

Le point sur l'intelligence artificielle dans le suivi de la DMLA

RÉSUMÉ : L'intelligence artificielle (IA) transforme le suivi de la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA), notamment avec des outils comme le RetInSight Fluid Monitor et le RetInSight GA Monitor. Ces logiciels utilisent des algorithmes d'apprentissage profond pour quantifier les signes exsudatifs et suivre la progression de la maladie de manière précise et objective, réduisant la variabilité interobservateur. Ils permettent également d'évaluer la DMLA atrophique en analysant la perte de photorécepteurs et d'épithélium pigmentaire rétinien. L'IA facilite la personnalisation des traitements et pourrait anticiper la progression de la maladie. En intégrant des solutions de télémédecine, elle permet aussi une surveillance à distance. Ces innovations améliorent la prise en charge, la précision des traitements et la qualité de vie des patients.

→ B. BROUSSE¹, V. SOLER¹,
V. GUALINO^{1,2}

¹ Service d'ophtalmologie, CHU de TOULOUSE.

² Clinique Honoré Cave, MONTAUBAN.

La dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) est la première cause mondiale de cécité chez les personnes âgées [1]. L'intelligence artificielle (IA) est d'ores et déjà utilisée dans la prise en charge de la DMLA mais elle deviendra encore plus indispensable dans les années à venir. Quels sont les apports actuels et futurs de l'IA dans le suivi de la DMLA ?

Intérêt de l'IA dans le suivi de la DMLA exsudative grâce au RetInSight Fluid Monitor

Actuellement, le traitement de la DMLA néovasculaire (DMLAn) repose prin-

cipalement sur les injections intravitréennes (IVT) d'agents anti-facteur de croissance endothéliale vasculaire (VEGF), visant à inhiber la formation de néovaisseaux pathologiques et, par conséquent, à réduire l'accumulation de fluides [1]. Cette dernière est mise en évidence par la tomographie en cohérence optique (OCT), devenue examen de référence pour l'évaluation et le suivi des signes exsudatifs dans la DMLA [2].

À l'heure actuelle, la détection des signes exsudatifs demeure subjective, étant basée sur une évaluation humaine. Il en va de même pour l'évaluation de l'efficacité des IVT, qui repose sur la comparaison des examens en *follow-up* et une évaluation qualitative de la présence ou de l'absence de signes exsudatifs. Lorsque ces signes sont évidents, le diagnostic de récurrence est facile à établir ; en revanche, lorsqu'ils sont frustrés, le diagnostic devient plus complexe et plus subjectif. Cela expose à des variabilités interobservateurs.

À ce jour, la seule mesure objective disponible grâce à l'OCT est l'épaisseur centrale rétinienne (ECR). Bien que cette méthode fournisse des mesures fiables chez des patients sans pathologies, elle présente certaines limites dans le contexte clinique, notamment pour les pathologies rétinienues [3]. Premièrement, la variabilité interobservateurs et la résolution de l'imagerie peuvent affecter la précision des mesures, surtout pour les épaisseurs maculaires très fines ou très épaisses [3]. De plus, la mesure de l'épaisseur moyenne de la macula ne prend pas en compte les variations locales ou les accumulations de liquide pouvant se situer en dehors de la zone mesurée. Par ailleurs, des anomalies comme la fibrose sous-rétinienne ou l'épaississement diffus peuvent influencer les résultats, rendant les mesures moins sensibles aux changements cliniques subtils. Enfin, la capacité de l'épaisseur centrale rétinienne à différencier les types de liquides sous-rétiniens ou intrarétiniens est limitée, pouvant entraîner une inter-

