

■ En direct des congrès

Défis et promesses de l'intelligence artificielle en ophtalmologie

L'intelligence artificielle (IA) transforme progressivement l'ophtalmologie. Son intégration dans notre pratique médicale et chirurgicale s'améliore de jour en jour. Pourquoi s'adapte-t-elle si bien à l'ophtalmologie ? Quelle utilisation faisons-nous du *deep learning* et des grands modèles de langage (LLM) ? L'IA ne se limite plus à l'assistance, elle apprend, elle s'adapte, elle anticipe. Jusqu'où ira-t-elle ?

En assemblée plénière des Journées de réflexions ophtalmologiques (JRO) 2025, qui ont eu lieu les 21 et 22 mars derniers, plusieurs experts nous font part de leur expérience sur le sujet. Le Dr Assouline présente une plateforme robotisée capable d'automatiser la collecte et l'analyse multimodale des données. Le Dr Tahiri détaille l'impact de l'IA sur la chirurgie de la cataracte, allant du dépistage à la chirurgie robotisée. Le Pr Renard commente les progrès de l'IA dans le diagnostic et le suivi du glaucome. Enfin, le Pr Milea nous expose ses travaux qui combinent neuro-ophtalmologie et IA.

L. SZWARCBERG

Hôpital Fondation Rothschild, PARIS.

L'intelligence artificielle (IA) révolutionne progressivement la médecine. L'ophtalmologie ne fait pas exception. Grâce à la richesse des données issues des examens d'imagerie, notamment les rétinophotographies et la tomographie à cohérence optique (OCT), l'IA trouve des applications dans le diagnostic et le suivi des maladies oculaires. Son intégration en pratique clinique est un enjeu majeur des prochaines années.

En assemblée plénière des Journées de réflexions ophtalmologiques (JRO) 2025, le Dr Assouline, le Dr Tahiri, le Pr Renard et le Pr Milea nous exposent leurs expériences et leurs prédictions sur l'utilisation de l'IA en ophtalmologie. Les modérateurs sont le Pr Baudouin et le Dr Santiago.

Diagnostic multimodal exhaustif potentialisé par l'IA pour l'ophtalmologie

D'après la communication du Dr M. Assouline

Selon le Dr Assouline, l'enjeu actuel de l'IA en ophtalmologie n'est plus son

développement, mais son intégration dans la pratique clinique. L'acquisition des données en consultation est déjà fluidifiée par des algorithmes d'IA. Cependant, la plupart restent monomodaux : ils ne se focalisent que sur une seule technologie. Le potentiel de l'IA en approche multimodale demeure sous-exploité.

Le Dr Assouline présente la suite EyeLib®, développée par Mikajaki et Segula Technologies, dont il est le cofondateur et directeur médical. Cette plateforme automatise la collecte des données objectives en 5 à 6 minutes grâce à une station robotisée. Les données subjectives sont recueillies *via* un agent virtuel sur un écran, puis l'ensemble des informations est analysé et présenté dans un rapport structuré. L'agent virtuel utilise un modèle probabiliste afin **d'adapter dynamiquement l'interrogatoire aux réponses du patient**. La réfraction, la biométrie et l'OCT sont réalisés automatiquement.

L'algorithme de prédiction chirurgicale d'EyeLib® synthétise les résultats d'une trentaine de modèles d'IA. Ceux-ci peuvent notamment segmenter les structures rétinienne et extrapoler la réfrac-

tion subjective à partir de la réfraction objective.

L'approche multimodale se révèle particulièrement performante dans le **dépistage du kératocône** [1]. L'algorithme intègre les données de l'interrogatoire, l'ensemble des cartes topographiques (Placido, Scheimpflug, OCT) et l'analyse du front d'onde.

Le dépistage et le suivi du glaucome bénéficient également de cette approche combinée. EyeLib™ analyse simultanément le champ visuel (CV), l'OCT et la photographie de la papille. Un module supplémentaire évalue le risque de fermeture de l'angle.

L'IA améliore aussi le **dépistage de la cataracte** grâce aux photographies par lampe à fente et à l'OCT. Elle détecte la présence d'un implant et, le cas échéant, en détermine le type. Les algorithmes intégrés de calcul d'implant sont de dernière génération. De plus, la précision est améliorée par une prédiction fondée sur une base de 4 800 yeux opérés par le Dr Assouline.

