-0.25	0.04	-0.24	-0.02	0.02
130	-0.08	-0.37	0	-0.01	-0.25	-0.17	0.12	-0.25	-0.24
131	-0.08	-0.37	0	-0.01	-0.25	-0.17	0.12	-0.25	-0.24
132	-0.15	-0.29	-0.4	-0.36	-0.25	-0.1	0.04	0.15	0.11
133	-0.15	-0.29	-0.4	-0.36	-0.25	-0.1	0.04	0.15	0.11
134	-0.15	-0.29	-0.4	-0.36	-0.5	-0.35	-0.21	-0.1	-0.14
135	-0.15	-0.29	-0.4	-0.36	-0.5	-0.35	-0.21	-0.1	-0.14
136	-0.11	-0.38	-0.39	-0.53	-0.5	-0.39	-0.12	-0.11	0.03
137	-0.16	-0.5	-0.51	-0.67	0	0.16	0.5	0.51	0.67
138	-0.1	-0.18	-0.23	-0.31	-0.25	-0.15	-0.07	-0.02	0.06
139	-0.1	-0.06	-0.22	-0.23	-0.5	-0.4	-0.44	-0.28	-0.27
140	-0.1	-0.06	-0.22	-0.23	-0.5	-0.4	-0.44	-0.28	-0.27
141	-0.18	-0.75	-0.58	-0.55	1	1.18	1.75	1.58	1.55
142	-0.18	-0.75	-0.58	-0.55	0.25	0.43	1	0.83	0.8
143	-0.02	-0.25	-0.19	-0.06	-0.5	-0.48	-0.25	-0.31	-0.44
144	-0.02	-0.25	-0.19	-0.06	-0.5	-0.48	-0.25	-0.31	-0.44
145	-0.47	-0.8	-0.69	-0.59	0	0.47	0.8	0.69	0.59
146	-0.08	-0.34	-0.31	-0.27	-0.5	-0.42	-0.16	-0.19	-0.23
147	-0.08	-0.25	-0.35	-0.18	-0.5	-0.42	-0.25	-0.15	-0.32
148	-0.08	-0.25	-0.35	-0.18	-0.5	-0.42	-0.25	-0.15	-0.32
149	-0.34	-0.61	-0.51	-0.47	-0.25	0.09	0.36	0.26	0.22
150	-0.34	-0.61	-0.51	-0.47	-0.25	0.09	0.36	0.26	0.22
151	-0.21	-0.66	-0.27	-0.09	-0.25	-0.04	0.41	0.02	-0.16
152	-0.21	-0.66	-0.27	-0.09	-0.25	-0.04	0.41	0.02	-0.16
153	-0.19	-0.32	-0.4	-0.26	0.25	0.44	0.57	0.65	0.51
154	-0.19	-0.32	-0.4	-0.26	0	0.19	0.32	0.4	0.26
155	-0.14	-0.42	-0.41	-0.35	0	0.14	0.42	0.41	0.35
156	-0.06	-0.26	-0.3	-0.28	-0.25	-0.19	0.01	0.05	0.03
157	-0.03	-0.73	-0.38	-0.26	-0.25	-0.22	0.48	0.13	0.01
158	-0.16	-0.56	-0.53	-0.35	0	0.16	0.56	0.53	0.35
159	-0.13	-0.52	-0.57	-0.36	-0.25	-0.12	0.27	0.32	0.11
160	-0.21	-0.17	-0.7	-0.51	-0.25	-0.04	-0.08	0.45	0.26
161	-0.1	-0.14	-0.32	-0.48	-0.25	-0.15	-0.11	0.07	0.23
162	-0.14	-0.34	-0.33	-0.26	-0.25	-0.11	0.09	0.08	0.01
163	-0.14	-0.34	-0.33	-0.26	-0.25	-0.11	0.09	0.08	0.01
164	-0.26	-0.25	-0.41	-0.4	0.25	0.51	0.5	0.66	0.65
