

■ Revues générales

Applications smartphone et interprétation automatisée de l'OCT pour les maculopathies

RÉSUMÉ : Tant le patient que l'ophtalmologiste sont, dorénavant, des *Homo connecticus*. Le déploiement de la télémédecine, l'intelligence artificielle et les progrès de l'imagerie vont recomposer durablement la filière de soins visuels.

Que ce soit pour le diagnostic, le suivi mais aussi la stratégie thérapeutique, les smartphones permettent de mieux accompagner nos patients. À travers quelques applications, nous décrivons les nouvelles fonctions disponibles dès aujourd'hui.

Les diagnostics automatisés de la rétinopathie diabétique ou de la DMLA font leur apparition en pratique clinique. À l'heure du *deep learning*, les logiciels d'intelligence artificielle sont aussi performants que nos meilleurs experts. Ces progrès nous impactent et, loin de les observer avec défiance, nous devons les intégrer dans notre pratique. Nous serons les acteurs d'une médecine numérique éthique à construire.



S. GUIGOU¹, V. GUALINO²

¹ MGM rétiniologues associés, Centre Aix Vision, AIX-EN-PROVENCE,

² Clinique Honoré Cave, MONTAUBAN.

L'environnement numérique se développe sans cesse et nous apporte chaque jour de nouvelles possibilités d'aide visuelle voire d'aide au diagnostic. Nous avons connu ces dernières années un essor dans la capacité de nos imageurs à accroître leur définition. Les acquisitions sont fiables, de même que les comparaisons de suivi. Il faut, par contre, reconnaître que les bases normatives étaient faibles voire ridicules.

L'ergonomie s'est améliorée afin de permettre une délégation complète des acquisitions aux orthoptistes. Mise au point automatique, *eye tracker* et enfin analyses semi-automatiques autorisent le maniement des OCT ou rétinographes sans l'ophtalmologiste.

Tout fait sens, à l'heure actuelle, avec le déploiement de la télémédecine et l'explosion de l'intelligence artificielle (IA). La première autorise (et même valorise) le transfert de données sécurisées. La deuxième permet une vraie aide au diagnostic voire une thérapeutique individualisée. L'association des deux

permettra de démocratiser et d'uniformiser sur le territoire les connaissances médicales autrefois limitées à certains centres experts.

Ces progrès s'imposent à nous et, loin de les observer avec défiance, nous devons y être attentifs. Ils offrent, en effet, un gain de temps précieux compte tenu de l'inadéquation entre l'offre et la demande de soins visuels. Enfin, il faudra admettre les capacités supérieures de l'intelligence artificielle pour le diagnostic voire la thérapeutique. L'enjeu des prochaines années sera, à coup sûr, de s'approprier ces technologies afin de les intégrer dans notre pratique clinique.

L'objet de cette présentation sera de dresser un aperçu des applications smartphone utiles et déjà disponibles pour les patients ou les médecins (*tableau I*). Ce sera ensuite l'occasion d'évoquer les premières applications de l'IA dans le suivi de la rétinopathie diabétique ou de la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) par exemple.

Revue générale

Application pour professionnels

L'application **Ophta +**, développée par Bayer, propose la mise en réseau des ophtalmologistes ou orthoptistes. Le constat est simple : nous sommes sur-sollicités par les réseaux sociaux, boîtes de chats ou les mails. Ophta + propose de créer un environnement numérique qui répond aux besoins des professionnels : échanges sécurisés, partage de documents (quel que soit le format) et informations médicales (**fig. 1**).

La création de groupes selon des surspécialités, par régions ou par amitiés tout simplement permet des échanges quotidiens pour demander un avis médical ou partager une information. C'est donc une appli mobile qui permet des échanges rapides et dédiés. Sont aussi proposés des services lors des congrès pour se rencontrer grâce à la géolocalisation (désactivable) ou avec mise à disposition du programme.

Enfin, l'application est disponible aussi sur ordinateur pour le travail de fond comme les demandes de bibliographie, les comptes rendus scientifiques ou le stockage de documents.

Applications pour patients

>>> Les smartphones ou tablettes sont un formidable outil pédagogique. Quelques applications sont développées pour simuler les maculopathies. Remobilisation des patients diabétiques et éducation des accompagnants sont ainsi menées grâce à l'application **ViaOpta Sim**. L'interface d'accueil permet de choisir la pathologie (diabète, occlusion vasculaire, DMLA...) et modifier l'image de stades débutants vers des stades plus évolués (**fig. 2**). Les scotomes centraux ou métamorphopsies sont ainsi matérialisés en direct et cela renforce l'éducation thérapeutique.

>>> Les pathologies évoluent et, malgré le bénéfice apporté par les injections,

Application	Forces	Système	Prix €
ViaOpta Daily	Ergonomie, synthèse vocale	Android, iOS	gratuit
ViaOpta Sim	Pédagogie	Android, iOS	gratuit
ViaOpta Nav	Autonomie, synthèse vocale	Android, iOS	gratuit
TalkBack	Synthèse vocale	Android	gratuit
VoiceOver	Synthèse vocale	iOS	gratuit
Big Launcher	Ergonomie, synthèse vocale	Android	7,99
Magnifier	Ergonomie	Android, iOS	1,09
Supervision+	Ergonomie	Android, iOS	gratuit
TapTapSee	Autonomie, synthèse vocale	Android, iOS	gratuit

Tableau I : Tableau récapitulatif des applications smartphone pour patients.

