



HAL
open science

Efficacité du logiciel automatisé OphtAI dans le dépistage du glaucome

Marine Tournay

► **To cite this version:**

Marine Tournay. Efficacité du logiciel automatisé OphtAI dans le dépistage du glaucome. Médecine humaine et pathologie. 2024. dumas-04757763

HAL Id: dumas-04757763

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04757763v1>

Submitted on 29 Oct 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Marion Tournay
N° étudiant : 21113068



MÉMOIRE

Effacité du logiciel automatisé OphtAI dans le dépistage du glaucome

Présenté pour l'obtention du

Certificat de capacité d'Orthoptiste

À

Sorbonne Université
Paris

Année universitaire 2023-2024

Maître de mémoire : Docteur Bénédicte Dupas

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à plusieurs personnes à qui je voudrais exprimer ma reconnaissance.

Je tiens d'abord à remercier le Docteur Bénédicte Dupas, ma maîtresse de mémoire, qui a été bienveillante et à mon écoute tout au long de l'étude. J'ai pu travailler dans de bonnes conditions grâce à ses précieux conseils.

Je remercie également le Professeur Renard qui m'a orientée, conseillée et a pris le temps de relire tous les cas de l'étude.

Je remercie tout particulièrement Auberie Bonjean, amie et orthoptiste au COSS, de m'avoir aidée, conseillée et accompagnée tout au long de cette recherche.

Je remercie la direction du Centre Ophtalmologique Sorbonne Saint Michel de m'avoir accueillie dans leur structure et d'avoir accepté de me laisser recueillir les données des patients afin de réaliser cette étude.

Je souhaite remercier les bibliothécaires et les professeurs de Sorbonne Université pour la qualité et la richesse de leurs enseignements.

Je remercie également la directrice de formation, Madame Frédérique Brion, pour sa disponibilité.

Enfin, je remercie ma famille ainsi que mes amis pour leur soutien depuis la reprise de mes études. Je suis consciente de leur avoir parlé couramment de ce travail de recherche... Mais ils doivent être patients car ils continuent à m'écouter !

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
I. GÉNÉRALITÉS.....	3
A. GLAUCOME.....	3
1. Définition	3
2. Étiologies	3
3. Prévalence	3
4. Signes au fond d'œil	4
5. Examen clinique.....	6
B. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE.....	7
1. Histoire	7
2. Définition	8
3. IA appliquée à la médecine et plus particulièrement à l'ophtalmologie	8
4. Histoire d'OphtAl	9
II. MATÉRIELS ET MÉTHODES	10
A. CONDITIONS DE REALISATION DE L'ÉTUDE.....	10
B. MATÉRIELS	10
1. Population étudiée	10
2. Appareils et technologie utilisés.....	11
C. MÉTHODES.....	12
1. Examens cliniques.....	12
2. Diagnostic ophtalmologique.....	13
3. Recueil et comparaison des données, tests statistiques	13
III. RÉSULTATS	15
A. CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES	15
B. VALEURS DIAGNOSTIQUES ET PREDICTIVES D'OPHTAl	15
C. ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE D'OPHTAl.....	15
1. Mesures de performance globale.....	15
2. Âge des patients selon les catégories diagnostiques.....	16
3. Qualité de la RNM.....	16
4. Sévérité du glaucome	17
D. DANS LE CADRE DU RNO.....	18
IV. DISCUSSION.....	19
A. DE L'HYPOTHESE AUX RESULTATS.....	19
1. Hypothèse.....	19
2. Résultats	19
3. Points forts de l'étude	20
4. Biais de l'étude	20
B. CONFRONTATION A LA LITTERATURE.....	21
CONCLUSION	24
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	25

GLOSSAIRE D'ABRÉVIATIONS

ABRÉVIATIONS	LIBELLÉS
ANR	Anneau Neuro Rétinien
C/D	Rapport Cup sur Disc
CV	Champ Visuel
DL	Deep Learning (Apprentissage profond)
FDA	Food and Drug Administration
FN	Faux Négatif
FNR	Fibres Nerveuses Rétiniennes
FP	Faux Positif
GCC	Complexe des Cellules Ganglionnaires (Maculaires)
GPAO	Glaucome Primitif à Angle Ouvert
IA	Intelligence Artificielle
ML	Machine Learning (Apprentissage automatique)
NOG	Neuropathie Optique Glaucomateuse
OCT	Tomographie par Cohérence Optique
PIO	Pression IntraOculaire
RD	Rétinopathie Diabétique
RNM	Rétinographie Non Mydriatique

T-test	Test de Student
TNO	Tête du Nerf Optique
VN	Vrai Négatif
VP	Vrai Positif
VPN	Valeur Prédictive Négative
VPP	Valeur Prédictive Positive

RÉSUMÉ

Contexte : Le glaucome primitif à angle ouvert (GPAO) est responsable de 15% des cas de cécité dans le monde, ce qui représente, d'après l'Organisation Mondiale de la Santé, la 2^e cause de cécité et la 1^{ère} cause de cécité absolue. Sa prise en charge, suffisamment précoce, en abaissant la pression intraoculaire, premier facteur de risque de la neuropathie optique glaucomateuse, permet de contrôler et de freiner l'atteinte des cellules ganglionnaires et des fibres nerveuses rétiniennes. Malheureusement, cette affection insidieuse, longtemps asymptomatique, est souvent de diagnostic trop tardif. Le dépistage du glaucome, qui touche 2.5% de la population française, représente donc un important problème de santé publique.

Objectifs : Évaluer l'efficacité de l'algorithme d'intelligence artificielle (IA) OphtAI, pour diagnostiquer une papille glaucomateuse, en comparaison au gold standard, représenté par l'analyse clinique de la tête du nerf optique par un spécialiste, assisté par des examens complémentaires (rétinographie, OCT, champ visuel).

Lieu de réalisation de l'étude : Centre Ophtalmologique Sorbonne Saint-Michel (COSS), Paris 5^e (cabinet libéral).

Méthodes :

Analyse rétrospective de 227 yeux de 136 sujets, 61 patients suivis pour un GPAO et 75 témoins sains examinés au COSS entre octobre et décembre 2023 :

Double analyse :

- D'une part, par l'ophtalmologiste expert en glaucome : détermination de la présence ou de l'absence d'une atteinte glaucomateuse à l'aide des résultats des examens complémentaires tels que la Rétinographie Non Mydriatique (RNM), l'OCT et le Champ Visuel (CV).
- D'autre part, l'analyse des résultats générés par OphtAI : diagnostic donné par l'algorithme appliqué à l'analyse d'une imagerie acquise par un rétinographe couleur non mydriatique 45° (Quantel Crystalvue NFC-700).

Comparaison des résultats obtenus par OphtAI, à l'analyse clinique, permettant de déterminer la sensibilité, la spécificité, les Valeurs Prédicatives Positives (VPP) et les Valeurs Prédicatives Négatives (VPN) du logiciel d'analyse OphtAI.

Résultats : 100 yeux de 61 patients (62.4 ans \pm 11.3) suivis pour un GPAO et 127 yeux de 75 témoins sains (59.4 ans \pm 11.5) ont été analysés. La sensibilité d'OphtAI pour diagnostiquer une papille « glaucomateuse » était de 66%, la spécificité de 76%, la VPP de 68% et la VPN de 74%.

En outre, les performances d'OphtAI variaient selon le stade de glaucome. Pour les glaucomes débutants, la sensibilité n'était que de 47% alors qu'à partir du stade de glaucome modéré, la sensibilité était de 80%.

Conclusion : Contrairement à la rétinopathie diabétique (RD), pour laquelle un consensus diagnostique télé-ophtalmologique utilisant la photographie couleur du fond de l'œil est bien validé et accepté, le glaucome, surtout aux stades précoces, débutants, reste encore insuffisamment diagnostiqué par ce logiciel d'IA. Le développement d'algorithmes d'IA, et leur utilisation en pratique clinique courante, pour le diagnostic d'une neuropathie optique glaucomateuse, surtout aux stades débutants, reste difficile compte tenu de la nature multimodale du diagnostic de cette affection cécitante.

Mots-clés : Glaucome, Imagerie, Rétinographie, Intelligence artificielle, Apprentissage en profondeur

ABSTRACT

Background : Primary open-angle glaucoma (POAG) accounts for 15% of blindness cases worldwide, ranking as the third leading cause of blindness according to the World Health Organization. Treatment involves lowering intraocular pressure to slow down optic nerve degradation and preserve visual field, thereby preventing blindness. Unfortunately, POAG often progresses asymptotically and is frequently diagnosed late, highlighting the significant public health challenge of glaucoma screening, with a prevalence of up to 2.5% in the French population.

Objectives : This study aims to assess the efficacy of the artificial intelligence (AI) algorithm OphtAI in diagnosing glaucomatous optic disc compared to the gold standard, represented by clinical analysis of the optic nerve head by a specialist aided by multimodal imaging: retinography, Optical Coherence Tomography (OCT), and visual field testing.

Study Location : Sorbonne Saint-Michel Ophthalmological Center, Paris (private practice).

Methods : A retrospective analysis was conducted on 136 consecutive patient files examined between October and December 2023. Of these, 61 patients with POAG (cases) and 75 healthy patients matched by age (controls) were included. OphtAI results, derived from 45° non-mydratic color retinography (NMR) using Quantel Crystalvue NFC-700, were compared to the gold standard determination of glaucomatous damage presence or absence by a glaucoma specialist using NMR, OCT, and visual field results. Sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV), and negative predictive value (NPV) of OphtAI were calculated.

Results : Analysis included 100 eyes of 61 glaucomatous patients (age: 62.4 years \pm 11.3) and 127 eyes of 75 healthy patients (age: 59.4 years \pm 11.5). OphtAI demonstrated a sensitivity of 66%, specificity of 76%, PPV of 88%, and NPV of 74% for diagnosing glaucomatous optic disc. Additionally, OphtAI performance varied based on glaucoma stage, with sensitivity at 47% for early glaucoma and reaching 80% from the moderate stage onwards.

Conclusion : In contrast to diabetic retinopathy, where tele-ophthalmology diagnostic consensus using color fundus photography is well-established and employed in practice, OphtAI's diagnosis of glaucoma, particularly in early stages, remains inadequate. Developing AI algorithms for glaucoma diagnosis is challenging due to the need for multimodal imaging analysis to confirm diagnosis.

Keywords : Glaucoma, Imaging, Fundus Photograph, Artificial Intelligence, Deep learning

INTRODUCTION

État des connaissances :

La croissance démographique et le vieillissement de la population ont entraîné une augmentation du nombre de personnes souffrant d'une déficience visuelle. D'après l'Organisation Mondiale de la Santé, on comptait au moins 2.2 milliards de déficients visuels, à travers le monde, en 2020. Chez plus d'un milliard d'entre eux, la déficience visuelle aurait pu être évitée s'il existait un dépistage et une prise en charge précoces (1,2).