Comparable à un arbre thérapeutique informatisé, un système expert est dédié à la décision chirurgicale. Il intègre une

■ En direct des congrès

trentaine de critères et détermine l'option la plus adaptée parmi 39 chirurgies.

L'approche multimodale optimise ainsi la prise en charge des patients en permettant la **détection simultanée de plusieurs pathologies**. L'exemple d'un patient cumulant implant coloré irien, œdème de cornée et œdème maculaire illustre cette capacité d'analyse globale. Enfin, ces outils trouvent un intérêt particulier en téléophtalmologie, surtout dans les régions sous-dotées médicalement.

Le Dr Assouline conclut en présentant l'IA comme une nouvelle réalité clinique. Il ne tient qu'aux ophtalmologistes de s'en emparer au quotidien.

■ Ce que l'IA change et va changer dans la chirurgie de la cataracte

D'après la communication du Dr R. Tahiri

Pour le Dr Tahiri, l'IA modifie en profondeur la prise en charge chirurgicale de la cataracte, à toutes les étapes du parcours patient. Son impact s'observe dès le dépistage, puis dans l'optimisation des paramètres chirurgicaux et enfin dans le suivi postopératoire.

En phase préopératoire, l'IA permet d'identifier et de classer la cataracte [2]. L'approche dépend de la technologie utilisée. À partir de photographies prises à la lampe à fente, les modèles atteignent une **précision supérieure à 95 %**. Une IA entraînée sur des OCT du segment antérieur donne des résultats fiables [3]. Les applications ScanMyEye® et begIA® détectent une cataracte à partir d'une simple photographie. En règle générale, les performances du modèle augmentent avec la taille du *set* de données.

Outre le dépistage, l'IA améliore le **calcul de l'implant intraoculaire**. Les formules de dernière génération, comme la Barrett Universal True K ou la PEARL-DGS, intègrent non seulement

les paramètres biométriques classiques (kératométrie, longueur axiale), mais aussi des variables supplémentaires comme l'âge et le sexe du patient. Grâce à un modèle prédictif alimenté par de vastes bases de données, ces formules perfectionnent déjà le calcul de la réfraction postopératoire.

De plus, l'IA facilite l'organisation des soins en **optimisant la planification chirurgicale et la gestion des dossiers médicaux**.

Au cours de la chirurgie, plusieurs dispositifs d'IA contribuent à améliorer la sécurité et la précision. Les systèmes Quatera® de Zeiss et ActiveSentry® d'Alcon ajustent en temps réel l'irrigation et l'aspiration pour stabiliser le volume de la chambre antérieure. Un système de *eye tracking* recentre automatiquement l'image. La mise au point et l'ajustement de la luminosité sont autogérés.

Les futures avancées en IA viseront à **améliorer les facultés d'anticipation des systèmes**. En analysant des vidéos de chirurgie, des algorithmes sont actuellement entraînés à reconnaître chaque étape opératoire et à prévoir d'éventuelles complications [4]. Le programme pourrait détecter les situations à risque, comme une vidange de la chambre antérieure ou une ascension de la capsule postérieure, et déclencher une alerte sonore. Si le risque persiste, le système ajuste automatiquement les paramètres de fluide en réduisant temporairement l'aspiration et en augmentant l'irrigation. L'OCT peropératoire continue d'acquiescer des images utilisées par l'IA pour gérer plus précisément les fluides, surtout s'il s'agit d'un OCT de dernière génération comme le TowardPi®.

L'IA ouvre également la voie à la chirurgie robotique. Des dispositifs comme Da Vinci®, R2D2®, AXSIS® ou IRISS® ont déjà prouvé leur capacité à exécuter des gestes extrêmement fins. En chirurgie digestive, un robot a récemment réa-

lisé seul une anastomose colique en cœlioscopie, réputée complexe, plus rapidement et plus précisément qu'un chirurgien humain [5].