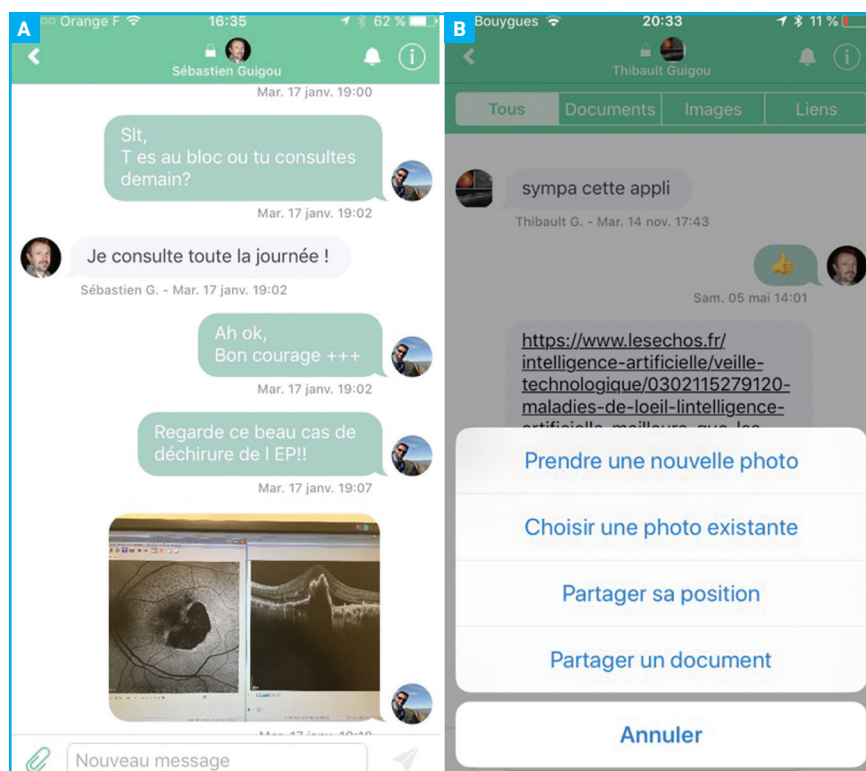


Fig. 1 : Application Ophta +. A : capture d'écran d'une discussion au cours de la consultation. B : fonctionnalités offertes en un clic pour le partage de documents ou de géolocalisation.

l'atrophie maculaire est présente après plusieurs années de traitement. Loin des télé-agrandisseurs, les smartphones apportent une aide visuelle certaine. Les applications gratuites telles que **Supervision+** ou **Magnifier** utilisent les fonctions de base (lampe, caméra, zoom). En quelques clics, on peut ainsi figer, zoomer ou inverser le contraste

des images pour faciliter leur lecture (**fig. 3**).

>>> **TapTapSee** (Android ou iOS), désormais disponible en France, permet aux personnes qui souffrent d'un déficit de vision de gagner en autonomie. Elle reconnaît les objets photographiés ou les photos déjà présentes dans les tablettes

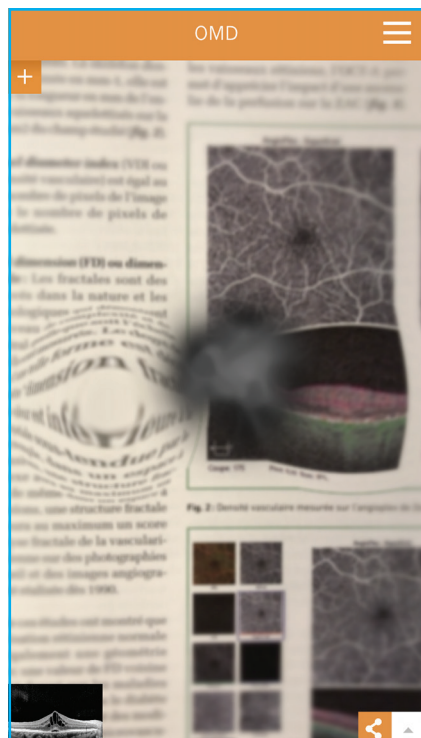


Fig. 2 : Application ViaOpta Sim, simulation de la vision de près d'un patient atteint d'œdème maculaire diabétique.

ou smartphones. Elle informe ensuite l'utilisateur soit par écrit, soit par synthèse vocale. Avec son smartphone, la personne malvoyante photographie un objet. Pour veiller à ce que les images soient claires, l'application émet des signaux sonores lorsque l'objet est au point. En quelques secondes, une voix décrit l'image capturée, et déchiffre le texte qu'elle contient. TapTapSee permet aux non-voyants d'identifier des vêtements ou de lire un panneau indicateur, cela sans avoir à faire appel à une tierce personne pour s'habiller le matin ou s'orienter dans la rue.

>>> L'application **ViaOpta Daily** est plus ambitieuse et offre une multitude de services à partir d'une même plateforme. Cela va de la météo en passant par une minuterie ou la reconnaissance d'objets. Les concepteurs ont essayé de répondre à la demande de personnes malvoyantes, âgées, afin d'améliorer leur autonomie. Le vrai avantage est l'intégration de la