Notons que le glaucome est la 1^{ère} cause de cécité totale et la 2^{nde} cause de cécité mondiale, après la cataracte. En 2020, on comptabilisait 3.6 millions de personnes, âgées de plus de 50 ans, atteintes de cécité secondaire à un glaucome (3).

Bien que l'utilisation des algorithmes d'Intelligence Artificielle (IA) comme outils d'aide à la décision clinique en soit encore à ses débuts, une croissance exponentielle de leur emploi a été observée au cours des dix dernières années, principalement dans les domaines de l'ophtalmologie, la radiologie et la cardiologie.

En 2018, IDx-DR, désormais Digital Diagnostics, puis EyeArt ont reçu l'approbation de la Food and Drug Administration (FDA) aux États-Unis en tant que dispositifs basés sur l'IA pour le diagnostic autonome de la Rétinopathie Diabétique (RD) en médecine. Actuellement, la RD reste la pathologie la plus fréquemment choisie dans les publications d'IA, en ophtalmologie (4,5).

En France, à la différence des USA, il n'y a pas de logiciel d'IA validé pour le diagnostic d'une affection. OphtAI est le premier logiciel français à avoir obtenu le marquage CE pour l'aide au diagnostic, c'est-à-dire qu'une relecture par un médecin est obligatoire et ce dernier reste légalement entièrement responsable du diagnostic (6).

Même s'il n'existe aucun système d'IA autorisé par la FDA pour le glaucome, de nombreuses publications décrivent des recherches dans ce domaine (7). D'ailleurs Li et al ont publié l'une des premières études évaluant l'efficacité d'un système Deep Learning (DL), avec une bonne sensibilité, pour détecter le glaucome basé sur des rétino-graphies (7,8). Compte tenu de la forte prévalence du glaucome et des difficultés d'accès aux spécialistes, des stratégies de détection automatisée du glaucome à un stade précoce sont en cours de développement (9).

Le diagnostic de la neuropathie optique glaucomateuse repose sur une analyse clinique soignée et un ensemble d'examen-s complémentaires pour mettre en évidence l'atteinte structurelle et fonctionnelle des cellules ganglionnaires et des fibres nerveuses rétiniennes. L'accès au spécialiste est parfois difficile et le nombre de patients atteints de glaucome augmente régulièrement comme le montre toutes les études récentes (10)(11).

Questionnement :

Peut-on pour le glaucome, comme pour la RD, aider le diagnostic ophtalmologique par une analyse apportée par la machine afin d'aboutir à une information automatisée « glaucome / pas de glaucome » comme cela devient le cas le plus fréquent ? Cela faciliterait-il un dépistage de masse pour les populations ?

Objectif :

Évaluer en pratique clinique si l'IA OphtAI permet un diagnostic efficient d'une papille glaucomeuse, par rapport à l'analyse clinique de la papille par un spécialiste, assisté par des examens complémentaires (RNM, OCT et CV), considéré ici « gold standard ».

I. GÉNÉRALITÉS

Cette partie a pour but de définir : d'une part l'anatomie, la physiologie du nerf optique, et la neuropathie glaucomateuse ; d'autre part les principes de l'intelligence artificielle appliquée au diagnostic de cette dernière.

A. Glaucome

1. Définition

Le glaucome est une neuropathie optique dégénérative, aboutissant à la destruction des cellules ganglionnaires et des fibres nerveuses rétiniennes (FNR) constituant le nerf optique, et dont le rôle est d'acheminer l'information visuelle de la rétine jusqu'au cortex cérébral visuel. Bien qu'elle soit longtemps asymptomatique, la perte des FNR conduit à une altération progressive et irréversible du champ visuel source de cécité en l'absence d'une prise en charge adaptée. Une détection précoce est donc essentielle car elle représente un enjeu majeur de santé publique mondiale (5,8,10,12,14).

Dans cette étude, nous nous sommes exclusivement intéressés au glaucome primitif à angle ouvert (GPAO), type de glaucome le plus répandu avec un angle irido-cornéen ouvert (15).

2. Étiologies

Malgré des recherches approfondies, l'étiologie du glaucome n'est pas totalement élucidée (16).

Le principal facteur de risque contrôlable est représenté par l'élévation de la pression intraoculaire (PIO) (5,15,17). Dans une population générale, la PIO mesurée au tonomètre à aplanation de Goldmann, est dite normale lorsqu'elle s'élève à $15,8 \pm 5,14$ mmHg. Néanmoins, des biais existent lorsque l'on ne tient pas compte de la pachymétrie cornéenne centrale, de la viscoélasticité cornéenne et de la tension de surface du film lacrymal.

On estime une PIO supérieure à 21 mmHg chez 4 et 9% de la population et une fréquence du glaucome de 2% chez les personnes âgées de plus de 40 ans (18,19).

D'autres facteurs tels que les antécédents familiaux de glaucome, la prédisposition génétique, l'âge avancé, la prise de corticoïdes sur le long terme, les facteurs vasculaires systémiques (dont le diabète, l'hypertension artérielle et la migraine), la myopie forte et divers facteurs oculaires (dispersion pigmentaire, pseudoexfoliation capsulaire...) contribuent au risque de développer cette affection (14,16).

3. Prévalence

Le glaucome est la principale cause de cécité irréversible dans le monde.

Sa prévalence ne cesse de croître du fait de l'augmentation de l'espérance de vie (10,20). Effectivement, on estime qu'elle atteindrait 111.8 millions de personnes en 2040 alors que l'on en

estimait 64.3 millions en 2013 (5,10,12,15). En 2019, on a constaté que la moitié des personnes atteintes de glaucome n'étaient pas diagnostiquées avant un stade avancé de la pathologie (21).

Au cours de ces 20 dernières années, la prévalence globale du GPAO est de 2.4%. L'âge est connu pour être le facteur de risque principal car la prévalence augmente à mesure que les personnes vieillissent, variant de 0.7% chez les 40-44 ans à 10.6% chez les plus de 80 ans (22,23).

4. Signes au fond d'œil

a) Excavation papillaire

La tête du nerf optique, ou papille, est l'endroit où le nerf optique quitte le pôle postérieur du globe oculaire (Figure 1). On l'appelle aussi la tache aveugle car la rétine est dans l'incapacité de répondre à une stimulation lumineuse, cette zone étant dépourvue de photorécepteurs (9,24).

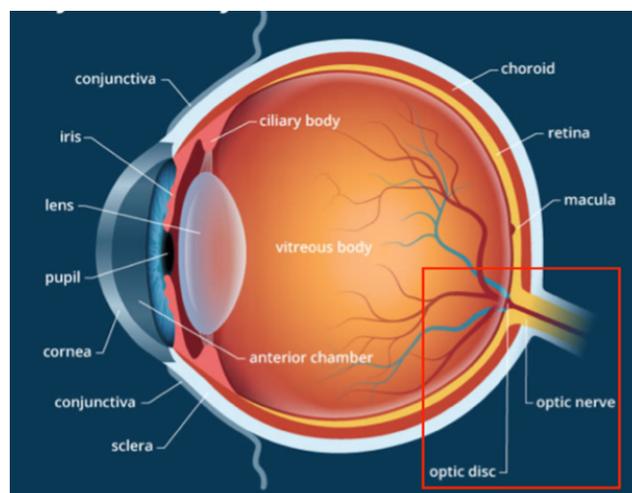


Figure 1 : Schéma de l'anatomie de l'œil de l'être humain.

Lieu de convergence des FNR de toute la rétine, la tête du nerf optique (TNO) est constituée d'un anneau périphérique neuro-rétinien qui correspond à l'ensemble des FNR qui s'incurvent pour constituer le nerf optique, et d'une zone centrale d'excavation ou « cup ». Le rapport cup/disc, c/d , est évalué au cours de l'examen du fond d'œil pour quantifier la perte de l'anneau rétinien au cours de la progression de la perte des FNR et chiffré entre 0 et 1 (Figure 2) (9,24).

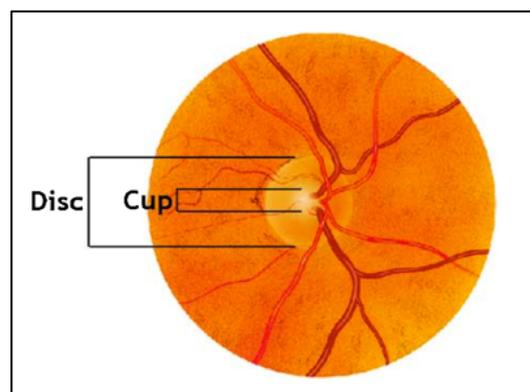


Figure 2 : Illustration du c/d de la papille du nerf optique.

Chez un sujet atteint de glaucome, le rapport tend à se rapprocher de 1. Cela s'explique donc par une perte de FNR se manifestant par un amincissement lent mais progressif de l'anneau neuro-rétinien. La présence de l'affection est d'autant plus évocatrice qu'il existe une asymétrie d'excavation supérieure à 0.2 entre les deux yeux ou lorsque l'excavation verticale est plus large que l'excavation horizontale. Néanmoins, ce rapport est estimé de manière subjective et peut varier en fonction de l'expérience de l'ophtalmologiste (9,14,15,24,25).

b) Perte de fibres de l'anneau neuro-rétinien

Chez les sujets sains, l'anneau neuro-rétinien a généralement une forme caractéristique car il est plus large en Inférieur puis diminue progressivement en Supérieur, en Nasal et enfin en Temporal. La figure 3 illustre bien cette règle nommée « ISNT ». Celle-ci n'est plus respectée en présence de glaucome (9).

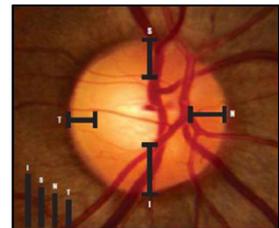


Figure 3 : Photographie du nerf optique. incluant la règle du ISNT.

c) Encoche localisée de l'anneau neuro-rétinien

L'excavation de tête du nerf optique avec une encoche pathologique de l'anneau neuro-rétinien est un signe devant faire évoquer un glaucome (15) (Figure 4).

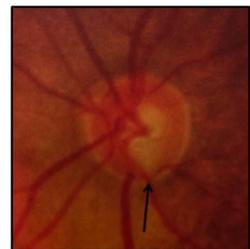


Figure 4 : Photographie d'une encoche de l'ANR.

d) Défect de la couche des fibres nerveuses rétiniennes péri papillaire

Un défaut (perte) de fibres nerveuses rétiniennes péri papillaire (RNFL) est un indicateur d'atteinte glaucomateuse (Figure 5 : b, d).

On parle donc de perte fasciculaire. Le clinicien découvre cette anomalie en analysant la rétinographie et/ou l'OCT.

Chez les sujets sains, les stries constituées par les fibres optiques sont plus discernables en inféro-temporal de la papille puis en supéro-temporal, en supéro-nasal et enfin en inféro-nasal (Figure 5 a.c) (9).