En ophtalmologie, la robotique chirurgicale se combine à l'imagerie peropératoire et aux algorithmes d'IA pour accroître la sécurité et la reproductibilité des gestes. Le robot Polaris® d'Horizon sera peut-être utilisé à l'avenir pour **opérer des patients de manière autonome**. Contrairement à un chirurgien humain dont les performances plafonnent après une dizaine d'années d'expérience puis diminuent progressivement, ce robot s'améliore en continu grâce au retour d'expérience. Un seul chirurgien pourrait ainsi **superviser simultanément plusieurs interventions**, réduisant le besoin en personnel qualifié. En postopératoire, l'IA prédit le risque de cataracte secondaire et d'œdème maculaire.

Le Pr Baudouin et le Dr Santiago nous rappellent toutefois que l'innovation technologique ne suffit pas. Le manque d'enthousiasme pour le laser femtoseconde en chirurgie de la cataracte en est l'illustration : son utilité clinique reste limitée tant que les techniques opératoires et les indications ne sont pas repensées.

■ IA et glaucome en pratique clinique en 2025

D'après la communication du Pr J.-P. Renard

Le lien entre IA et glaucome n'est pas récent : l'automatisation de l'analyse du disque optique est explorée depuis les années 1980. Cette relation privilégiée s'explique par l'importante quantité d'exams complémentaires – et donc de données – effectués pour le diagnostic et le suivi de cette pathologie. Le Pr Renard nous présente ici les futures applications de l'IA à l'étude du glaucome.

L'apprentissage profond (*deep learning*) est un sous-domaine de l'apprentissage

automatique (*machine learning*), qui est un sous-domaine de l'IA. Il fonctionne grâce à des réseaux de neurones organisés en couches superposées. Un modèle de *deep learning* ajuste les paramètres de ses réseaux au cours de sa phase d'entraînement. Les couches intermédiaires permettent d'extraire des caractéristiques invisibles à l'observateur humain. Leur complexité rend leur explication difficile, d'où l'idée de boîte noire. L'"explicabilité" d'un modèle de *deep learning* vise à rendre compréhensible son processus de décision, en identifiant les caractéristiques qui influencent les prévisions.

L'analyse de l'angle irido-cornéen par des réseaux neuronaux permet d'en cartographier l'ouverture et d'identifier des zones d'intérêt [6]. Les algorithmes sont très performants pour la détection d'anomalies sur des photographies du fond d'œil [7]. Certains sont même capables de **prédire l'apparition et la progression du glaucome à partir des rétinophotographies** [8].

L'OCT et l'IA forment aussi une association efficace. Un modèle obtient de meilleurs résultats pour le diagnostic du glaucome en utilisant des B-scans non segmentés plutôt que la seule couche des fibres nerveuses rétinienne [9]. À partir de l'OCT, l'IA est capable de déterminer la présence et le stade du glaucome et de recréer le CV associé [10]. Les nouvelles technologies OCT, comme l'*optical texture analysis* et l'OCT-A grand champ, semblent prometteuses pour l'application de l'IA.

En recherche pharmaceutique, l'IA est exploitée pour **développer des séquences peptidiques multifonctionnelles** pouvant interagir avec des molécules thérapeutiques. Un exemple est l'association avec la brimonidine, qui assure une diffusion prolongée après injection intracaméculaire [11].

Concernant les grands modèles de langage (LLM) comme ChatGPT®, leur capacité à analyser des images du fond

d'œil reste pour le moment inférieure à celle des experts humains [12]. En témoigne l'exemple du logiciel OphtAI, performant pour le diagnostic de rétinopathie diabétique (sensibilité 92 %) mais encore insuffisant pour celui du glaucome (sensibilité 66 %). Les LLM affichent encore un taux d'erreur compris entre 10 et 40 %.

Malgré ces avancées, **plusieurs défis persistent**. L'absence de définition consensuelle du glaucome complique la normalisation des critères diagnostiques. Les bases de données actuelles sont variables en termes de qualité d'image, d'origine ethnique et de stratification clinique, ce qui limite la généralisation des modèles. Actuellement, aucun algorithme ne dispose d'un niveau de preuve suffisant pour un usage en routine clinique. L'augmentation des capacités de calcul et des tailles des cohortes devrait améliorer la précision des modèles prédictifs dans les prochaines années.