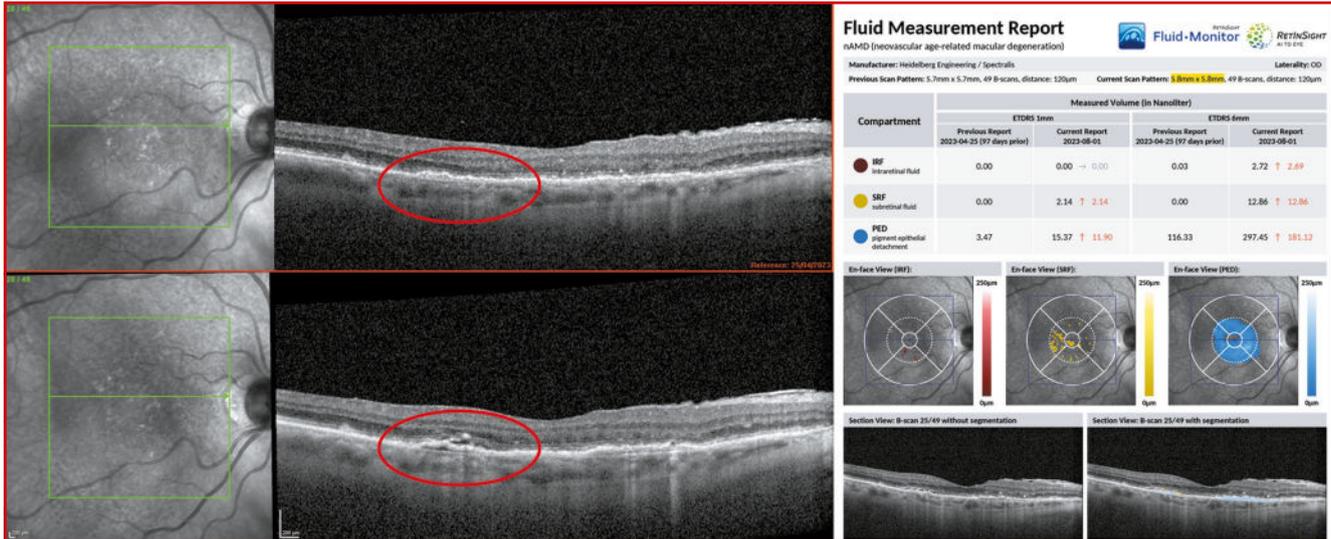


Fig. 1 : Récidive exsudative frustrée visualisée sur le B-scan (en haut, l'examen précédent et en bas, l'examen du jour). À droite, le rapport du Fluidmonitor quantifiant cette récidive en nanolitre dans les 1 et 6 mm en mesurant le liquide intrarétinien (IRF), le liquide sous-rétinien (SRF) et le décollement de l'épithélium pigmentaire (PED).

prétation moins précise des changements rétinien.

C'est dans ce contexte que l'intelligence artificielle trouve toute sa place. Les algorithmes développés grâce à l'IA et l'apprentissage profond, permettent d'avoir des outils quantifiant précisément les signes exsudatifs en nanolitres. Plusieurs centres en France utilisent désormais en routine un algorithme d'intelligence artificielle (logiciel RetInSight Fluid Monitor, Vienne, Autriche) pour quantifier automatiquement et précisément les signes exsudatifs de la DMLAn directement à partir des images OCT (fig. 1). Le logiciel RetInSight, basé sur un algorithme d'intelligence artificielle, intègre une détection standardisée du liquide rétinien et permet de mesurer son volume de manière reproductible. Utilisant un réseau neuronal convolutif, il identifie le liquide rétinien au niveau des pixels dans chaque compartiment, offrant ainsi une surveillance objective et précise de la DMLAn, tout en réduisant les erreurs de mesure humaines. Cette évaluation du volume de liquide peut aider à optimiser la prise de décision clinique en détectant rapidement les patients nécessitant un ajustement de leur traitement.