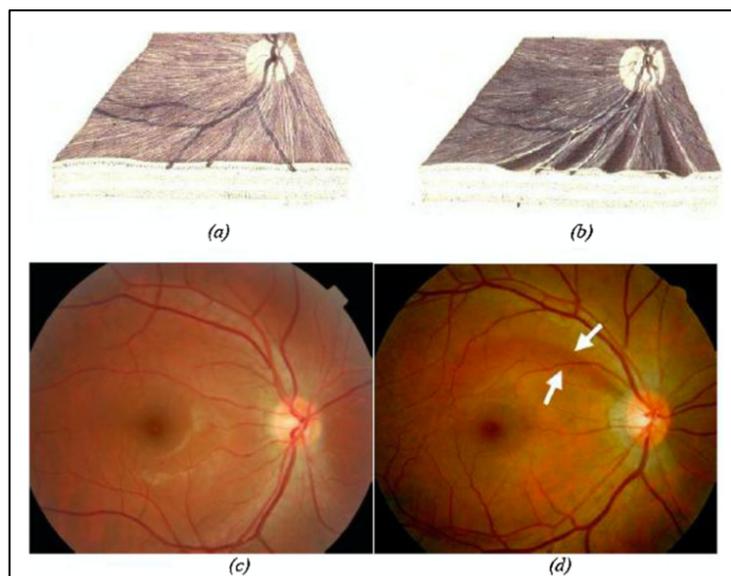


Figure 5 : RNFL d'un œil droit sain (a.c) et d'un œil glaucomateux (b.d).

e) Atrophie péri papillaire

L'atrophie péri papillaire est un important facteur de risque de glaucome. Sa progression peut causer une hémorragie discale et donc un glaucome (9) (Figure 6).

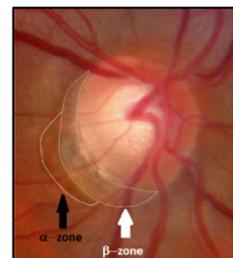


Figure 6 :
Rétinographie d'une
atrophie péri papillaire.

f) Hémorragie péri papillaire

L'existence d'une hémorragie de l'anneau neuro-rétinien est évocatrice d'une perte rapide des fibres nerveuses rétiniennes (12,15) (Figure 7).

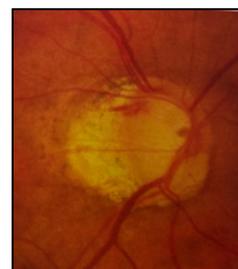


Figure 7 : Rétinographie
d'une hémorragie péri
papillaire.

5. Examen clinique

L'atteinte structurale de la tête du nerf optique, engendrée par le glaucome, précède l'atteinte fonctionnelle visuelle (9,14,15,25).

Avant l'arrivée de la Tomographie en Cohérence Optique (OCT), le diagnostic du glaucome reposait essentiellement sur l'examen de la papille à la lampe à fente et sur des rétinographies couleurs, associée à la combinaison de différents paramètres cliniques tels que la mesure de la PIO (tonométrie), l'épaisseur cornéenne centrale (pachymétrie) et l'analyse de l'angle irido-cornéen (gonioscopie) avec les données de l'analyse du champ visuel (5,9).

De nos jours, ces altérations sont évaluées par une imagerie multimodale utilisant l'OCT et corrélées à l'analyse du champ visuel (CV) :

- L'ophtalmologiste analyse objectivement le nerf optique via une lampe à fente ou une rétinographie.
- Il corrèle ce résultat à l'analyse de l'OCT. C'est une méthode d'imagerie, non invasive et utilisable in vivo, qui repose sur le concept de l'interférométrie optique. Cette technique à haute résolution permet d'analyser, grâce à une lumière infra-rouge, les structures de la rétine et du nerf optique et de dépister une atteinte des FNR.

Cet appareil offre de nombreux avantages : sans danger, rapide, fiable, précis, reproductible et indolore (9,11). C'est une imagerie fondamentale dans le diagnostic et le suivi du glaucome car elle apporte des mesures quantitatives, notamment les mesures de l'épaisseur des RNFL et de la couche des GCC (4). Cet examen permet de dépister et de suivre toute

altération des GCC qui surviendrait plus prématurément que l'altération du RNFL du nerf optique chez les patients glaucomateux (9,15).

Technique de référence de l'imagerie oculaire, l'OCT ne peut cependant pas se substituer à une rétino-graphie pour la mise en évidence de certaines lésions caractéristiques, comme des hémorragies papillaires et péri-papillaires, pour un dépistage systématique du glaucome (11).

- Puis, il mesure subjectivement la vision fonctionnelle après avoir réalisé un champ visuel automatisé. L'atteinte, engendrée par le glaucome, est dite fasciculaire. L'acuité visuelle, le seuil fovéolaire et la vision des couleurs sont donc épargnés en général, jusqu'à un stade avancé de la maladie. Le déficit du champ visuel commence typiquement en nasal ; il est nommé le « ressaut nasal ». Il poursuit sa progression en formant un scotome arciforme évolutif dans l'aire dite de Bjerrum. L'atteinte va finalement progresser vers le point de fixation, qui peut toutefois être atteint précocement dans certains cas, et vers la périphérie du champ visuel (12).

Au vu du caractère asymptotique de l'atteinte initiale, la découverte de la maladie se fait régulièrement de façon fortuite, lors d'une consultation ophtalmologique de routine, ou lorsque le scotome atteint la vision centrale (10,12). Ces examens sont donc essentiels pour la découverte et le suivi du glaucome (5).

B. Intelligence artificielle

1. Histoire

L'IA est la 4^{ème} révolution industrielle de l'histoire de l'humanité. Les 3 premières étaient liées à l'énergie et l'informatique (20).

L'idée de construire des systèmes intelligents qui ne soient pas d'origine humaine fascine les êtres-humains depuis des milliers d'années. On admet que l'IA a émergé lorsque les robots ont été inventés (26).

Au milieu du XX^e siècle, le mathématicien britannique, Alan Turing a décrit pour la première fois le concept d'utiliser un ordinateur pour simuler un comportement intelligent. En 1956, John McCarthy a décrit le terme d'IA comme étant la science et l'ingénierie permettant de fabriquer des machines intelligentes (10,27,28).

Les premiers modèles étant limités, l'IA a connu des périodes d'enthousiasmes puis de déceptions et enfin de réussite. Au début des années 2000, beaucoup de limites ont été surmontées grâce à l'arrivée du Deep Learning. L'IA connaît un bel essor : elle est maintenant en mesure d'analyser des algorithmes complexes et d'auto-apprentissage. L'IA peut enfin être appliquée à la pratique clinique (27).

2. Définition

L'intelligence artificielle est un terme général qui implique l'utilisation d'un ordinateur pour modéliser un comportement intelligent avec une intervention humaine négligeable (27).

Ces deux principes fondamentaux sont (27) :

- L'apprentissage automatique, ou Machine Learning (ML), est la technologie la plus simple et la plus ancienne. Elle s'appuie sur un algorithme qui adapte lui-même le système à partir des retours faits par l'homme. Après une première phase d'utilisation, l'algorithme est optimisé à partir des feedbacks du développeur, qui informent le système de classifications erronées et lui indiquent les bonnes catégories.
- L'apprentissage profond, ou Deep Learning (DL), est composé d'algorithmes qui créent des réseaux de neurones multicouches permettant aux machines d'apprendre et de prendre des décisions par elles-mêmes, sans être guidés par l'humain (27). Dans chaque couche, le système recherche un nouveau critère spécifique, qui sert de base pour décider de la classification retenue pour l'objet à la fin du processus. Pour cela, les bases de données nécessaires à cet apprentissage sont colossales : elles dépassent le million. Le DL est une sous-catégorie du ML vu qu'il s'appuie sur un apprentissage sans surveillance (29).

On peut donc considérer le ML comme étant une technologie précurseur au DL (29).

3. IA appliquée à la médecine et plus particulièrement à l'ophtalmologie

Dans le domaine de la santé, l'IA s'applique au diagnostic, aux statistiques, à la robotique et à la biologie humaine (26,28).

En 2023, IDx-DR et Eyeart sont les deux seuls dispositifs médicaux d'IA en ophtalmologie approuvés pour une utilisation aux États-Unis (par la FDA) et en Europe (marquage CE).

Aux USA, l'autorité américaine des produits de santé a autorisé, pour la première fois, que de tels dispositifs diagnostiquent de manière autonome la rétinopathie diabétique. Ils peuvent donc être utilisés pour le tri automatisé sans supervision médicale (4,30,31). Cette technologie a ciblé la RD, en premier, du fait des recommandations de dépistage annuel par rétinographie chez tous les diabétiques aux États-Unis et en France (32).

Les techniques d'IA appliquées aux rétinographies, principalement utilisées pour le dépistage de masse de la rétinopathie diabétique, ont toute leur place dans le dépistage du glaucome, à l'heure de la télémédecine et des protocoles de délégation (11).

Même s'il n'existe aucun système d'IA pour le glaucome autorisé par la FDA, de nombreuses publications décrivent des recherches dans ce domaine. Li et al ont publié l'une des premières études évaluant l'efficacité d'un système DL pour détecter le glaucome basé sur des rétinographies (7,8). Depuis, la plupart des études concernant les algorithmes d'IA dans le dépistage du glaucome sont basées sur la photographie du fond d'œil (5).

Actuellement, en France, est autorisé seulement l'aide au diagnostic donc un médecin doit systématiquement relire l'image après la machine : le médecin reste légalement responsable du diagnostic. Or, la lecture des rétinographies s'avère être une tâche fastidieuse et requiert des ressources humaines importantes. C'est pourquoi, l'IA permettant une détection automatisée pourrait permettre d'alléger cette charge (5).

4. Histoire d'OphtAI

OphtAI est une joint-venture spécialisée dans l'IA en ophtalmologie.

Il a associé de nombreux partenaires dont l'AP-HP, l'INSERM, ADCIS et Evolucare. Ce dernier est le leader français du système d'information de santé spécialisé dans la gestion des données patients et organisation des soins de santé. Cette société a donc su réunir des experts médicaux et scientifiques de la spécialité.

OphtAI a été entraîné sur le réseau de télémedecine Ophdiat donc a été développé à la suite de l'analyse de plusieurs centaines de milliers de rétinographies de patients diabétiques via la base de données MESSIDOR (34).

En 2019, OphtAI a été mis sur le marché européen et a obtenu le marquage CE Dispositif Médical. À ce jour, cette IA n'est autorisée que pour l'aide au diagnostic et les résultats générés restent sous la responsabilité d'un médecin.

Depuis, cette technologie a également été proposée pour le glaucome (31).

Un programme national d'évaluation demandé par les pouvoirs publics est en cours afin de valider son utilisation pour les pathologies oculaires autres que la RD. L'objectif de l'investigation clinique, nommée OphtAI Eval, est de valider en condition de vie réelle ses performances. Le COSS est l'un des 15 centres participant à cette évaluation. C'est pourquoi, nous avons bénéficié de la possibilité d'utiliser ce logiciel.