165	-0.13	-0.14	-0.31	-0.3	0.25	0.38	0.39	0.56	0.55
166	-0.15	-0.02	-0.33	-0.29	-0.25	-0.1	-0.23	0.08	0.04

167	-0.16	-0.43	-0.36	-0.28	0	0.16	0.43	0.36	0.28
168	-0.13	-0.52	-0.57	-0.36	-0.5	-0.37	0.02	0.07	-0.14
169	-0.16	-0.29	-0.49	-0.41	-0.25	-0.09	0.04	0.24	0.16
170	-0.08	-0.42	-0.52	-0.35	-0.5	-0.42	-0.08	0.02	-0.15
171	-0.26	-0.75	-0.34	-0.18	-0.5	-0.24	0.25	-0.16	-0.32
172	-0.26	-0.75	-0.34	-0.18	-0.5	-0.24	0.25	-0.16	-0.32
173	-0.11	-0.53	-0.58	-0.6	0	0.11	0.53	0.58	0.6
174	-0.11	-0.53	-0.58	-0.6	0	0.11	0.53	0.58	0.6
175	-0.34	-0.61	-0.51	-0.47	-0.25	0.09	0.36	0.26	0.22
176	-0.34	-0.61	-0.51	-0.47	-0.25	0.09	0.36	0.26	0.22
177	-0.29	-0.56	-0.31	-0.28	0.25	0.54	0.81	0.56	0.53
178	-0.25	-0.62	-0.45	-0.47	-0.25	0	0.37	0.2	0.22
179	-0.3	-0.64	-0.48	-0.59	-0.25	0.05	0.39	0.23	0.34
180	-0.15	-0.26	-0.29	-0.28	0.5	0.65	0.76	0.79	0.78
181	-0.28	-0.33	-0.43	-0.46	0.5	0.78	0.83	0.93	0.96
182	-0.18	-0.45	-0.35	-0.18	0.25	0.43	0.7	0.6	0.43
183	-0.39	-0.64	-0.59	-0.26	-0.25	0.14	0.39	0.34	0.01
184	-0.3	-0.64	-0.48	-0.59	0.25	0.55	0.89	0.73	0.84
185	-0.06	-0.04	-0.2	-0.21	-0.25	-0.19	-0.21	-0.05	-0.04
186	-0.25	-0.32	-0.38	-0.31	-0.25	0	0.07	0.13	0.06
187	-0.08	-0.65	-0.32	-0.1	-0.25	-0.17	0.4	0.07	-0.15
188	-0.08	-0.65	-0.32	-0.1	-0.25	-0.17	0.4	0.07	-0.15
189	-0.33	-0.54	-0.41	-0.29	-0.25	0.08	0.29	0.16	0.04
190	-0.33	-0.54	-0.41	-0.29	-0.25	0.08	0.29	0.16	0.04
191	-0.38	-0.79	-0.65	-0.68	-0.25	0.13	0.54	0.4	0.43
192	-0.38	-0.79	-0.65	-0.68	-0.25	0.13	0.54	0.4	0.43
193	-0.24	-0.65	-0.47	-0.27	-0.25	-0.01	0.4	0.22	0.02
194	-0.24	-0.65	-0.47	-0.27	-0.25	-0.01	0.4	0.22	0.02
195	-0.25	-0.42	-0.58	-0.42	-0.25	0	0.17	0.33	0.17
196	-0.25	-0.42	-0.58	-0.42	-0.25	0	0.17	0.33	0.17
197	-0.06	-0.21	-0.28	-0.34	-0.5	-0.44	-0.29	-0.22	-0.16
198	-0.06	-0.21	-0.28	-0.34	-0.5	-0.44	-0.29	-0.22	-0.16
199	-0.35	-0.75	-0.68	-0.51	-0.5	-0.15	0.25	0.18	0.01
200	-0.35	-0.75	-0.68	-0.51	-0.5	-0.15	0.25	0.18	0.01