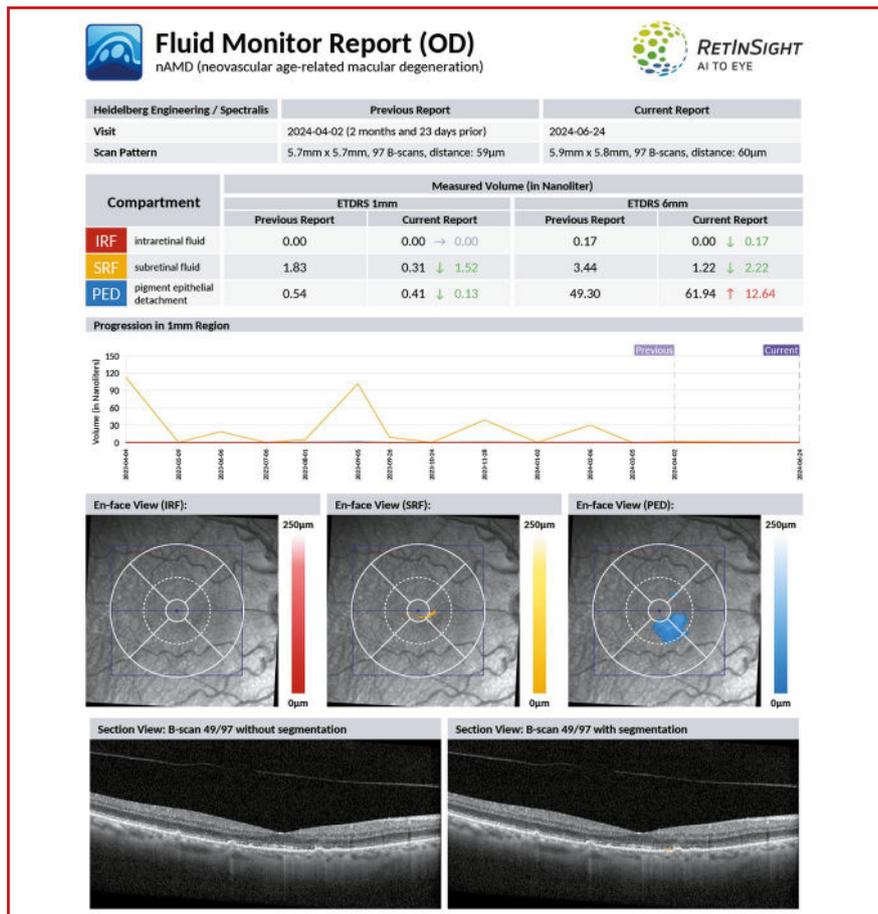


Fig. 2 : Surveillance dans le temps d'un patient suivi dans une étude en PRN mensuel. Nous voyons très clairement les récurrences avec la courbe en jaune de la quantification du SRF et les pics à chaque récurrence.

Par ailleurs, le décollement de l'épithélium pigmentaire (DEP) commence à être identifié comme un facteur prédictif. L'utilisation de l'IA est la seule mesure objective qui existe pour quantifier le DEP et pourrait être très utile dans la surveillance du DEP pour anticiper la récurrence des signes exsudatifs classiques *via* le liquide sous-rétinien (SRF) et le liquide intrarétinien (IRF).

Cette automatisation apporte aussi une standardisation de l'évaluation des signes exsudatifs, car elle réduit la variabilité interobservateurs et fournit une analyse reproductible, sécurisée, et permet de gagner en rapidité d'interprétation en donnant aussi une vision dans le temps des récidives (*fig. 2*). Elle semble indispensable dans les études pour évaluer et comparer l'efficacité des différentes thérapeutiques, mais trouvera aussi sa place en pratique courante, tout en restant une aide, car l'ophtalmologiste reste le garant de la bonne prise en charge.

Intérêt de l'IA dans le suivi de la DMLA atrophique grâce au RetInSight GA Monitor

Le RetInSight GA Monitor représente une avancée dans la gestion de la DMLA atrophique. Grâce à des algorithmes d'IA avancés, cet outil donne à voir une segmentation des zones affectées par l'atrophie au niveau des images OCT, permettant une évaluation plus fiable et plus rapide de la progression de la maladie. Il permet également de mesurer et de visualiser l'activité de la maladie sous plusieurs aspects, incluant la dégénérescence des photorécepteurs (PR) [4] ainsi que la perte de l'épithélium pigmentaire rétinien (RPE) [5], remplaçant les clichés en autofluorescence qui apportent une analyse plus subjective (*fig. 3*). De plus, l'outil permet d'étudier l'interaction des PR et du RPE, apportant des informations sur la progression de la maladie et la réponse thérapeutique [6-8].

Le RetInSight GA Monitor se distingue également par sa capacité à suivre la progression de la DMLA atrophique de manière plus précise et fiable que l'évaluation de l'atrophie de façon manuelle. Il permet de différencier les patients à progression lente et rapide dès les premières consultations, ce qui deviendra nécessaire avec l'arrivée des nouveaux traitements, tout en suivant la vitesse de la perte d'intégrité du RPE et des PR au fil du temps. Cette fonctionnalité permet aux cliniciens d'adopter des stratégies de traitement personnalisées et d'évaluer plus objectivement les bénéfices thérapeutiques.