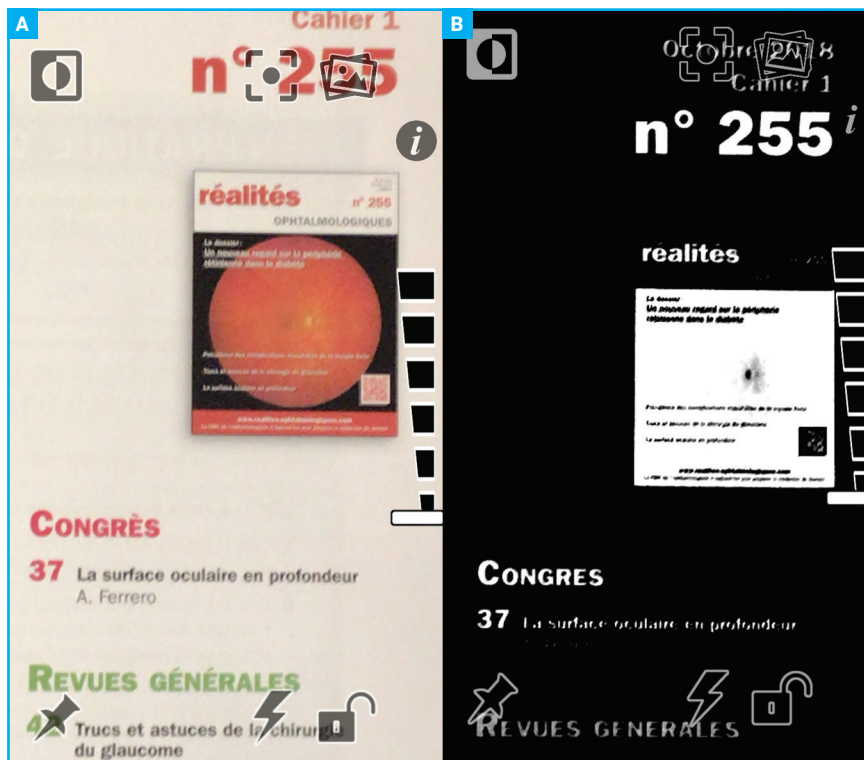


Fig. 3 : Application Magnifier. A : capture d'écran d'une revue zoomée. B : inversion de contraste pour faciliter la lecture.

synthèse vocale pour la reconnaissance d'objets, de couleurs et même de texte (fig. 4). Même s'il y a un délai de traitement d'environ 20 s, les résultats sont assez étonnants. Il faut rappeler qu'il s'agit d'une application gratuite.

>>> Le troisième volet des applications ViaOpta (**ViaOpta Nav**), développées par Novartis, propose une navigation GPS. Elle est particulièrement adaptée aux malvoyants puisque décrivant l'itinéraire à pied et par synthèse vocale.

>>> **BIG Launcher** rend le smartphone utilisable par les séniors et les personnes souffrant de maladies des yeux, de problèmes moteurs ou atteints de cécité totale. Le BIG Launcher remplace l'interface utilisateur de tout téléphone ou tablette sous Android. Il a été conçu pour l'utilisation par des personnes âgées ou atteintes de troubles de la vision afin d'offrir une lisibilité maximale ainsi qu'une utilisation simplifiée (fig. 5).

De gros boutons sont plus faciles à utiliser. De gros textes et des icônes codées par couleurs aident à facilement se repérer parmi les items. Un code couleur est utilisé pour afficher les fils de conversation, les SMS sont triés par conversations. Des palettes de couleurs à fort contraste et tailles de police différentes permettent d'utiliser le téléphone sans lunettes. Un support dédié pour le lecteur d'écran **TalkBack** permet aux personnes atteintes de cécité totale d'utiliser leur téléphone. Les personnes âgées apprécieront les indicateurs agrandis de batterie et de signal, l'appel direct de leurs contacts favoris ou le bouton SOS incluant la géolocalisation en cas d'urgence.

Il faut tout de même rappeler ici que les systèmes Android ou iOS ont développé des solutions techniques activables directement dans les réglages. **TalkBack** (Android) ou **VoiceOver** (iOS) sont des lecteurs d'écran contrôlés par des gestes qui permettent d'utiliser les smartphones

Revue générale

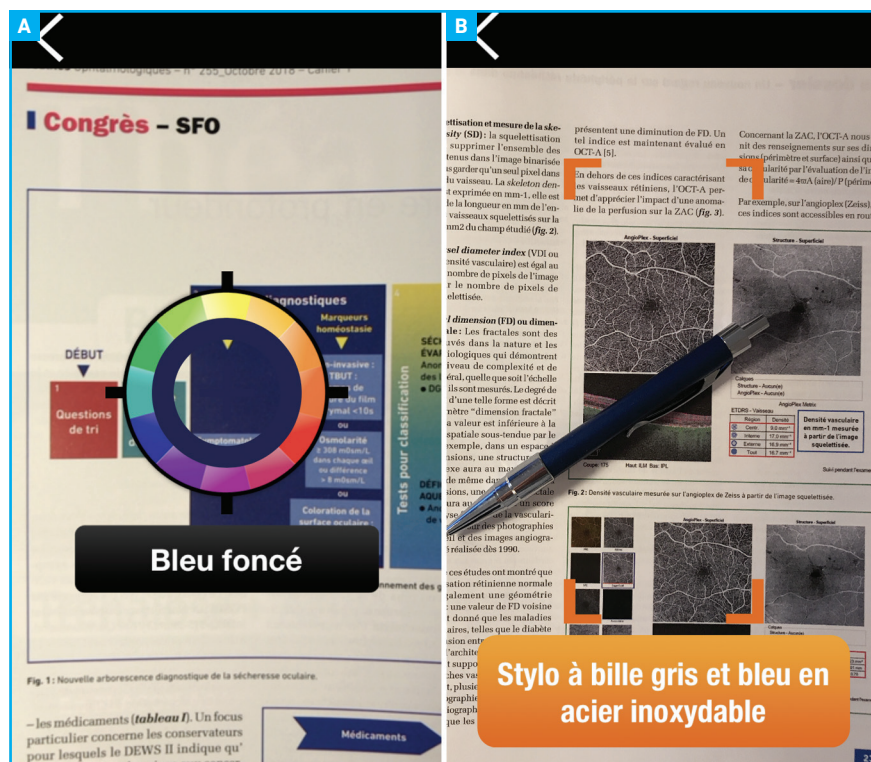


Fig. 4 : Application ViaOpta Daily. A : analyse automatique et dictée vocale de la couleur. B : Description automatique par dictée vocale de la scène prise en photo.

même sans voir l'écran. On peut ainsi écouter la description de tout ce qui s'affiche à l'écran, du niveau de la batterie au nom de la personne qui appelle.