Étant donné qu'OphtAI a peu été entraîné sur des rétinographies de yeux glaucomateux, l'extrapolation à ces pathologies est délicate et nécessite un contrôle rigoureux.

Si la détection est fiable avec un taux quasiment nul de faux négatifs, ces prédictions plus riches déclencheront probablement l'adoption du dépistage automatisé des pathologies oculaires, qui révolutionnera la pratique clinique, en ophtalmologie.

De plus, OphtAI souhaite étendre sa gamme de logiciels allant de l'analyse de la surface oculaire à la rétine. La technologie OphtAI vise non seulement à optimiser le dépistage des maladies oculaires mais également à pallier le manque de spécialistes examinateurs.

A ce jour, OphtAI, se déclare comme solution permettant une détection automatisée des pathologies oculaires telles que la rétinopathie diabétique, le glaucome et la DMLA (35).

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

A. Conditions de réalisation de l'étude

Toutes les prises de mesures ont été réalisées au Centre Ophtalmologique Sorbonne Saint-Michel (COSS), dans le 5^e arrondissement de Paris, entre les mois d'octobre et de décembre 2023.

La standardisation des examens complémentaires réalisés pour chaque patient garantit l'interprétation des résultats.

B. Matériels

1. Population étudiée

Les sujets ayant permis de réaliser l'étude sont des patients issus des consultations de praticiens spécialistes du glaucome. Des critères d'inclusion, de non-inclusion et d'exclusion ont été fixés afin de recruter des sujets adaptés à l'étude et d'éviter un maximum de biais.

a) Critères d'inclusion, de non-inclusion et d'exclusion

- Critères d'inclusion

Patients majeurs, sans pathologies rétinienne intercurrentes connues en dehors du glaucome : les patients myopes faibles et modérés avec dysversion papillaire modérée n'empêchant pas une segmentation des RNFL par OCT ont été inclus.

Les sujets témoins n'étaient pas connus comme étant à risque de glaucome et n'avaient pas d'antécédents familiaux connus pour cette pathologie.

- Critères de non-inclusion et d'exclusion

Personne sous tutelle ne pouvant exprimer son refus de participer à l'étude.

Myopie forte, supérieure à 6.00 dioptries.

Antécédents de décollement de rétine, trou maculaire, occlusion de la veine ou de l'artère centrale de la rétine, membrane épi-maculaire.

Les patients avec une dysversion papillaire très marquée, source de problème d'interprétation éventuelle, ont été exclus.

Les photographies de très mauvaises qualités, définies par OphtAI et par l'ophtalmologiste spécialiste, ont été exclues.

b) Caractéristiques de la population étudiée

Cette analyse rétrospective comprend 227 yeux provenant de 136 patients âgés de 22 à 87 ans.

Deux groupes appariés par âge ont été comparés :

- Échantillon 1 : patients « sains » = témoins
- Échantillon 2 : patients glaucomateux = cas

	Échantillon 1 : yeux témoins	Échantillon 2 : yeux GPAO
Individus :	N=75	N=61
▪ Hommes / Femmes	N=28 / N=47	N=24 / N=37
Yeux étudiés :	N=127	N=100
▪ Hommes / Femmes	N=45 / N=82	N=41 / N=59
▪ OD / OG	N=64 / N=63	N=52 / N=48
Âge (années) :		
▪ Moyenne \pm écart-type	59.4 \pm 11.5	62.4 \pm 11.3
▪ Extrêmes	22 à 87	36 à 85

Tableau 1 : Démographie et caractéristiques de base de la population étudiée.

2. Appareils et technologie utilisés

a) Rétinographie Non Mydriatique

La rétinographie est une photographie du fond d'œil. Il s'agit d'un examen complémentaire en ophtalmologie qui intervient dans les étapes de dépistage, de diagnostic et de suivi du patient. Les rétinographies classiques sont dites non mydriatiques, elles permettent l'examen du pôle postérieur dont la papille et la macula, mais pas l'analyse de la périphérie rétinienne (36).

Dans le cadre de cette étude, les photographies ont été réalisées avec le rétinographe non mydriatique 45° Crystalvue NFC-700 commercialisé par Quantel.

Cette technologie permet d'obtenir une photographie du fond d'œil peu coûteuse et de manière non invasive. C'est la raison pour laquelle la RNM semble être une bonne technique pour dépister une atteinte de la TNO et des FNR (5).

b) OphtAI

Une RNM est pratiquée avant d'activer le logiciel OphtAI. Puis, quelques clics permettent d'activer le logiciel à partir de la RNM. Ce dernier est entièrement autonome, facile et immédiat. Il génère un rapport en quelques minutes (Annexe). Les résultats sont lisibles sous forme d'un PDF, qui mentionne la présence ou l'absence d'un glaucome selon 2 catégories « positif » ou « négatif ». La qualité de l'image est également évaluée par l'algorithme.

c) Tomographie à Cohérence Optique

Le Cirrus HD-OCT 6000 de chez Zeiss a été utilisé dans la présente étude. Il a permis d'analyser quantitativement l'épaisseur moyenne du complexe ganglionnaires cellulaires (GCC) et l'analyse de la couche des fibres nerveuses rétiniennes péri papillaires (RNFL) (15).

d) Champ visuel

Les résultats du CV automatisé Humphrey 24-2 Sita Standard ont été collectés lorsque ces derniers étaient disponibles chez les patients glaucomateux inclus dans l'étude.

La sévérité du glaucome a été définie selon la classification de Hodapp et al. Plus la déviation moyenne (MD) est négative, plus le déficit est important (37,38).

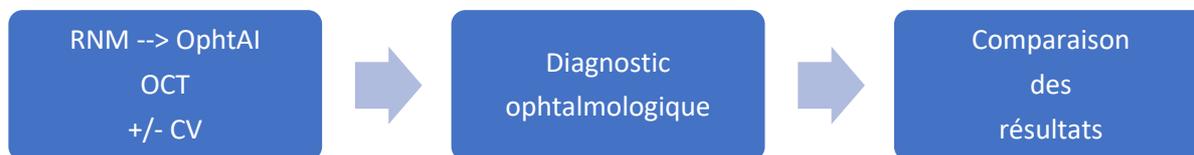
Stades du GPAO	Déviatiion moyenne (MD)
GPAO débutant	Jusqu'à -6.00 dB
GPAO modéré	De -6.01 à -12.00 dB
GPAO avancé	De -12.01 à -20 dB
GPAO sévère	Au-delà de -20.01 dB
Stade terminal, cécité	Non applicable

Tableau 2 : Stades périmétriques du glaucome.

C. Méthodes

Il s'agit d'une étude rétrospective. Le logiciel OphtAI a été utilisé sur les RNM acquises et a fourni un diagnostic (Annexe). Ce diagnostic a ensuite été comparé au diagnostic de l'expert sur la base des examens cliniques de l'OCT et du CV quand il était possible. Le spécialiste ne consultait pas les résultats d'OphtAI lors de l'examen clinique et de l'analyse des résultats des examens complémentaires. Il n'en tenait pas compte dans ses conclusions diagnostiques et de prise en charge.

La figure ci-dessous schématise l'organisation générale :



1. Examens cliniques

Création d'un dossier médical patient à partir du logiciel métier informatisé Area.

Réalisation d'un cliché de 45° en couleur du pôle postérieur, centré sur la macula, sans dilatation papillaire. Puis, activation d'OphtAI à partir du PDF de la RNM automatiquement transférée dans le dossier patient Area.

Imagerie OCT : Au démarrage, un calibrage automatique a été réalisé, avant d'installer confortablement le sujet devant l'appareil. Puis, deux mesures par œil, le « macular cube » et le « RNFL », ont été pratiquées en quelques dizaines de secondes. Pour réaliser des clichés de qualité, la pièce était sombre et l'individu devait fixer le centre de la cible, en restant immobile.

Enfin, la plupart des patients ayant un GPAO a réalisé un CV automatisé Humphrey 24-2 Sita Standard, en monoculaire, avec une correction optique adaptée. Il devait fixer le point jaune central et appuyer sur la manette dès qu'un point lumineux blanc apparaissait. Il devait donc être attentif et coopérant (11).

2. Diagnostic ophtalmologique

Il s'agit d'une étude monocentrique. Les cas et les témoins sont tous issus des consultations des praticiens spécialistes du glaucome.

Une double analyse a été effectuée :

- D'une part, l'analyse faite par l'ophtalmologiste expert, en aveugle, pour déterminer la présence ou l'absence d'une atteinte glaucomateuse à l'aide des résultats des examens rétinographiques (RNM) et des examens complémentaires (OCT, CV).
- D'autre part, l'analyse des résultats générés par OphtAI. Le diagnostic a été donné par l'algorithme à partir d'une RNM par œil.

3. Recueil et comparaison des données, tests statistiques

Cette étude est dite rétrospective car les données médicales recueillies étaient déjà présentes dans les dossiers médicaux. Elle se situe donc hors loi Jardé car elle n'implique pas la personne humaine. Cette recherche a en effet été réalisée sur des données récupérées dans le cadre de soin. Nous avons cependant veillé à respecter le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) en respectant les points ci-dessous :

- Nombre de données collectées limitées au strict nécessaire pour répondre aux objectifs du protocole.
Pseudo-anonymisation de patients : date de naissance des patients incomplète (mois et années de naissance sans le jour).
- En outre, un résumé de l'étude expliquant : le rationnel, la population de l'étude les objectifs/critères de jugement, les modalités d'analyse des données ont été affichés et mis à disposition.

Les données brutes ont été regroupées sur Microsoft Excel avant de les analyser avec le logiciel Rcmdr.

Puis, les résultats obtenus par OphtAI ont été comparés aux analyses du spécialiste expert, en élaborant un tableau de contingence, permettant de déterminer la sensibilité, la spécificité, les VPP et les VPN d'OphtAI.

Des tests statistiques paramétriques ont pu être utilisés car les groupes étaient supérieurs à 30 yeux ; les valeurs étudiées suivent une loi Normale. Une valeur de pvalue inférieure à 5% a été considérée comme étant statistiquement significative.

III. RÉSULTATS

A. Caractéristiques démographiques

Le tableau, ci-dessous, rassemble les caractéristiques de la population étudiée.

	Malade (GPAO)	Pas malade (témoins)
Individus : N total=136	N=61	N=75
▪ Hommes	N=24 (39%)	N= 28 (37%)
▪ Femmes	N=37 (61%)	N= 47 (63%)
Âge moyen (années) ± écart-type :	62.4 ± 11.3	59.4 ± 11.5
Yeux étudiés : N total=227	N=100	N=127
▪ Hommes	N=41 (41%)	N=45 (35%)
▪ Femmes	N=59 (59 %)	N=82 (65%)
▪ OD	N=52 (52%)	N=64 (50%)
▪ OG	N=48 (48%)	N=63 (50%)
Statut cristallinien : N=227	N=100	N=127
▪ Phaque	N=85 (85%)	N= 120 (94%)
▪ Pseudophaque	N=15 (15%)	N= 7 (6%)

Tableau 3 : Caractéristiques de la population étudiée.