L'outil permet de remplacer l'analyse manuelle des images, qui peut être longue et sujette à des erreurs, par des données précises, rapides et quantifiables en temps réel. Cela soutient des décisions thérapeutiques plus éclairées et moins susceptibles d'être influencées par des erreurs humaines.

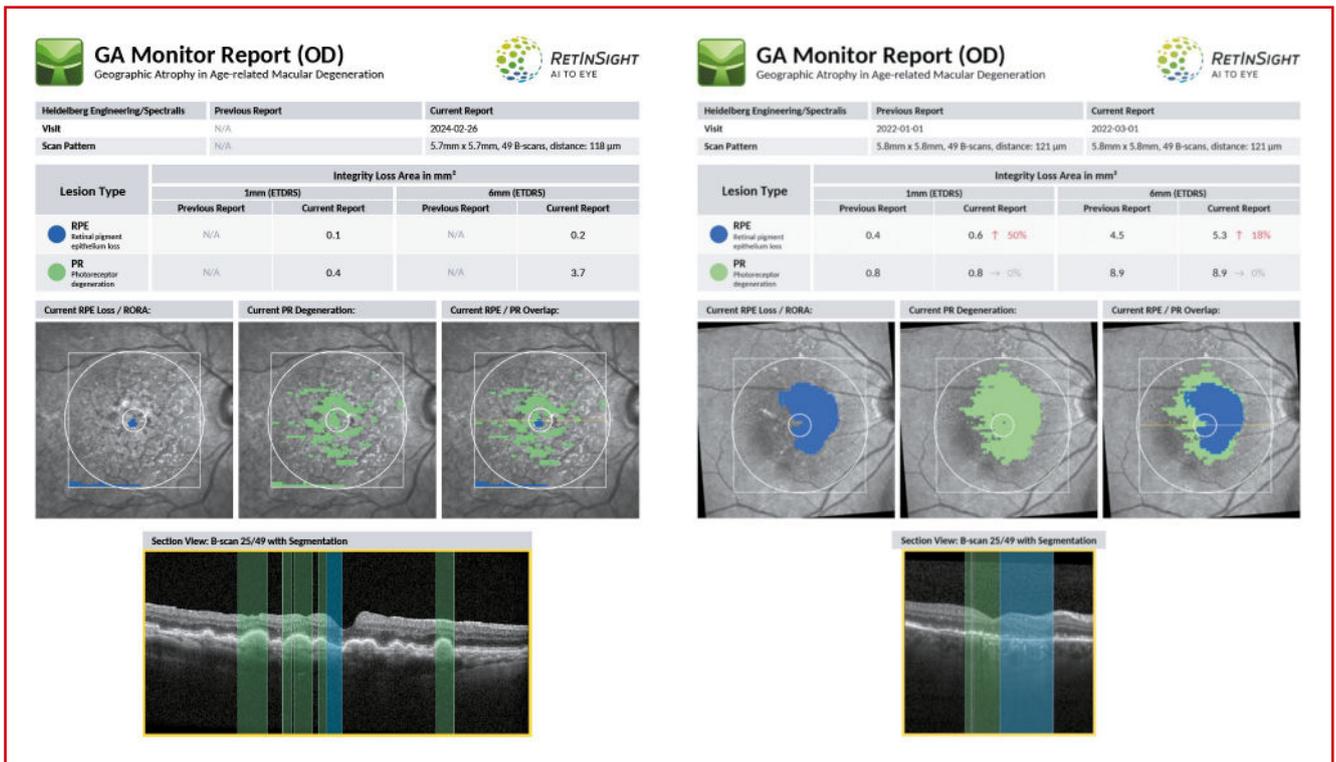


Fig. 3 : Deux exemples de mesure du GA Monitor avec la mesure de la zone de perte des photorécepteurs et de l'épithélium pigmentaire en mm². À droite, le rapport quantifie l'évolution dans le temps.

De plus, ce type de mesure améliore la communication avec les patients en fournissant des rapports personnalisés et facilement compréhensibles, accessibles en temps réel. Cela favorise l'observance des traitements, en réduisant les risques de sur- ou sous-traitement, et renforce la confiance des patients grâce à des rapports visuels clairs et adaptés à leurs besoins. Ainsi, cet outil transforme la gestion de la DMLA atrophique en offrant une approche plus précise, plus efficace et plus centrée sur le patient.