>>> **VoiceOver** peut commenter une image ou lire tout haut un texte figurant sur une image. IOS permet d'inverser les couleurs ou de choisir parmi une gamme de filtres de couleur pour suppléer à différentes formes de déficiences visuelles. Il est possible d'activer la fonction zoom pour un affichage en plein écran ou en incrustation. L'outil loupe est une loupe numérique qui exploite l'appareil photo de l'iPhone pour augmenter la taille de tout élément pointé. On peut y associer le flash pour éclairer l'objet ou régler les filtres pour mieux distinguer les couleurs. La fonction "Énoncer le contenu de l'écran" est utile pour lire les messages, pages web ou livres. On peut aussi modifier la langue et le débit de la voix, et faire en sorte que les mots et les

phrases soient surlignés au moment où ils sont prononcés.

Nous le voyons, les applications téléchargeables par les patients sont de plus en plus nombreuses. Il nous semble intéressant que les ophtalmologistes en utilisent certaines afin de mieux informer leurs patients. Elles peuvent parfois apporter une aide précieuse, simple et gratuite. Elles peuvent aussi s'intégrer lors d'une consultation de basse vision en orthoptie.

Applications d'évaluation d'acuité visuelle et de suivi

>>> L'utilisation grandissante des smartphones ou tablettes connectés chez les seniors permet d'envisager l'évaluation personnalisée de l'acuité visuelle et son suivi au domicile. **EyeQue** est un testeur d'acuité visuelle destiné aux particuliers et développé par le MIT. Les

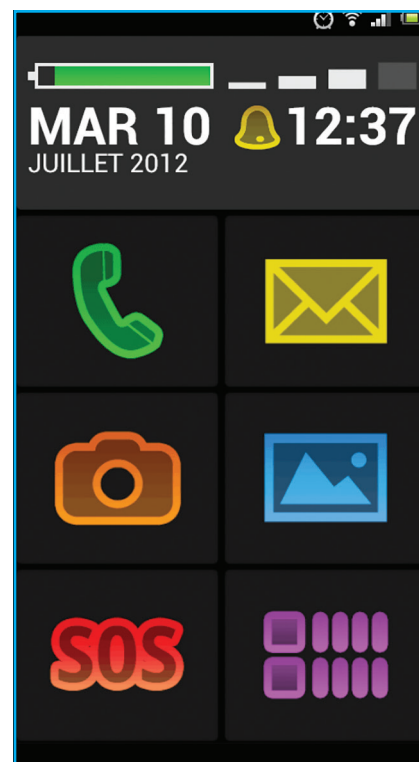


Fig. 5 : Application Big Launcher, amélioration de l'ergonomie du menu et du fond d'écran.

tests sont programmés aléatoirement et le patient les effectue à intervalles réguliers. EyeQue détecte aussi le daltonisme. Cette solution peut d'ailleurs être conseillée pour détecter des troubles de la vue naissants chez les enfants. L'accessoire se fixe facilement au smartphone (Android ou iOS), puis l'application va directement calculer, analyser et donner son rapport et ses recommandations. Il établit un graphique d'évolution.

Par la suite, le patient peut partager les données immédiatement avec son ophtalmo... mais aussi directement passer à la commande des lunettes via l'application **EyeQue Personal Vision Tracker**.

>>> **ForeseeHome** constitue une avancée dans la surveillance à domicile de la détection précoce de la DMLA humide. L'appareil ForeseeHome permet de faire un test simple et quotidien pour vérifier les changements minimes dans la vision. Il est basé sur

le principe de la détection précoce des distorsions. Les rapports mensuels sont envoyés directement chez le médecin, il est alerté des modifications précoces de la DMLA humide. Selon Querques *et al.* [1], ForeseeHome a été plus sensible aux changements de la DMLA que les méthodes de test à domicile plus anciennes comme la grille d'Amsler.

>>> Dans le même esprit, l'application **OdySight** de Tilak a été lancée à la SFO pour le suivi des maculopathies : détecter précocement l'évolution de la maladie et anticiper la réponse thérapeutique. Elle réunit les grands principes des 2 applications précédentes : autosurveillance à domicile, ergonomie des smartphones (Android ou iOS), suivi d'acuité visuelle et détection des variations significatives générant une alerte (fig. 6). L'application est probablement la plus aboutie dans ce domaine pour le moment et a un marquage CE. Un contrôle de la luminosité ambiante et de la distance de lecture permet une reproductibilité des tests. L'accent est mis ici sur l'observance dont on sait qu'elle est faible pour les pathologies chroniques : déploiement *via* une prescription médicale et autotests liés à un jeu "addictif" type Candy Crush.

Les premiers résultats de vraie vie sont prometteurs. Nous l'utilisons depuis quelques mois et l'accueil des patients est positif. Cela maintient une connexion entre le patient et son ophtalmologiste, ce qui est rassurant dans certains cas : patient monophthalme, néovaisseaux du myope fort, intervalle long (> 8 semaines) entre des IVT, etc. Cela nécessite toutefois une organisation parfaite de la filière avec éducation du patient, formation du secrétariat, capacité pour le médecin à traiter rapidement l'alerte.

>>> **FocalView** sera une application qui devrait être disponible en 2019 sur l'Apple *research kit*. Elle est développée en partenariat avec Novartis et permettra de surveiller des paramètres