B. Valeurs diagnostiques et prédictives d'OphtAI

Le résultat binaire fourni par l'algorithme, « malade » ou « pas malade » est détaillé ci-dessous :

	Malade (GPAO)	Pas malade (Témoin)	Total
Test +	66 (VP)	30 (FP)	96
Test -	34 (FN)	97 (VN)	131
Total	100	127	227

Tableau 4 : Tableau de contingence d'OphtAI dans le dépistage du GPAO.

C. Évaluation de la performance d'OphtAI

1. Mesures de performance globale

À la suite des résultats, on en déduit les mesures de performance du dépistage via OphtAI, à savoir :

- La sensibilité : la probabilité que le test soit positif chez une personne malade.
- La spécificité : la probabilité que le test soit négatif chez une personne non malade.

- La Valeur Prédictive positive (VPP) : la probabilité qu'une personne soit malade quand le test est positif.
- La Valeur Prédictive Négative (VPN) : la probabilité qu'une personne ne soit pas malade quand le test est négatif (2)

Sensibilité	66%
Spécificité	76%
VPP	68%
VPN	74%

Tableau 5 : Résultats finaux obtenus par OphtAI pour le dépistage du GPAO sur l'ensemble de la population étudiée.

2. Âge des patients selon les catégories diagnostiques

	Moyenne d'âge (années)	Test de Student
Patients Vrai Négatif	60.6 ± 12	T-test : - 0.6
Patients Faux Positif	59 ± 9.7	
Patients Vrai Positif	61 ± 11	T-test : - 2.1
Patients Faux Négatif	66 ± 11.9	

Tableau 6 : Évaluation des performances d'OphtAI selon l'âge.

3. Qualité de la RNM

Au sein de l'étude, il y avait au total 42 clichés de mauvaises qualités d'après l'ophtalmologiste et 11 d'après OphtAI. Il y a donc une distinction entre l'interprétation de l'ophtalmologiste et l'interprétation d'OphtAI.

Les résultats de mauvaise qualité d'OphtAI ont été relevé :

Parmi les 127 patients sains, il y a eu 30 alertes glaucome alors que les patients n'en avaient pas. Parmi ces 30 faux positifs (FP), il y a eu 2 clichés de mauvaise qualité, donc 6.7% d'erreur imputable à la qualité de l'image.

Parmi les 34 faux négatifs (FN) du groupe GPAO étudié, OphtAI a détecté 2 clichés de mauvaise qualité. Il y aurait donc 5.9% d'erreur causé par ce manque de qualité.

Parmi les vrais négatifs (VN), OphtAI a relevé 4 clichés de mauvaise qualité. Sur 97 VN, soit 4% des patients sains ayant eu un résultat négatif.

Dans le groupe de vrais positifs (VP), du groupe GPAO étudié, OphtAI a repéré 3 clichés de moindre qualité. Sur 66 VP, 4.5% des patients diagnostiqués par OphtAI ayant effectivement un glaucome.

4. Sévérité du glaucome

Les performances d'OphtAI ont été stratifiées selon les stades de sévérité du glaucome, issus de la classification de Hodapp (37). Parmi les 100 yeux ayant un GPAO, les CV de 55 yeux ont été analysés.

Parmi les FN (N=23), la majorité était observée chez les patients avec GPAO débutant (18/23 soit 78.3%). Plus le stade de sévérité du GPAO était avancé, moins le nombre de FN était élevé. De la même manière, la sensibilité augmentait avec la sévérité du GPAO. En effet, aux stades débutants, N=34, on connaît 16 VP pour 18 FN (soit 16/34 = environ 47%) alors que pour les stades modérés, (N=15), on comptait 12 VP pour 3 FN (soit 12/15 = environ 80%).

Stades GPAO	Total N=55	FN N=23		VP N=32	
GPAO débutant	34	18	78.3%	16	50%
GPAO modéré	15	3	13%	12	37.5%
GPAO avancé	2	1	4.3%	1	3.1%
GPAO sévère	3	0	0%	3	9.4%
Stade final : cécité	1	1	4.3%	0	0%

Tableau 7 : Stades périmétriques du GPAO au sein de notre étude.

La sensibilité d'OphtAI pour diagnostiquer le GPAO, est de 47% dans le groupe des glaucomes débutants et de 80% dans le groupe des glaucomes modérés.

Pour les glaucomes avancés, les effectifs semblent trop faibles pour en tirer des chiffres significatifs.

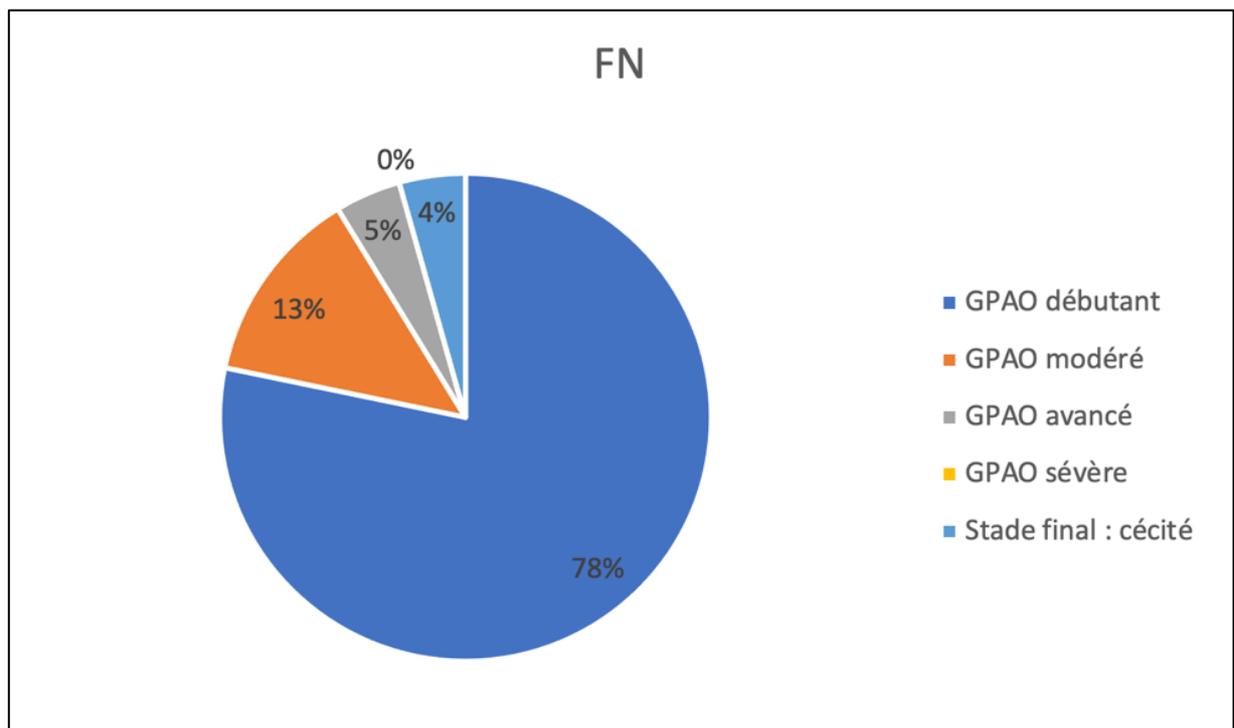


Figure 8 : Représentation graphique des FN en fonction du stade périmétrique du GPAO.

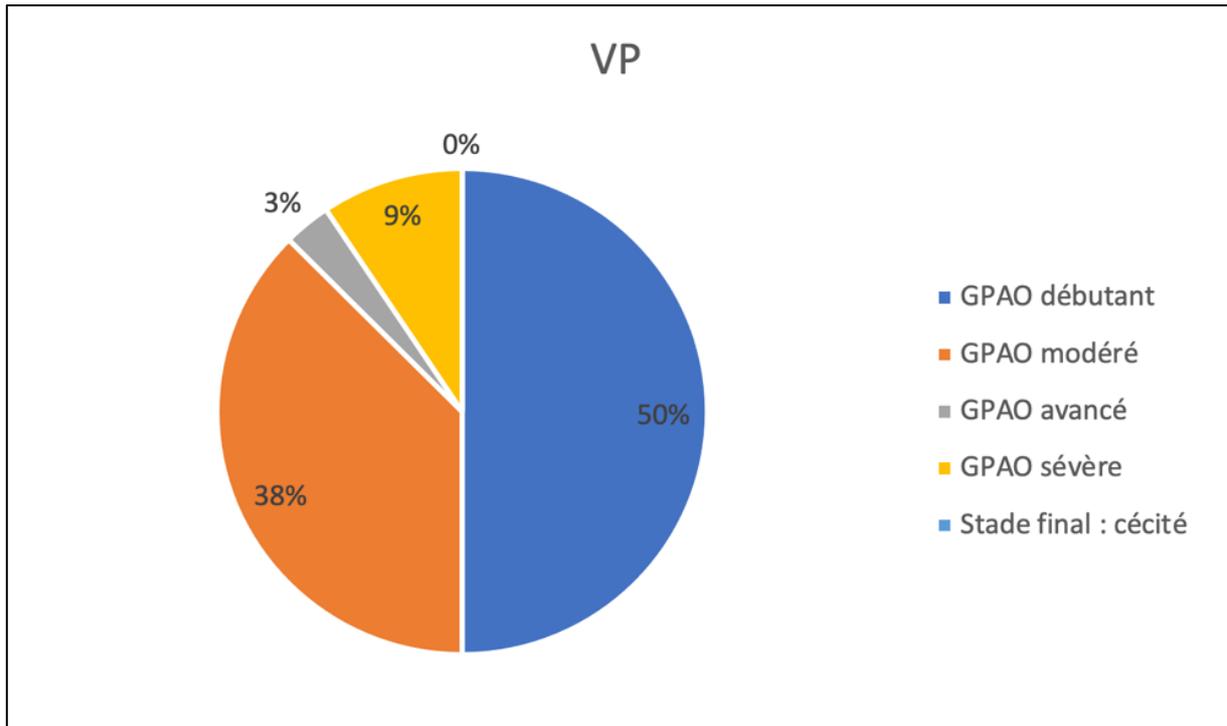


Figure 9 : Représentation graphique des VP en fonction du stade périmétrique du GPAO.

D. Dans le cadre du RNO

Nous avons sélectionné les 20 patients âgés de 6 à 50 ans afin de tester les performances de l'algorithme sur une population plus jeune, similaire à celle qui est rencontrée dans le cadre du protocole de délégation de tâche pour le renouvellement d'optique, plus communément appelé le RNO. C'est l'âge requis par la réglementation qui a été mis en vigueur dans ce cadre.

Dans ce cas, la sensibilité du test est de 62% et la spécificité de 78%.