Par ailleurs, avec l'arrivée des nouveaux traitements dans la DMLA atrophique, l'IA deviendra probablement essentielle pour fournir des critères objectifs de suivi et de traitement, permettant de valider leurs indications et par extension leurs remboursements.

Tout comme dans la DMLAn, l'IA trouvera probablement une place essentielle tant dans les études cliniques que dans la pratique courante.

Évolutions à venir de l'IA dans le suivi de la DMLA

Un enjeu ultérieur de l'utilisation de l'IA pourra être d'analyser des facteurs prédictifs dans la gestion de la DMLA.

L'IA peut traiter une grande quantité de données provenant de biomarqueurs sanguins, d'images OCT et d'autres sources pour identifier des signes précoces de la maladie, souvent invisibles à l'œil nu. En utilisant des algorithmes d'apprentissage automatique, l'IA peut détecter des modèles complexes dans les données biologiques et d'imagerie, permettant de prédire la progression de la DMLA avec une précision accrue. Cela permet d'adapter le suivi des patients en fonction de leur risque individuel et de personnaliser les traitements, par exemple en ajustant les thérapies anti-VEGF ou en surveillant plus étroitement les patients à risque de complications. L'intégration de l'IA dans les pratiques cliniques pourrait ainsi améliorer la détection précoce, optimiser les décisions thérapeutiques et mieux anticiper l'évolution de la maladie [9].

Par ailleurs, l'IA ouvre la voie à des solutions de télémédecine pour le suivi de la DMLA à domicile. Un exemple est le système NOTAL, qui permet l'autoadministration d'un OCT à domicile pour les patients atteints de DMLA. En effet, dans ce système, les patients réalisent des examens OCT eux-mêmes, ce qui augmente de façon considérable le nombre d'examens à interpréter. L'intelligence artificielle analyse quotidiennement les

images qui lui sont remontées et détecte les signes de complications exsudatives en alertant le centre médical référent. Cette approche facilite la surveillance à distance, réduisant la nécessité de déplacements fréquents chez le médecin et rendant la gestion de la DMLA plus accessible [10].

Utilisation en pratique du RetInSight fluid Monitor et GA Monitor

Le module RetInSight est actuellement utilisé à la clinique Honoré Cave à Montauban ou au CHU de Toulouse. L'acquisition de l'OCT maculaire doit se faire sur un appareil Heidelberg, pour le moment, couplé à la plateforme HEYEX 2, en cubes de 6 millimètres par 6 millimètres avec 49 lignes minimum. Grâce à une fonctionnalité de *drag and drop*, l'OCT est ensuite glissé dans les modules Fluid ou GA Monitor, contenus dans l'Appway de la plateforme HEYEX 2 (fig. 4). En quelques minutes, l'application génère automatiquement un rapport PDF détaillé, qui est directement intégré dans le dossier électronique du patient, facilitant ainsi le suivi longitudinal et la prise de décision thérapeutique (fig. 4). Devant le peu de manipulations nécessaires et le caractère