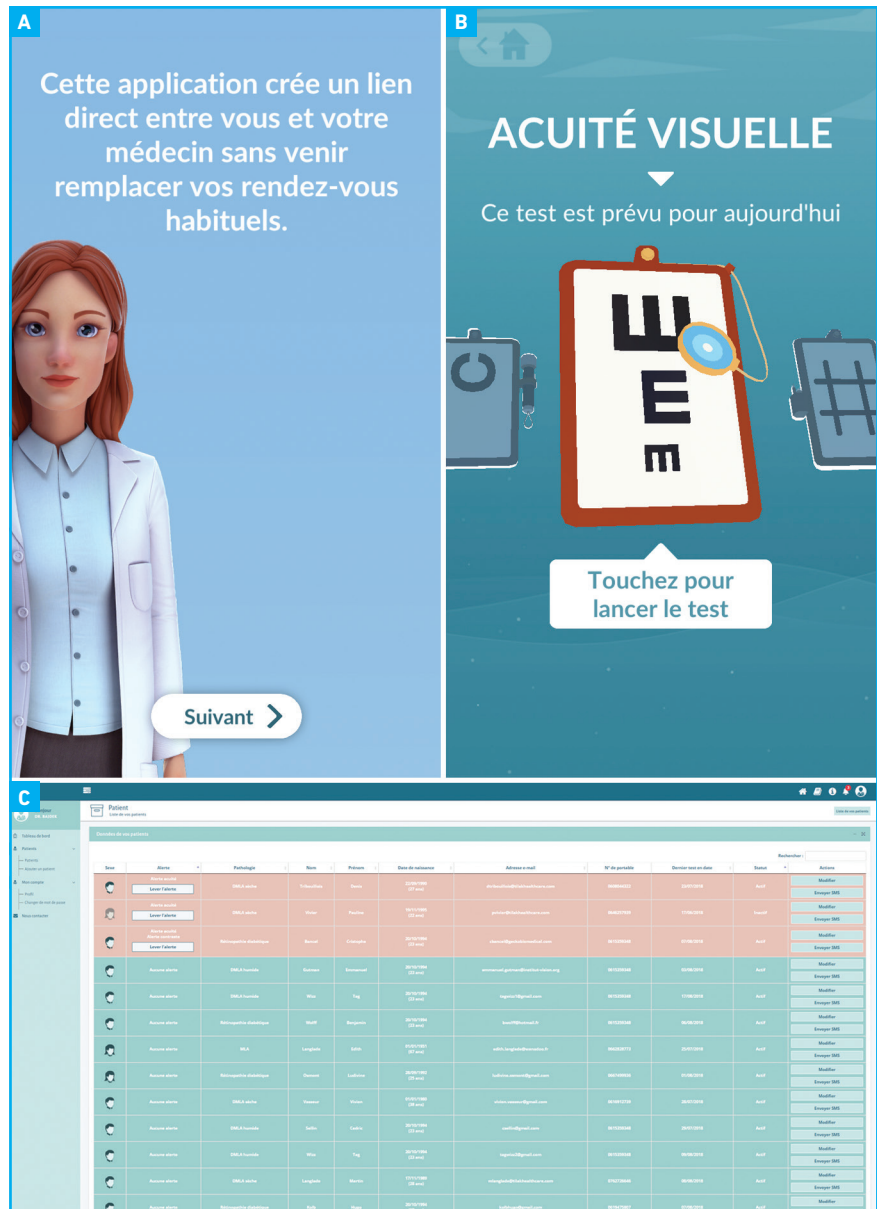


Fig. 6 : Application OdySight. **A :** grâce à une interface ludique, l'application sollicite le patient pour réaliser ses tests visuels. **B :** une notification apparaît afin de réaliser le test d'acuité visuelle. **C :** tableau de bord mensuel des patients, la visualisation d'une courbe est aussi disponible pour chaque patient.

visuels de patients dans des études cliniques. L'application sera configurable par chaque ophtalmologiste en piochant dans plusieurs fonctionnalités pour l'adapter aux différents besoins.

Même si aucun de ces systèmes n'est parfait, ils lancent, à coup sûr, les grandes lignes de ce que sera le suivi de nos

patients. À l'heure actuelle, les patients de plus de 75 ans sont encore peu connectés. Nous développons des stratégies de suivi, de type *inject and extend* pour alléger le suivi fastidieux et coûteux, mais le cabinet médical reste le lieu de prise des décisions. Ces outils fiables et ergonomiques seront utilisés par les sexagénaires déjà familiarisés aux nouvelles technologies.

Revue générale

Nous devons probablement revoir nos organisations afin de recevoir les patients à bon escient en intégrant ces outils connectés (et leurs alertes) à nos agendas. Loin d'avoir peur de ces applications, la profession doit être leader dans leurs déploiements. Il y a, en effet, beaucoup plus de patients n'ayant pas accès à l'ophtalmologiste que de patients venant à tort en consultation. Il est essentiel, pour l'intérêt des patients, que l'ophtalmologiste reste le pivot du parcours visuel en étant le premier au courant d'une alerte visuelle plutôt que la mutuelle du patient qui pourrait diffuser ce type d'applications à ses clients...

Intelligence artificielle

Du jeu de go à la reconnaissance d'images, de la traduction automatique au diagnostic médical, les progrès de l'intelligence artificielle sont exponentiels. Ils sont en grande partie liés aux progrès de l'apprentissage profond (*deep learning*) qui donne aux machines la capacité d'apprendre à partir d'une grande quantité de données. Ces données sont traitées par des réseaux de neurones organisés en strates, des algorithmes qui prennent en compte des milliers de paramètres. La performance de l'IA tient, entre autres, du fait qu'elle apprend elle-même de ses erreurs et qu'elle va construire toute seule un algorithme de raisonnement.

Cette technique est au final peu coûteuse et facilement applicable à l'imagerie. Par exemple, pour développer le logiciel d'analyse des OCT de DeepMind, les chercheurs ont recours à une première séance d'apprentissage réalisée à l'aide de centaines d'images dont la segmentation avait été réalisée manuellement. Ce 1^{er} apprentissage permet à la machine de segmenter toute seule les coupes OCT et de reconnaître certaines anomalies dans une coupe OCT : logette intrarétinienne, décollement séreux rétinien, etc. Un 2^e apprentissage permet à la machine de dire, en partant des

anomalies qu'elle voit, de quel diagnostic il s'agit et quel est le degré d'urgence pour recevoir le patient. Cet apprentissage en 2 temps permet de réduire le nombre de cas nécessaires à la formation de la machine.