IV. DISCUSSION

A. De l'hypothèse aux résultats

1. Hypothèse

L'hypothèse de départ était d'évaluer la sensibilité d'un nouveau logiciel d'IA, évalué et confirmé pour la RD, dans le dépistage de la neuropathie optique glaucomateuse (NOG), en fonction des différents stades cliniques du glaucome. L'intérêt de cette évaluation est majeur, à l'heure du développement de l'IA, de sa place prépondérante dans les démarches diagnostiques et de la prise en charge des différentes affections oculaires.

Plusieurs études expérimentales ont démontré son intérêt dans le dépistage de la NOG. Cette étude a pour but essentiel d'évaluer ce logiciel disponible en pratique clinique courante par rapport à l'analyse clinique diagnostique dans le dépistage de la NOG.

2. Résultats

Au sein de cette étude, la sensibilité d'OphtAI dans le dépistage du GPAO est de 66%. Cela signifie que sur 100 clichés de personnes ayant un GPAO, 44 ne seront pas diagnostiquées.

Rappelons que dans le cadre d'un dépistage de masse, il est fondamental d'avoir une sensibilité élevée, car cela est corrélé à un faible taux de FN. A contrario, les FP sont moins problématiques car ces patients seront orientés vers un ophtalmologiste qui pourra évaluer ce diagnostic.

Or, OphtAI a obtenu un marquage CE pour le dépistage de la RD, combinée à celui d'autres pathologies associées (non spécifiées). Cela amène à se poser la question de savoir sur quelles bases normatives et pathologiques l'évaluation de ce logiciel a été réalisée pour pouvoir conclure à la présence ou non d'un diagnostic positif de glaucome. (39).

A noter que dans le groupe de FP, 6.7% de cette erreur de diagnostic pourrait être imputable à la qualité du RNM. Chez les patients témoins, si la rétinographie est de mauvaise qualité, il y a 33% de risque que cela entraîne un mauvais résultat et donc un FP. Chez les patients ayant un glaucome, 5.9% des FN peuvent être causés par une RNM de mauvaise qualité. Il est à noter que d'après les résultats si la RNM est de mauvaise qualité il y aura 40% de probabilité que cela entraîne un FN chez les patients malades.

Il est donc nécessaire que la photo soit de bonne qualité.

Dans la totalité de l'étude, seulement 11 clichés étaient de mauvaise qualité.

D'après le test de Student, l'âge des échantillons est significativement différent. Dans les différents échantillons, chez les patients glaucomateux le groupe ayant obtenu un FN est effectivement plus âgé que celui ayant eu un VP. Et chez les patients témoins, le groupe ayant eu un VN est plus âgé que le groupe ayant obtenu un FP.

Il y a une forte proportion de glaucome débutant dans la cohorte de FN, nettement inférieur au groupe de patients VP. Cela démontre qu'OphtAI diagnostique mieux les glaucomes avancés.

Cette étude, en conditions de vraie vie, a été réalisée sur un échantillon de patients représentant une population présente en cabinet de ville.

Il y a été démontré que dans le cadre d'un dépistage du GPAO, OphtAI ne répond pas aux critères de qualité pour un dépistage optimal. De nombreux points ressortent. Les résultats chez les patients peuvent être faussés par l'âge, le stade précoce du glaucome et la qualité du cliché de OphtAI.

Cependant, nous ne pouvons en aucun cas prédire, à l'avance, le stade du glaucome d'un patient. Les FN chez ces patients sont source d'erreur compte tenu de l'importance d'un diagnostic précoce pour un meilleur pronostic pour le patient.

Il semblerait que l'âge n'impacte pas les résultats chez les patients sains.

Enfin, il n'y a pas eu de différence significative entre les résultats de l'ensemble de la cohorte et ceux obtenus dans le cadre d'un RNO dans un sous-groupe de population plus jeune.

3. Points forts de l'étude

Le point fort de l'étude est l'analyse par un clinicien expert, en aveugle, qui ne tenait pas compte du diagnostic d'OphtAI pour donner son diagnostic.

L'étude a été réalisée sur une cohorte assez importante, dans des conditions de vraie vie, donc cela permet d'obtenir des résultats assez représentatifs de la population générale.

4. Biais de l'étude

Des biais tel que l'exclusion des images de très mauvaises qualités et le fait de ne pas avoir renseigné l'ethnicité et avoir ajouté un échantillon avec des âges extrêmes ne reflètent pas l'ensemble des données du monde réel dans lesquelles les images de tous les patients sont analysées.

Même si cela n'était pas fréquent, certains clichés étaient surexposés. Dans ce cas, la papille était difficilement interprétable. De plus, nous avons remarqué, comme Lee et al, que différentes origines ethniques pouvaient impacter la qualité de la photographie du fond d'œil du fait de l'importante variation de pigmentation rétinienne et choroïdienne. Il aurait donc été intéressant de connaître l'ethnie mais il était difficile de connaître ce critère car notre étude est rétrospective (6).

La qualité de la photographie est donc déterminante pour évaluer les performances de l'IA obtenue par RNM lors d'une campagne de dépistage. Une meilleure qualité de clichés pourrait probablement moduler et optimiser les résultats. Il aurait donc été intéressant de comparer ces résultats à une étude similaire réalisée sur un autre type de RNM, tel que l'appareil Topcon, qui semble donner de meilleurs clichés. Coan et al ajoutent qu'il serait intéressant d'étudier les performances de l'IA en diversifiant les types de RNM et l'éclairage ambiant de la pièce (2).

Autre point faible est lié à l'effectif limité de chaque stade de glaucome, en particulier modéré et avancé, qui mériteraient une évaluation complémentaire sur de plus grands groupes.

Enfin, cette étude rétrospective, avec l'analyse d'un seul expert clinicien est un autre point faible ; et aurait pu bénéficier d'une analyse complémentaire avec un autre spécialiste expert quoique les données du diagnostic clinique des patients du groupe glaucome ne posaient pas sujet à une erreur d'interprétation ni à la discussion.

B. Confrontation à la littérature

Le diagnostic des pathologies rétinienne représente un champ propice au développement de l'IA car il est essentiellement basé sur l'imagerie. Le dépistage de la RD est le premier domaine où l'IA s'est imposée comme un outil incontournable. Depuis, de nombreuses publications ont vu le jour. Mais à ce jour, la comparaison des performances obtenues lors des différentes études ne paraît pas judicieuse car la base de données et le protocole sont propres à chaque étude (10).

En 2021, Lee et al ont publié une étude multicentrique dans le but de confronter des algorithmes d'IA de pointe dans le dépistage de la RD. Parmi les 27 compagnies sollicitées, 7 ont été retenues dont OphtAI, IDx-DR et EyeArt. Ils montrent que les performances de ces algorithmes varient énormément même s'ils ont déjà été reconnu et utilisé en clinique (6). On s'interroge sur l'exigence des performances pour obtenir le marquage CE (39).

Matta et al ajoutent que les performances des algorithmes sont valables uniquement sur des cohortes similaires aux critères sélectionnés pour créer la base d'entraînement. En revanche, les performances se dégradent dès que les bases diffèrent de la base d'entraînement notamment en termes de prévalence, pathologie et de qualité d'image. À ce jour, les algorithmes développés pour le dépistage de la RD ne peuvent donc pas être extrapolés pour le dépistage de pathologies oculaires en population générale (6,40). D'ailleurs, Quellec et al affirment que ces IA ne sont pas encore capables de diagnostiquer des pathologies rares du fond d'œil tel que le mélanome. Pour cela, il faudrait avoir une base d'images caractérisée pour chacune des pathologies afin d'entraîner les algorithmes (31).

Les performances varient selon les algorithmes. On rappelle que la sensibilité d'OphtAI obtenue dans le dépistage du glaucome dans cette étude en conditions de vraie vie s'élève à 66% alors que l'équipe de Lee a relevé une sensibilité d'OphtAI de 99% dans le dépistage de la RD. Cette IA a donc une sensibilité à dépister la RD presque comparable aux évaluateurs télé-rétiniens. Les auteurs recommandent tout de même des évaluations complémentaires de « vraie vie » pour atteindre un niveau de sensibilité optimal. Cela permettrait d'utiliser cette IA, sans risques, à des fins cliniques (6). D'ailleurs, une investigation clinique nommée OphtAI-Eval est promue par la société Evolucare Technologies. L'objectif est de valider les performances diagnostiques du logiciel OphtAI pour le dépistage automatisé de la RD, du glaucome, de l'œdème maculaire diabétique, la MLA et la DMLA (35). Le COSS, dans lequel ont été recrutés les patients analysés dans ce mémoire, participe à cette étude post marquage CE.

L'équipe de Lee, quant à elle, pense qu'il serait préférable de réaliser des tests rigoureux avant et après l'approbation de l'algorithme, au lieu de ne le faire qu'avant la certification. Cela qualifierait mieux l'aptitude de l'IA à la mise en œuvre clinique (6).

Schuman et al pensent qu'il faudrait coupler la photographie du FO et l'analyse quantitative de l'OCT assistés par l'IA pour faciliter le diagnostic du glaucome. La combinaison de ces deux appareils pourraient donner un résultat plus efficace (4).

Coan et al jugent que l'OCT seul pourrait être la bonne solution car il nécessite moins d'expertise clinique que l'analyse de la tête du nerf optique sur une rétinographie. Cependant, le coût représenté par l'utilisation systématique de l'OCT ne semble pour le moment pas adapté en termes

de santé publique, ni réalisable à grande échelle d'un point de vue médico-économique (2). Pour pallier la pénurie d'ophtalmologistes et le manque d'accès aux soins dans les zones rurales, l'équipe de Coan pense que la RNM associée à l'IA seraient la solution pour dépister le glaucome à grande échelle et à faible coût. Cela pourrait limiter les erreurs humaines notamment liée à la fatigue. Au fil du temps, les photographies en couleur du fond d'œil sont de meilleures qualités et le coût engendré est nettement inférieur aux autres modalités d'imagerie (2,41). D'ailleurs, l'équipe de Lumij ainsi que celle de Bunod pensent que la rétinographie est la meilleure option dans une campagne de dépistage car cet examen est facile à réaliser, il est peu coûteux et il est largement répandu en routine clinique. Par contre la charge de travail nécessaire pour noter manuellement toutes les rétinographies est considérable et pour le moment, il n'y a aucun test de dépistage fiable sur le marché, d'où la nécessité d'essayer de développer de nouveaux algorithmes plus performants, intégrant peut-être des données paracliniques constituant des facteurs de risque de glaucome, comme les antécédents familiaux de glaucome, l'âge, la myopie, l'ethnie, la pression intra oculaire etc... (10,41).

Pour comparer les résultats des différentes études, il faudrait impérativement connaître les conditions de réalisation de l'étude telles que le nombre d'images acquises par œil, le type de RNM utilisé, le nombre d'évaluateurs, les critères d'inclusion et d'exclusion... Cela permettrait de reproduire la méthode. Notons tout de même que le résultat de l'IA étant comparé à l'aveugle au diagnostic d'un expert, une variabilité inter observateur est présente (2).