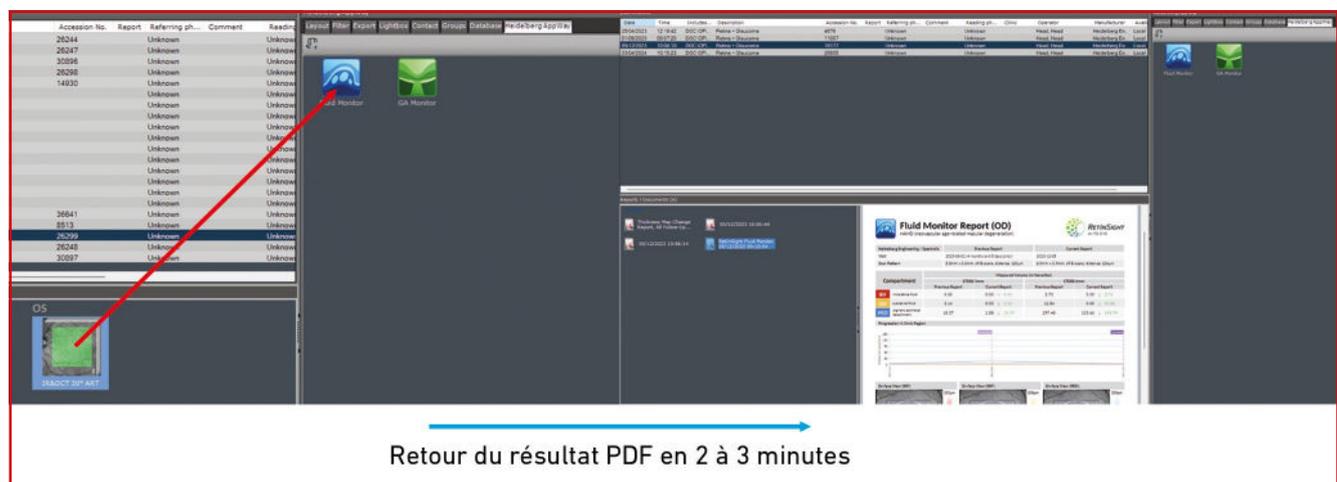


Fig. 4 : Le cube OCT est déposé en "drag and drop" dans l'icône représentant l'application souhaitée (Fluid Monitor ou GA Monitor). 2 à 3 minutes plus tard, le rapport PDF apparaît directement dans le viewer de l'OCT Heyex 2.

POINTS FORTS

- **Suivi de la DMLA exsudative avec l'IA :** l'IA permet de quantifier avec précision les signes exsudatifs, offrant ainsi un suivi plus objectif et reproductible que les évaluations manuelles.
- **Suivi de la DMLA atrophique avec l'IA :** les logiciels d'IA aident à détecter et suivre la progression de la DMLA atrophique, en segmentant précisément les zones affectées et en analysant la perte de photorécepteurs et d'épithélium pigmentaire rétinien, ce qui améliore l'évaluation de l'évolution de la maladie.
- **Réduction de la variabilité interobservateurs et amélioration de la précision :** l'IA standardise l'évaluation des examens OCT, ce qui diminue la variabilité entre praticiens et optimise la prise de décision thérapeutique en fournissant des données fiables et quantifiables.
- **Perspectives avec la télémédecine et la personnalisation du traitement :** l'IA permettra à terme d'élargir le suivi des patients à domicile et d'adapter le traitement de manière plus personnalisée grâce à une détection précoce des signes de progression.

non chronophage de ces dernières, cette application est désormais intégrée dans notre pratique clinique quotidienne.

Par ailleurs, cette Appway centralise de nombreuses applications disponibles. Dans le domaine de la DMLA, on y trouve notamment ALTRIS AI et RETIN

AI, qui poursuivent les mêmes objectifs que RetInSight (fig. 5). Plus largement, elle inclut également ABYSS Processing pour la prise en charge du glaucome, ainsi que Eye2Gene pour le diagnostic génétique des maladies rétinienues non héréditaires, pour n'en citer que quelques exemples.

En conclusion, l'intégration de l'IA dans le suivi de la DMLA, qu'elle soit exsudative ou atrophique, et le développement de solutions de monitoring à domicile, transforment la prise en charge de cette pathologie. Ces avancées technologiques offrent une précision accrue, une personnalisation des traitements et une amélioration significative de la qualité de vie des patients.

BIBLIOGRAPHIE

1. DENG Y, QIAO L, DU M *et al.* Age-related macular degeneration: Epidemiology, genetics, pathophysiology, diagnosis, and targeted therapy. *Genes Dis*, 2021;9:62-79.
2. REITER GS, SCHMIDT-ERFURTH U. Quantitative assessment of retinal fluid in neovascular age-related macular degeneration under anti-VEGF therapy. *Ther Adv Ophthalmol*, 2022; 14:25158414221083363.
3. CHAN A, DUKER JS, KO TH *et al.* Normal Macular Thickness Measurements in Healthy Eyes Using Stratus Optical Coherence Tomography. *Arch Ophthalmol*, 2006;124:193-198.
4. MAI J, RIEDL S, REITER GS *et al.* Comparison of Fundus Autofluorescence Versus Optical Coherence Tomography-based Evaluation of the Therapeutic