Apport de l'IA sur les rétinophotographies pour les diagnostics de maladies neurodégénératives

D'après la communication du Pr D. Milea

Le Pr Milea dirige le laboratoire BRAIN (*Building research with AI in neuro-ophthalmology*). L'utilisation de l'IA se banalise, notamment avec les LLM et leur modèle génératif d'image. Pourtant, une résistance subsiste dans le domaine médical. Un récent article du *Journal of the American medical association* (JAMA) montre que seulement 36 % du grand public lui fait confiance pour des informations médicales contre 63 % des professionnels de santé [13].

Une question récurrente en neuro-ophtalmologie concerne la distinction entre un œdème papillaire (OP) et un pseudo-OP. BONSAI (*Brain and optic nerve study with AI*) a été conçu pour identifier les OP de stase bilatéraux à

partir de rétinophotographies chez les enfants. Cet algorithme est le fruit d'une collaboration impliquant vingt-trois pays. Il **différencie efficacement les papilles saines des OP de stase** [14]. Un précédent modèle était tout aussi performant chez les adultes [15]. Dans le futur, les neurologues pourraient obtenir rapidement une probabilité d'OP de stase après réalisation d'un OCT [16].

Après entraînement sur un *set* de données international de photographies de papille, un modèle distingue une neuropathie optique ischémique antérieure aiguë (NOIAA) artéritique d'une NOIAA non artéritique [17]. Il génère aussi des cartographies d'intérêt moyennées, plus compréhensibles. L'IA pourrait ainsi non seulement assister les médecins, mais aussi leur prodiguer un enseignement en détectant des *patterns* (motifs) non discernables par un observateur humain.

À partir d'images rétinienne, l'IA détermine des paramètres comme le poids, le sexe, le tabagisme, l'hypertension artérielle et même le score calcique coronaire [18]. En Corée, les assurances prennent déjà en charge cette analyse. Un autre domaine prometteur concerne la **détection de la maladie d'Alzheimer** à partir des rétinophotographies [19]. L'avenir pourrait voir l'essor de l'oculomique (*oculomics*), discipline exploitant les marqueurs oculaires pour détecter des pathologies systémiques. L'objectif serait d'établir un modèle prédictif intégrant plusieurs centaines de milliers d'images rétinienne [20].

L'ophtalmologie se trouve ainsi à la croisée des chemins. Les ophtalmologistes occupent une position stratégique pour la prévention des pathologies systémiques. L'IA transforme leur pratique, leur permettant de détecter précocement des pathologies graves extraoculaires.

Grâce aux progrès du *deep learning*, les algorithmes analysent les données – notamment OCT et rétinophotographies – avec une précision croissante,

En direct des congrès

POINTS FORTS

- La plateforme robotisée Eyelib™ optimise la prise en charge médicale et chirurgicale grâce à une approche multimodale automatisée.
- En chirurgie de la cataracte, l'IA perfectionne la sélection des implants et anticipe les complications en temps réel.
- Combinés à l'OCT et au champ visuel, les modèles de *deep learning* améliorent le dépistage et le suivi du glaucome.
- La détection des œdèmes papillaires à partir de rétinophotographies est un exemple d'application réussie de l'IA en neuro-ophtalmologie.
- Rares sont les algorithmes qui disposent d'un niveau de preuve suffisant pour un usage en routine clinique.

facilitant la détection de nombreuses pathologies comme la **cataracte, le glaucome ou l'œdème papillaire de stase**. Cependant, la variabilité des bases de données d'entraînement et les capacités limitées de calcul freinent encore son déploiement en routine.

Les LLM séduisent par leur accessibilité, mais leurs erreurs et hallucinations restent trop fréquentes. De nouveaux modèles spécialisés comme Meditron® (Meta), Med-PaLM2® (Google) ou BioGPT® sont entraînés sur des bases de données uniquement médicales.

L'avenir de l'ophtalmologie semble indissociable de l'IA. **L'oculomique, en exploitant les biomarqueurs rétiens, pourrait révolutionner la médecine préventive**. Dans les années à venir, l'IA occupera progressivement plus de place dans la prise en charge des patients. Quelle sera alors la place de l'humain ?

BIBLIOGRAPHIE

1. ISMAEL O. Enhancing keratoconus detection with transformer technology and multi-source integration. *Artif Intell Rev*, 2024;58:22.
2. WU X, HUANG Y, LIU Z *et al*. Universal artificial intelligence platform for collaborative management of cataracts. *Br J Ophthalmol*, 2019;103:1553-1560.