Elle propose ainsi le dépistage, la classification diagnostique ainsi que l'orientation thérapeutique avec détection automatisée de l'activité de la maladie, des récurrences et identification des cibles pour de nouvelles approches thérapeutiques. L'ensemble des publications actuelles s'attachent à montrer la non-infériorité de l'IA par rapport aux experts, comme Deep Blue contre G. Kasparov dans les années 1990. Nul doute que les prochaines évolutions verront la supériorité des algorithmes sur les capacités d'intégration humaines. L'IA permettra certainement des soins de santé personnalisés mais aussi une gestion à grande échelle [2].

1. Interprétation automatisée des rétiniographies

>>> Le smartphone (caméra HD, lumière LED puissante) peut offrir un service inestimable grâce à sa connectivité

(clinique ou télé-ophtalmologie) et à son faible coût comparé au prix d'un rétinographe voire d'une lampe à fente. Une équipe indienne [3] a récemment publié une étude sur un nouveau téléphone intelligent, **Fundus On Phone (FOP)**, utilisé pour le dépistage de la rétinopathie diabétique comparé à un rétinographe classique. La photographie rétinienne à l'aide de la caméra FOP était efficace pour le dépistage et le diagnostic de la rétinopathie ou la maculopathie diabétiques avec une sensibilité de 90 % et une spécificité de 95 %, comparables aux photographies rétinienne classiques (*fig. 7*).

>>> Pour la première fois, la FDA, a autorisé la mise sur le marché du **robot IDx-DR** doté d'une IA capable de diagnostiquer la rétinopathie diabétique. Après un apprentissage initial basé sur une base de données française (Messidor-2), l'intelligence artificielle parvient désormais à détecter plus de 98 % des cas de rétinopathie diabétique [4]. Le système est conçu pour automatiser le diagnostic sans la présence de l'ophtalmologiste. Il ne sera sollicité que par des patients préalablement diagnostiqués positivement par l'IA.

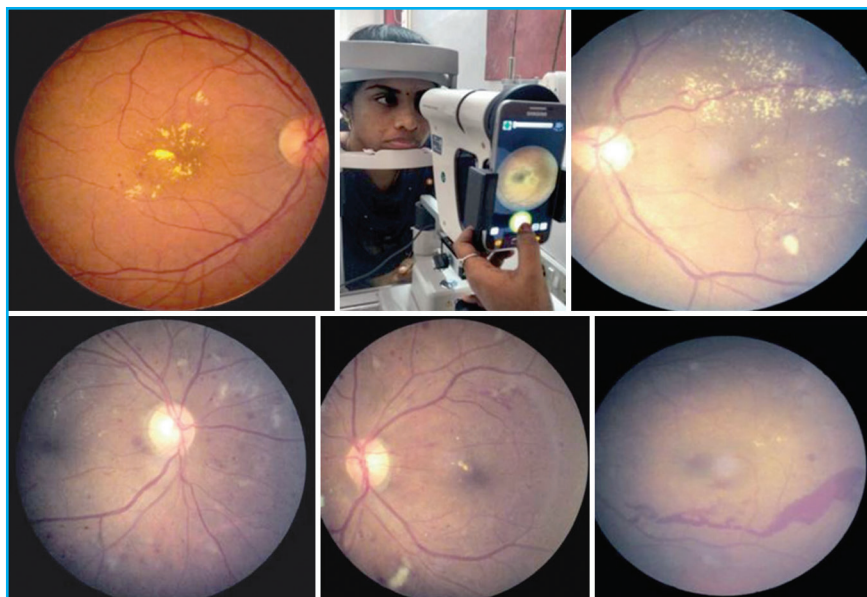


Fig. 7 : Résultats des rétiniographies réalisées par le smartphone sur son dispositif (FOP, Fundus On Phone).

Pour cela, les photographies sont envoyées vers un *cloud* qui héberge un algorithme répondant avec son diagnostic. Soit il détecte une rétinopathie diabétique et invite le patient à consulter un ophtalmologiste, soit le résultat est négatif et il propose un nouveau contrôle un an plus tard. Les résultats, qui s'appuient sur 900 patients, annoncent 87,4 % de sensibilité et 89,5 % de spécificité, comparables à 3 experts. À noter que près de 35 % des clichés n'étaient pas interprétables par le robot, contre 20 % pour les experts.

2. Interprétation automatisée des OCT

>>> Dans la continuité des segmentations automatisées par traitement d'image des années 2000, l'IA réussit maintenant à segmenter les liquides intra et sous-rétiniens, les drusen, les décollements de l'épithélium pigmentaire voire les atrophies géographiques (*fig. 8*) [2]. L'IA permet de détecter, avec une excellente précision, les différents types de liquide intrarétinien dans les maladies maculaires exsudatives telles qu'occlusion veineuse rétinienne, DMLA ou œdème maculaire diabétique [5].

Une fois le diagnostic effectué, une équipe israélienne a montré qu'elle était capable avec le logiciel **NOTAL** de détecter les signes d'activité grâce à l'évolution et à la disposition du fluide [6].

>>> En collaboration avec l'Institut d'ophtalmologie de l'*University College* de Londres et le *Moorfields Eye Hospital* (Londres), l'entreprise **DeepMind** de Google a montré il y a moins d'un an qu'un système d'intelligence artificielle peut recommander le diagnostic pour 50 maladies oculaires avec 94 % de sensibilité (résultats comparables aux experts de l'étude) (*fig. 9*) [7]. À partir des OCT, le logiciel a appris à repérer des atteintes comme la DMLA, la rétinopathie diabétique, le décollement de la rétine ou encore le glaucome. Surtout, il établit un classement des cas en fonction du degré d'urgence de la prise en charge pour chaque patient (*fig. 10*).