Logo	Provider	App	Description
	RetInSight GmbH	Fluid Monitor	nAMD disease activity and therapeutic respo...
	RetInSight GmbH	Fluid Monitor DEMO	nAMD disease monitoring
	RetInSight GmbH	GA Monitor	Measuring/visualizing PR/RPE loss in GA
	RetInSight GmbH	GA Monitor DEMO	Measuring/visualizing PR/RPE loss in GA
	RetinAI Medical AG	CME App	Report for Cystoid Macular Edema status an...
	deepeye Medical GmbH	deepeye® TPS nAMD	deepeye® TPS - nAMD Therapy Planning Su...
	deepeye Medical GmbH	deepeye® TPS nAMD (US)	deepeye® TPS nAMD (US) - is used to test t...
	AI Lab AG	Demo AI LAB	Artificial intelligence medical research
	Neuro GmbH	Demo brAI	neural change diagnosis
	Cardiac Inc	Demo Cardio AI	Cardial analysis
	Glaucoma SE	Demo with Dialog	eye change analyser
	Retina SE	Demo without Dialog	retina deformation control
	RetinAI Medical AG	DR/DME App	Report for DR / DME status analysis
	RetinAI Medical AG	dryAMD App	Report for dry AMD status analysis
	Altris, Inc	Europe - Advanced AI OCT Report	AI for pathologies recognition and analysis
	RetinAI Medical AG	GA App	Report for GA status analysis
	STZ GRADE Reading Center	GA Grader	Automatic AMD/GA Progression Analysis
	RetinAI Medical AG	nAMD App	Report for nAMD status analysis
	Abbyss Processing Pte Ltd	Reflectivity	3D AI Solutions for Glaucoma
	Altris, Inc	USA - Advanced AI OCT Report	AI for pathologies recognition and analysis

Fig. 5 : Liste des IA disponibles dans l'Appway à ce jour.

- Response to Pegcetacoplan in Geographic Atrophy. *Am J Ophthalmol*, 2022;244:175-182.
5. RIEDL S, VOGL WD, MAI J *et al.* The Effect of Pegcetacoplan Treatment on Photoreceptor Maintenance in Geographic Atrophy Monitored by Artificial Intelligence–Based OCT Analysis. *Ophthalmol Retina*, 2022;6:1009-1018.
6. VOGL WD, RIEDL S, MAI J *et al.* Predicting Topographic Disease Progression and Treatment Response of Pegcetacoplan in Geographic Atrophy Quantified by Deep learning. *Ophthalmol Retina*, 2023;7:4-13.
7. SCHMIDT-ERFURTH U, MAI J, REITER GS *et al.* Monitoring der Progression von geografischer Atrophie in der optischen Kohärenztomographie. *Ophthalmol*, 2023;120:965-969.
8. SCHMIDT-ERFURTH U, MAI J, REITER GS *et al.* Disease Activity and Therapeutic Response to Pegcetacoplan for Geographic Atrophy Identified by Deep learning-Based Analysis of OCT. *Ophthalmology* [Internet]. 14 août 2024 [cité 18 janv 2025];0(0). Disponible sur: [https://www.aaojournal.org/article/S0161-6420\(24\)00487-1/fulltext](https://www.aaojournal.org/article/S0161-6420(24)00487-1/fulltext)
9. PUCCHIO A, KRANCE SH, PUR DR *et al.* Artificial Intelligence Analysis of Biofluid Markers in Age-Related Macular Degeneration: A Systematic Review. *Clin Ophthalmol Auckl NZ*, 2022;16:2463-2476.
10. SCHNEIDER EW, HEIER JS, HOLEKAMP NM *et al.* Pivotal Trial Toward Effectiveness of Self-administered OCT in Neovascular Age-related Macular Degeneration. Report 2—Artificial Intelligence Analytics. *Ophthalmol*

Sci [Internet]. 1 mars 2025 [cité 19 janv 2025];5(2). Disponible sur: [https://www.ophtalmologyscience.org/article/S2666-9145\(24\)00198-2/fulltext](https://www.ophtalmologyscience.org/article/S2666-9145(24)00198-2/fulltext).



**B. BROUSSE¹, V. SOLER¹,
V. GUALINO^{1,2}**

¹ Service d'Ophtalmologie,
CHU de TOULOUSE.

² Clinique Honoré Cave,
MONTAUBAN.

Les auteurs ont déclaré ne pas avoir de liens d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.