3. PANTHIER C, DE WAZIERES A, ROUGER H *et al*. Average lens density quantification with swept-source optical coherence tomography: optimized, automated cataract grading technique. *J Cataract Refract Surg*, 2019;45:1746-1752.
4. YU F, SILVA CROSO G, KIM TS *et al*. Assessment of automated identification of phases in videos of cataract surgery using machine learning and deep learning techniques. *JAMA Netw Open*, 2019;1860.
5. Autonomous robotic laparoscopic surgery for intestinal anastomosis. Science Robotics [Internet]. Disponible sur: <https://www.science.org/doi/10.1126/scirobotics.abj2908>
6. LI W, CHEN Q, JIANG C *et al*. Automatic anterior chamber angle classification using *deep learning* system and anterior segment optical coherence tomography images. *Transl Vis Sci Technol*, 2021;10:19.
7. SON J, SHIN JY, KIM HD *et al*. Development and validation of *deep learning* models for screening multiple abnormal findings in retinal fundus images. *Ophthalmology*, 2020;127:85-94.
8. LI F, SU Y, LIN F *et al*. A deep learning system predicts glaucoma incidence and progression using retinal photographs. *J Clin Invest*, 2022;132:e157968.
9. THOMPSON AC, JAMMAL AA, BERCHUCK SI *et al*. Assessment of a segmentation-free *deep learning* algorithm for diagnosing glaucoma from optical coherence tomography scans. *JAMA Ophthalmol*, 2020;138:333-339.
10. HASAN MM, PHU J, WANG H *et al*. Predicting visual field global and local

parameters from OCT measurements using explainable machine learning. *Sci Rep*, 2025;15:5685.

11. HSUEH HT, CHOU RT, RAI U *et al*. Machine learning-driven multifunctional peptide engineering for sustained ocular drug delivery. *Nat Commun*, 2023;14:2509.
12. JALILI J, JIRAVARNSIRIKUL A, BOWD C *et al*. Glaucoma detection and feature identification via GPT-4V fundus image analysis. *Ophthalmol Sci*, 2025;5:100667.
13. ORRALL A, REKITO A. Poll: trust in AI for accurate health information is low. *JAMA* [Internet]. Disponible sur: <https://doi.org/10.1001/jama.2024.22951>
14. LIN MY, NAJJAR RP, TANG Z *et al*. The BONSAI (Brain and Optic Nerve Study with Artificial Intelligence) *deep learning* system can accurately identify pediatric papilledema on standard ocular fundus photographs. *J AAPOS Off Publ Am Assoc Pediatr Ophthalmol Strabismus*, 2024;28:103803.
15. MILEAD, NAJJAR RP, ZHUBO J *et al*. Artificial Intelligence to Detect Papilledema from Ocular Fundus Photographs. *N Engl J Med*, 2020;382:1687-1695.
16. GIRARD MJA, PANDA S, TUN TA *et al*. Discriminating Between Papilledema and Optic Disc Drusen Using 3D Structural Analysis of the Optic Nerve Head. *Neurology*, 2023;100:e192-202.
17. GUNGOR A, NAJJAR RP, HAMANN S *et al*. *Deep learning* to Discriminate Arteritic From Nonarteritic Ischemic Optic Neuropathy on Color Images. *JAMA Ophthalmol*, 2024;142:1073-1079.
18. LEE CJ, RIM TH, KANG HG *et al*. Pivotal trial of a deep-learning-based retinal biomarker (Reti-CVD) in the prediction of cardiovascular disease: data from CMERC-HI. *J Am Med Assoc Inform Assoc JAMA*, 2023;31:130-138.
19. CHEUNG CY, RAN AR, WANG S *et al*. A *deep learning* model for detection of Alzheimer's disease based on retinal photographs: a retrospective, multi-centre case-control study. *Lancet Digit Health*, 2022;4:e806-15.
20. ZHOU Y, CHIA MA, WAGNER SK *et al*. A foundation model for generalizable disease detection from retinal images. *Nature*, 2023;622(7981):156-163.

L'auteur a déclaré ne pas avoir de liens d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.