Contrairement à la plupart des publications, Lemij et son équipe ont pris le soin de sélectionner des ophtalmologistes et des optométristes qualifiés et expérimentés en évaluant leur analyse de papilles. Cette étude a recueilli des rétinographies couleur de 113 893 yeux auprès d'EyePACS dans le cadre d'un programme de dépistage de la RD. Trois clichés ont été pris par œil pour réduire le risque d'une sur ou sous exposition car l'évaluation s'est faite uniquement grâce à la RNM. Cette campagne de dépistage à faible coût mais à grande échelle n'a pas permis de faire un OCT et un CV. Les mesures ont été prises sur différents types de RNM, dans près de 500 centres à travers les États-Unis. Cela crée un biais car les annotations de la papille sont peu reproductibles et les évaluateurs ne sont pas toujours d'accord. Cependant, ils ont dépassé leurs objectifs car ils ont obtenu une sensibilité de 80% et une spécificité de 95% (41).

Lorsque le glaucome est pris en charge tardivement, une déficience visuelle importante impacte la vie quotidienne de la personne et le coût des soins serait multiplié par 4. Il est donc nécessaire de trouver une solution pour faire un dépistage de masse du glaucome pour limiter cette importante charge financière dans de nombreux pays (41,42).

La littérature est riche sur l'IA dans le domaine du glaucome ainsi que d'autres pathologies oculaires. Elle aborde de nombreuses thématiques comme le diagnostic, la détection de la progression, le pronostic ou l'amélioration des soins et des pratiques (10). De nombreuses IA sur de l'OCT sont en cours de développement, notamment pour la détection et la quantification des fluides rétinien dans la DMLA et l'OMD (exemple : logiciel « RETINSIGHT » développé par l'équipe du Pr Ursula Schmidt Erfurth). Cependant, ces logiciels ont pour but d'assister le médecin (aide au diagnostic) pour optimiser sa consultation, mais n'ont pas pour vocation de remplacer l'ophtalmologiste.

A notre connaissance, il s'agit de la première étude clinique en conditions de vraie vie d'un logiciel disponible en pratique clinique courante pour le dépistage en imagerie du glaucome.

Les résultats rapportent un certain nombre de limites qui doivent appeler la prudence. Ils méritent toutefois d'être confortés par des études prospectives et sur de plus grandes cohortes de patients, aux différents stades de glaucome (11).

CONCLUSION

Dans cette étude, la sensibilité d'OphtAI est faible pour le diagnostic d'un GPAO, car cette IA a été conçue pour dépister la rétinopathie diabétique et donc entraînée sur des patients diabétiques, et sur un effectif faible de patients atteints de GPAO.

L'extrapolation des résultats obtenus sur la RD à ceux du glaucome n'est pas encore envisageable, ni pour le dépistage des autres pathologies oculaires en population générale. Le développement d'une IA cliniquement utilisable pour le glaucome nécessitera un consensus et une standardisation des critères de diagnostic. A l'heure actuelle, en France, seuls les algorithmes d'IA dédiés au dépistage de la RD peuvent être utilisés de manière sécuritaire, et uniquement en aide au diagnostic, et sous la responsabilité d'un médecin. Des entraînements et des évaluations complémentaires sont nécessaires quant au dépistage des pathologies associées. C'est pourquoi en France, ces algorithmes ne sont autorisés qu'en aide au diagnostic et devront être toujours utilisés dans le cadre d'un parcours de soins défini, intégrant un ophtalmologiste. Cependant, diverses sociétés ont signalé le développement des produits commerciaux d'IA pour le dépistage du glaucome, notamment iHealthScreen et Eyenuk (Eyeart). Pour cette raison, ces outils doivent être l'objet d'études d'évaluations prudentes et approfondies avant une utilisation en pratique clinique courante.

De nouvelles recherches se sont également concentrées sur l'utilisation de l'IA pour prédire la progression de la maladie grâce à l'identification automatisée des facteurs de risque. Mais de la même manière, les modalités d'utilisation de ces algorithmes et le modèle médico économique restent encore à définir.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Organisation mondiale de la Santé [En ligne]. 2023. Cécité et déficience visuelle [cité le 23 mars 2024]. Disponible: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
2. Coan LJ, Williams BM, Krishna Adithya V, Upadhyaya S, Alkafri A, Czanner S, et al. Automatic detection of glaucoma via fundus imaging and artificial intelligence: A review. *Surv Ophthalmol*. 2023;68(1):17-41. DOI: 10.1016/j.survophthal.2022.08.005
3. Steinmetz JD, Bourne RRA, Briant PS, Flaxman SR, Taylor HRB, Jonas JB, et al. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet Glob Health*. 2021;9(2):144-60. DOI: 10.1016/S2214-109X(20)30489-7
4. Schuman JS, De Los Angeles Ramos Cadena M, McGee R, Al-Aswad LA, Medeiros FA, Abramoff M, et al. A Case for the Use of Artificial Intelligence in Glaucoma Assessment. *Ophthalmol Glaucoma*. 2022;5(3):e3-13. DOI: 10.1016/j.ogla.2021.12.003
5. Chen D, Ran EA, Tan TF, Ramachandran R, Li F, Cheung C, et al. Applications of Artificial Intelligence and Deep Learning in Glaucoma. *Asia-Pac J Ophthalmol*. 2023;12(1):80-93. DOI: 10.1097/APO.0000000000000596
6. Lee AY, Yanagihara RT, Lee CS, Blazes M, Jung HC, Chee YE, et al. Multicenter, Head-to-Head, Real-World Validation Study of Seven Automated Artificial Intelligence Diabetic Retinopathy Screening Systems. *Diabetes Care*. 2021;44(5):1168-75. DOI: 10.2337/dc20-1877
7. Al-Aswad LA, Ramachandran R, Schuman JS, Medeiros F, Eydelman MB, Abramoff MD, et al. Artificial Intelligence for Glaucoma. *Ophthalmol Glaucoma*. 2022;5(5):e16-25. DOI: 10.1016/j.ogla.2022.02.010
8. Li Z, He Y, Keel S, Meng W, Chang RT, He M. Efficacy of a Deep Learning System for Detecting Glaucomatous Optic Neuropathy Based on Color Fundus Photographs. *Ophthalmology*. 2018;125(8):1199-206. DOI: 10.1016/j.ophtha.2018.01.023
9. Haleem MS, Han L, Van Hemert J, Li B. Automatic extraction of retinal features from colour retinal images for glaucoma diagnosis: A review. *Comput Med Imaging Graph*. 2013;37(7-8):581-96. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2013.09.005
10. Bunod R, Augstburger E, Brasnu E, Labbe A, Baudouin C. Intelligence artificielle et glaucome : une revue de la littérature. *J Fr Ophtalmol*. 2022;45(2):216-32. DOI: 10.1016/j.jfo.2021.11.002
11. Renard JP, Sellem E, Bour T, Lalanne MC. Le GPAO : Problème de santé publique. Dans: Renard JP, Sellem E, Aptel F, Arnould B, Ballonzoli L, Société française d'ophtalmologie, directeurs. *Glaucome primitif à angle ouvert: rapport SFO 2014*. [En ligne]. Issy-les-Moulineaux (FR): Elsevier Masson; 2014 [cité le 8 févr 2024]. Disponible: https://www.em-consulte.com/em/SFO/2014/html/file_100038.html
12. Vignal C, Tilikete C, Miléa D, Miller NRP, Fumat C. *Neuro-ophtalmologie*. 2e éd. Issy-les-Moulineaux (FR): Elsevier Masson; 2016.
13. Pouliquen Y. *Dictionnaire d'ophtalmologie*. Paris (FR): PUF; 2002.
14. Gupta D, Chen PP. Glaucoma. *Am Fam Physician*. 2016;93(8):668-74.
15. Fournié P, Gualino V, Cohen SY. *Ophtalmologie*. Paris (FR): Lavoisier-Médecine sciences; 2015.
16. Ekici E, Moghimi S. Advances in understanding glaucoma pathogenesis: A multifaceted molecular approach for clinician scientists. *Mol Aspects Med*. 2023;94:36-40. DOI: 10.1016/j.mam.2023.101223
17. Debillon L. *Glaucomes*. Elsevier Masson; 2024;27(1):1-10. DOI: 10.1016/S1634-6939(23)45186-1
18. Brandt JD, Gordon MO, Gao F, Beiser JA, Miller JP, Kass MA. Adjusting Intraocular Pressure for Central Corneal Thickness Does Not Improve Prediction Models for Primary Open-Angle Glaucoma. *Ophthalmology*. 2012;119(3):437-42. DOI: 10.1016/j.ophtha.2011.03.018
19. Brandt JD, Beiser JA, Kass MA, Gordon MO. Central Corneal Thickness in the Ocular