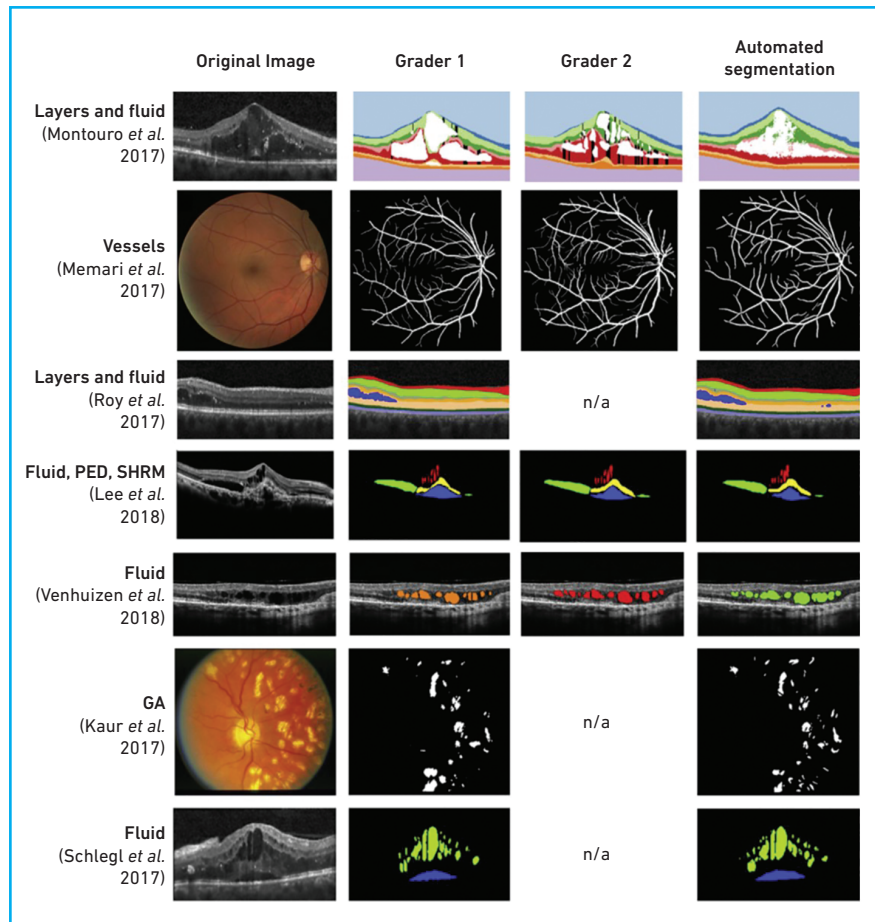


Fig. 8 : Les progrès récents dans la segmentation montrent des performances comparables entre les mesures humaines et les algorithmes.

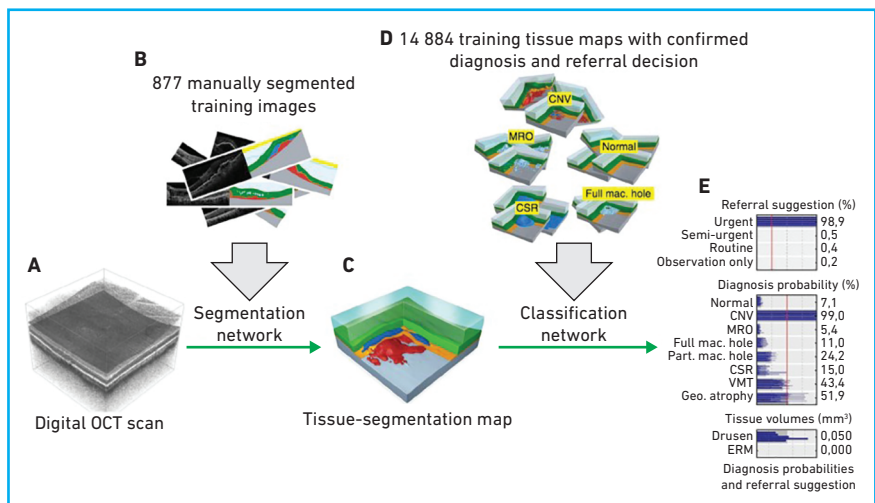


Fig. 9 : Logiciel DeepMind, illustration du processus d'analyse. **A :** scan OCT brut. **B :** segmentation des couches rétinienne automatique guidée par une analyse manuelle préalable. **C :** cartographie de la segmentation. **D :** cartographie des rétines dont le diagnostic est confirmé. **E :** diagnostic proposé et suggestion du délai de consultation.

Revue générale

POINTS FORTS

- ViaOpta, Ophta +, Supervision+, Odysight... sont des applications smartphones disponibles facilitant la prise en charge et le quotidien des patients atteints de pathologies rétinienne.
- Les systèmes Android et iOS proposent déjà des fonctionnalités améliorant l'accessibilité. L'accompagnement des patients passe aussi par la diffusion de ces nouveaux outils.
- Les progrès de l'imagerie ainsi que l'utilisation de grandes bases de données refondent l'intelligence artificielle qui devient aussi performante que les experts.
- Le diagnostic mais aussi le traitement de la DMLA ou de la rétinopathie diabétique sont assistés par les premiers logiciels de *deep learning*.
- L'intégration de ces avancées est nécessaire pour créer l'ophtalmologie numérique de demain.