- Hypertension Treatment Study (OHTS). 2001;108:1779-88. DOI: 10.1016/s0161-6420(01)00760-6
20. Ting DSW, Pasquale LR, Peng L, Campbell JP, Lee AY, Raman R, et al. Artificial intelligence and deep learning in ophthalmology. *Br J Ophthalmol*. 2019;103(2):167-75. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2018-313173
 21. Ahuja AS, Halperin LS. Understanding the advent of artificial intelligence in ophthalmology. *J Curr Ophthalmol*. 2019;31(2):115-7. DOI: 10.1016/j.joco.2019.05.001
 22. Delcourt C, Bron A, Baudouin C, Denis P, Nordmann J-P, Renard J-P, et al. Prévalence et description du traitement par hypotonisants pour glaucome et hypertonie oculaire en France. *J Fr Ophtalmol*. 2006;29(10):1098-106. DOI: 10.1016/S0181-5512(06)73905-5
 23. Zhang N, Wang J, Li Y, Jiang B. Prevalence of primary open angle glaucoma in the last 20 years: a meta-analysis and systematic review. *Sci Rep*. 2021;11(1):13762. DOI: 10.1038/s41598-021-92971-w
 24. Muchuchuti S, Viriri S. Retinal Disease Detection Using Deep Learning Techniques: A Comprehensive Review. *J Imaging*. 2023;9(4):84. DOI: 10.3390/jimaging9040084
 25. Stevens GA, White RA, Flaxman SR, Price H, Jonas JB, Keeffe J, et al. Global Prevalence of Vision Impairment and Blindness: Magnitude and Temporal Trends, 1990–2010. *Ophthalmology*. 2013;120(12):2377-84. DOI: 10.1016/j.ophtha.2013.05.025
 26. Hamet P, Tremblay J. Artificial intelligence in medicine. *Metabolism*. 2017;69 Suppl:S36-40. DOI: 10.1016/j.metabol.2017.01.011
 27. Kaul V, Enslin S, Gross SA. History of artificial intelligence in medicine. *Gastrointest Endosc*. 2020;92(4):807-12. DOI: 10.1016/j.gie.2020.06.040
 28. Bezanson C. Intelligence artificielle. *Rev Francoph Orthopt*. 2018;11(1):2-3. DOI: 10.1016/j.rfo.2018.02.001
 29. IONOS [En ligne]. 22 mai 2020. Quelles sont les différences entre le Deep learning et le Machine learning? [cité le 6 févr 2024]. Disponible: <https://www.ionos.fr/digitalguide/web-marketing/search-engine-marketing/deep-learning-vs-machine-learning/>
 30. Grzybowski A, Brona P. Approval and Certification of Ophthalmic AI Devices in the European Union. *Ophthalmol Ther*. 2023;12(2):633-8. DOI: 10.1007/s40123-023-00652-w
 31. Quellec G, Lamard M, Conze P-H, Massin P, Cochener B. Automatic detection of rare pathologies in fundus photographs using few-shot learning. *Med Image Anal*. 2020;61:101660. DOI: 10.1016/j.media.2020.101660
 32. Haute Autorité de Santé. Dépistage de la rétinopathie diabétique par lecture différée de photographies du fond d'œil [En ligne]. 2010 [cité le 28 mars 2024]. Disponible: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2011-03/fiche_de_synthese_retinopathie_vf.pdf
 34. Evolucare [En ligne]. 2019. #OphtAI obtient le Marquage CE Dispositif Médical [cité le 23 mars 2024]. Disponible: <https://www.evolucare.com/fr/ophtai-marquage-ce/>
 35. Ophtai: Intelligence artificielle pour l'ophtalmologie [En ligne]. [cité le 24 janv 2024]. Disponible: <https://www.ophtai.com/fr/>
 36. Lecleire-Collet A, Erginay A, Angioi-Duprez K, Deb-Joardar N, Gain P, Massin P. Classification simplifiée de la rétinopathie diabétique adaptée au dépistage par photographies du fond d'œil. *J Fr Ophtalmol*. 2007;30(7):674-87. DOI: 10.1016/S0181-5512(07)91355-8
 37. Hodapp E, Parrish RK, Anderson DR. *Clinical Decisions in Glaucoma*. Mosby; 1993.
 38. Mills RP, Budenz DL, Lee PP, Noecker RJ, Walt JG, Siegartel LR, et al. Categorizing the Stage of Glaucoma From Pre-Diagnosis to End-Stage Disease. *Am J Ophthalmol*. 2006;141(1):24-30. DOI: 10.1016/j.ajo.2005.07.044
 39. Sayres R, Taly A, Rahimy E, Blumer K, Coz D, Hammel N, et al. Using a Deep Learning Algorithm and Integrated Gradients Explanation to Assist Grading for Diabetic Retinopathy. *Ophthalmology*. 2019;126(4):552-64. DOI: 10.1016/j.ophtha.2018.11.016
 40. Matta S, Lamard M, Conze P-H, Le Guilcher A, Lecat C, Carette R, et al. Towards population-independent, multi-disease detection in fundus photographs. *Sci Rep*. 2023;13(1):11493. DOI: 10.1038/s41598-023-38610-y
 41. Lemij HG, Vente CD, Sánchez CI, Vermeer KA. Characteristics of a Large, Labeled Data Set for the Training of Artificial Intelligence for Glaucoma Screening with Fundus Photographs. *Ophthalmol Sci*. 2023;3(3):100300. DOI: 10.1016/j.xops.2023.100300
 42. Lee PP, Walt JG, Doyle JJ, Kotak SV, Evans SJ, Budenz DL, et al. A Multicenter,

Retrospective Pilot Study of Resource Use and Costs Associated With Severity of Disease in Glaucoma. Arch Ophthalmol. 2006;124(1):12-9. DOI: 10.1001/archophth.124.1.12

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma de l'anatomie de l'œil de l'être humain.	4
Figure 2 : Illustration du c/d de la papille du nerf optique.	4
Figure 3 : Photographie du nerf optique. incluant la règle du ISNT.....	5
Figure 4 : Photographie d'une encoche de l'ANR.	5
Figure 5 : RNFL d'un œil droit sain (a.c) et d'un œil glaucomateux (b.d).....	5
Figure 6 : Rétinographie d'une atrophie péri papillaire.....	6
Figure 7 : Rétinographie d'une hémorragie péri papillaire.....	6
Figure 8 : Représentation graphique des FN en fonction du stade périmétrique du GPAO.....	17
Figure 9 : Représentation graphique des VP en fonction du stade périmétrique du GPAO.....	18

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Démographie et caractéristiques de base de la population étudiée.	11
Tableau 2 : Stades périmétriques du glaucome.....	12
Tableau 3 : Caractéristiques de la population étudiée.	15
Tableau 4 : Tableau de contingence d'OphtAI dans le dépistage du GPAO.....	15
Tableau 5 : Résultats finaux obtenus par OphtAI pour le dépistage du GPAO sur l'ensemble de la population étudiée.	16
Tableau 6 : Évaluation des performances d'OphtAI selon l'âge.....	16
Tableau 7 : Stades périmétriques du GPAO au sein de notre étude.	17

Exemple d'un résultat Vrai Positif (VP) par OphtAI :



ophtAI

Multi Pathologies Retina Screening

OphtAI version 2.3.2

Informations Patient

Âge : 61 ans
Sexe : F

Informations Dépistage

Fournisseur : Area
Date : Tue Sep 05 2023
Dispositif : Software

Résultats par œil :

Qualité des photos	Bonne qualité	Bonne qualité
Pathologie	Œil Droit	Œil Gauche
Rétinopathie diabétique adressable	Négatif	Négatif
Stade Rétinopathie Diabétique	Pas de RD	Pas de RD
Œdème maculaire	Négatif	Négatif
Drusen	Négatif	Négatif
DMLA	Négatif	Négatif
Glaucome	Positif	Positif

Conclusion :

Les pathologies suivantes ont été détectées : Glaucome.

Aucune Rétinopathie Diabétique réferable n'a été détectée pour ce patient.

Conduite à tenir :

undefined undefined Glaucome, Patient à adresser sans tarder à l'ophtalmologue pour avis médical, ce d'autant plus urgemment qu'il présente des signes fonctionnels d'alerte (vision "en tunnel" et scotomes - taches sombres perçues par le patient -, associée ou non à une baisse de l'acuité visuelle ; diminution de la perception des contrastes ; gêne en vision nocturne ; difficultés à la lecture ; sensation d'éblouissement ; modifications de la vision des couleurs).

Ce rapport a été produit par OphtAI, service d'intelligence artificielle pour dépistage de pathologies oculaires, scientifiquement testé et marqué CE en accord avec la directive 93/42/EEC de la Déclaration 1263 de Décembre 2008. Pour une assistance client, contacter s'il vous plaît "support@ophtai.com"

Quel que soit son contenu, vous devriez toujours consulter votre ophtalmologue régulièrement et comme planifié, et en urgence en cas de trouble visuel. Les images de ce rapport ne doivent pas être utilisées pour le diagnostic. Dans certains pays, un spécialiste doit effectuer le diagnostic final et prendre les décisions thérapeutiques, après un examen complet adapté au patient. Dans tous les cas, les mentions de ce rapport concernant le glaucome devraient être confirmées car les rétinophotographies sont insuffisantes pour son diagnostic.

OphtAI ou ses distributeurs ne pourront être tenus pour responsables au regard d'une action légale de quelque type que ce soit, de quelconques dommages ou conséquences découlant de l'usage de cette information. Quand une telle limitation de responsabilité n'est pas permise par les lois applicables, la responsabilité devrait être réduite au minimum permis par la loi.

1/3

Informations Patient**Informations Dépistage**

Qualité des photos	Bonne qualité	Bonne qualité
Pathologie	Photo OD 1	Photo OG 1
Rétinopathie diabétique adressable	Négatif	Négatif
Stade Rétinopathie Diabétique	Pas de RD	Pas de RD
Œdème maculaire	Négatif	Négatif
Drusen	Négatif	Négatif
DMLA	Négatif	Négatif
Glaucome	Positif	Positif

Ce rapport a été produit par OphAI, service d'intelligence artificielle pour dépistage de pathologies oculaires, scientifiquement testé et marqué CE en accord avec la directive 93/42/EEC de la Déclaration 1263 de Décembre 2008. Pour une assistance client, contacter s'il vous plaît "support@ophtai.com"

Quel que soit son contenu, vous devriez toujours consulter votre ophtalmologue régulièrement et comme planifié, et en urgence en cas de trouble visuel. Les images de ce rapport ne doivent pas être utilisées pour le diagnostic. Dans certains pays, un spécialiste doit effectuer le diagnostic final et prendre les décisions thérapeutiques, après un examen complet adapté au patient. Dans tous les cas, les mentions de ce rapport concernant le glaucome devraient être confirmées car les rétinothographies sont insuffisantes pour son diagnostic.

OphAI ou ses distributeurs ne pourront être tenus pour responsables au regard d'une action légale de quelque type que ce soit, de quelconques dommages ou conséquences découlant de l'usage de cette information. Quand une telle limitation de responsabilité n'est pas permise par les lois applicables, la responsabilité devrait être réduite au minimum permis par la loi.

Informations Patient

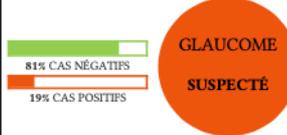
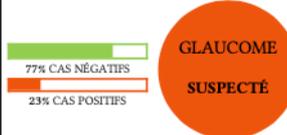


Informations Dépistage



Résultats complets (par pathologie / œil)

Glaucome

Photo OD 1	Pathologie
	 <p>81% CAS NÉGATIFS 19% CAS POSITIFS</p> <p>GLAUCOME SUSPECTÉ</p>
Photo OG 1	Pathologie
	 <p>77% CAS NÉGATIFS 23% CAS POSITIFS</p> <p>GLAUCOME SUSPECTÉ</p>

Ce rapport a été produit par OphAI, service d'intelligence artificielle pour dépistage de pathologies oculaires, scientifiquement testé et marqué CE en accord avec la directive 93/42/EEC de la Déclaration 1263 de Décembre 2008. Pour une assistance client, contacter s'il vous plaît "support@ophai.com"
Quel que soit son contenu, vous devriez toujours consulter votre ophtalmologue régulièrement et comme planifié, et en urgence en cas de trouble visuel. Les images de ce rapport ne doivent pas être utilisées pour le diagnostic. Dans certains pays, un spécialiste doit effectuer le diagnostic final et prendre les décisions thérapeutiques, après un examen complet adapté au patient. Dans tous les cas, les mentions de ce rapport concernant le glaucome devraient être confirmées car les rétiniographies sont insuffisantes pour son diagnostic.
OphAI ou ses distributeurs ne pourront être tenus pour responsables au regard d'une action légale de quelque type que ce soit, de quelconques dommages ou conséquences découlant de l'usage de cette information. Quand une telle limitation de responsabilité n'est pas permise par les lois applicables, la responsabilité devrait être réduite au minimum permis par la loi.