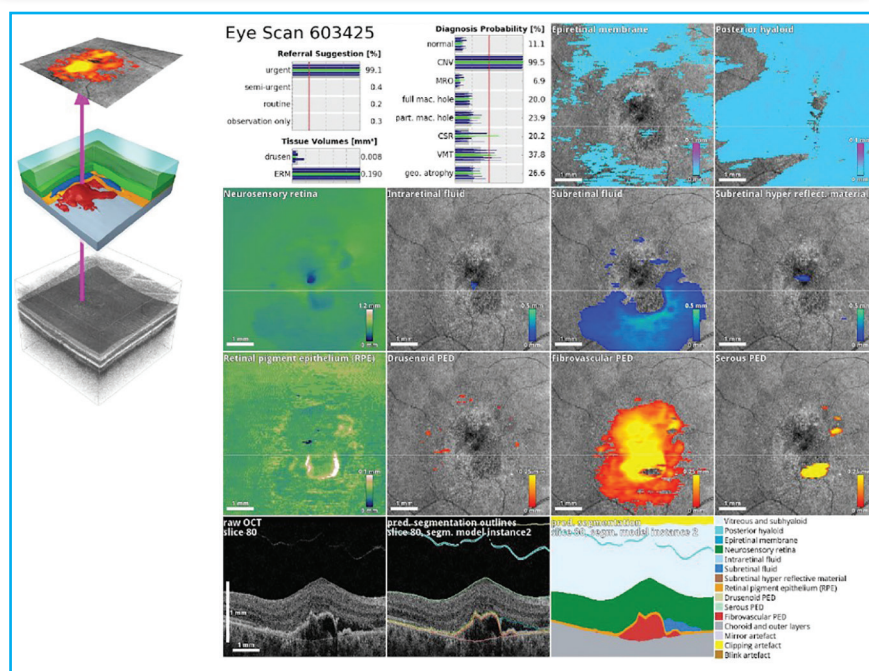


Fig. 10 : Logiciel DeepMind, représentation des intensités moyennes dans le sens A-scan (vue frontale de l'œil) avec corrélation à une carte d'épaisseur de l'épithélium pigmentaire. Le rapport annonce une probabilité diagnostique (néovaisseaux choroïdiens) et suggère un délai de consultation (urgent).

L'un des problèmes des systèmes d'IA est de fonctionner de manière opaque. Dans ce projet, le rationnel de l'IA est facilement accessible aux médecins spécialisés car il se passe en deux temps

et l'ophtalmologiste peut voir une partie du raisonnement de la machine. Les auteurs ont souhaité un système le plus transparent possible. L'inverse serait un obstacle majeur à une utilisation

médicale. Car il existe aussi une vraie problématique juridique, le consentement éclairé d'un patient nécessitant qu'un médecin soit en mesure d'expliquer la façon dont il est pris en charge...

>>> Si les réseaux de neurones profonds obtiennent des résultats supérieurs, leur fonctionnement apparaît comme une "boîte noire" : on peut juger des données qui entrent dans la boîte et des résultats qui en sortent, mais sans savoir ce qui se passe à l'intérieur. Les concepteurs ne seraient pas eux-mêmes en mesure d'analyser le raisonnement. Les données (chiffres, images...) sont analysées par des couches successives de calcul, qui attribuent à chaque fois un coefficient et transmettent le résultat à la couche suivante. Pour beaucoup de chercheurs, comme pour les pouvoirs publics, comprendre ces boîtes noires, ou du moins rendre leur fonctionnement plus compréhensible, va devenir un enjeu juridique et éthique majeur. Tout récemment d'ailleurs, la déclaration de Montréal tente d'établir une charte pour un développement responsable de l'IA [8].

Conclusion

De nombreux utilitaires sont disponibles gratuitement sur les smartphones pour les patients malvoyants. Il ne faut pas se priver des loupes éclairées, de la reconnaissance vocale ou du guidage GPS. Les nouvelles applications proposent aussi des outils de suivi d'acuité visuelle au domicile qui permettront, on l'espère, d'optimiser les contrôles au cabinet.

Le mythe de l'IA capable de reproduire les sentiments humains est encore loin mais force est de constater que les avancées récentes permettent d'ores et déjà une aide fiable et précise en ophtalmologie. Comme la plupart des systèmes d'IA en santé, l'objectif n'est pas tant de remplacer l'ophtalmologiste que de lui fournir une capacité de décision la plus proche de celle que prendrait un expert. L'ophtalmologiste conserve encore son

diagnostic, sa stratégie chirurgicale, sa vision horizontale de l'ensemble des problématiques d'un patient mais surtout son empathie...

Nous devons cependant être très attentifs à leurs évolutions et leurs impacts dans la qualité de notre prise en charge médicale. De la réfraction autonome en passant par le diagnostic, le pronostic ou la suggestion de traitements, ces systèmes vont profondément modifier notre filière de soins.

BIBLIOGRAPHIE

1. QUERQUES G, QUERQUES L, RAFAELI O *et al.* Preferential hyperacuity perimeter as a functional tool for monitoring exudative age-related macular degeneration in patients treated by intravitreal
2. SCHMIDT-ERFURTH U, SADEGHIPOUR A, GERENDAS BS *et al.* Artificial intelligence in retina. *Prog Retin Eye Res*, 2018;67:1-29.
3. RAJALAKSHMI R, SUBASHINI R, ANJANA RM *et al.* Automated diabetic retinopathy detection in smartphone-based fundus photography using artificial intelligence. *Eye (Lond)*, 2018;32:1138-1144.
4. VAN DER HEIJDEN AA, ABRAMOFF MD, VERBRAAK F *et al.* Validation of automated screening for referable diabetic retinopathy with the IDx-DR device in the Hoorn Diabetes Care System. *Acta Ophthalmol*, 2018;96:63-68.
5. SCHLEGL T, WALDSTEIN SM, BOGUNOVIC H *et al.* Fully automated detection and quantification of macular fluid in OCT using deep learning. *Ophthalmology*, 2018;125:549-558.
6. CHAKRAVARTHY U, GOLDENBERG D, YOUNG G *et al.* Automated identification of lesion activity in neovascular age-related macular degeneration. *Ophthalmology*, 2016;123:1731-1736.
7. DE FAUW J, LEDSAM JR, ROMERA-PAREDES B *et al.* Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease. *Nat Med*, 2018;24:1342-1350.
8. www.montrealdeclaration-responsibleai.com/the-declaration

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