

Le rôle de l'Intelligence Artificielle dans le dépistage de la Rétinopathie diabétique

Ioana Damian

Discipline Ophtalmologie
Université de Médecine et Pharmacie
Cluj-Napoca, Roumanie
ioana.damian@umfcluj.ro

Eduard Popescu

Département d'informatique,
Université Technique de Cluj-Napoca,
Cluj-Napoca, Roumanie
Popescu.Pa.Eduard@student.utcluj.ro

Adrian Groza

Département d'informatique,
Université Technique de Cluj-Napoca,
Cluj-Napoca, Roumanie
adrian.groza@cs.utcluj.ro

Simona-Delia Nicoară

Discipline Ophtalmologie
Université de Médecine et Pharmacie
Cluj-Napoca, Roumanie
simonanicoara1@gmail.com

Résumé — La rétinopathie diabétique est une affection oculaire fréquente qui touche les personnes atteintes de diabète sucré type 1 ou 2. Il s'agit d'une complication courante du diabète qui peut affecter les yeux et entraîner une perte de vision significative. La méthode de diagnostic de la rétinopathie diabétique consiste à examiner le fond de l'œil, soit avec l'ophtalmoscope direct ou avec une lampe à fente, soit en prenant des photographies de la rétine. Nous proposons une méthode pour détecter les niveaux de gravité de la rétinopathie diabétique, utilisant tout d'abord des techniques telles que : l'égalisation adaptative, la normalisation des couleurs, le filtre gaussien, la suppression du disque optique et des vaisseaux sanguins sur photographies couleur du fond d'œil. Ensuite, nous effectuons la segmentation de l'image pour identifier les marqueurs pertinents et extrayons les caractéristiques des images du fond d'œil. Enfin, nous appliquons un ensemble de classificateurs et évaluons la confiance du système.

Mots-clés — la rétinopathie diabétique, la dépistage, l'intelligence artificielle, le fond de l'œil.

I. INTRODUCTION

Les estimations actuelles montrent qu'en 2040, le nombre de patients atteints de diabète augmentera pour atteindre 624 millions, dont 224 millions développeront une forme de rétinopathie diabétique (RD) et 70 millions souffriront de déficience visuelle due à cette complication [1]. La RD est une complication microvasculaire du diabète qui touche la population active. Lors d'un examen ophtalmologique au cours duquel l'ophtalmologue examine la rétine, en fonction de la présence de certains signes cliniques, le médecin établit le diagnostic de RD et le classe dans un certain degré de gravité. La possibilité d'effectuer cette analyse sur des images du fond d'œil facilite ce processus, car il est possible de mettre en place des programmes capables de détecter automatiquement ces modifications. L'objectif de ce travail a été de réaliser un tel algorithme et de le comparer avec l'efficacité d'un spécialiste dans le domaine.

II. LE DEPISTAGE DE LA RETINOPATHIE DIABETIQUE

A. Le dépistage de la rétinopathie diabétique- la méthode conventionnelle

La RD se prête bien au dépistage pour plusieurs raisons. Premièrement, il est possible d'organiser des campagnes de sensibilisation pour l'ensemble de la population atteinte de diabète. Deuxièmement, la prévention est réalisable en agissant sur des facteurs de risque modifiables, tels que la glycémie et la tension artérielle, ce qui peut prévenir ou retarder l'apparition de la RD. Enfin, il existe des traitements efficaces, comme les injections intravitréennes d'agents anti-VEGF, la photo coagulation laser rétinienne, ou encore la vitrectomie postérieure pour les cas

avancés. L'objectif du dépistage est de déterminer qui doit être orienté vers un ophtalmologue pour un suivi attentif et un traitement, et qui peut poursuivre un dépistage annuel [2]. Le premier examen varie en fonction du type de diabète [2] :

1. Pour les patients atteints de diabète de type 1, le premier examen est recommandé 5 ans après le diagnostic, car la RD se manifeste rarement avant la puberté, en moyenne 6 à 7 ans après le début du diabète.
2. Pour les patients atteints de diabète de type 2, le premier examen doit être effectué dès le diagnostic, car le début de la maladie peut précéder le diagnostic de plusieurs années.
3. En cas de grossesse (diabète de type 1 ou 2) : idéalement avant la conception, sinon le plus tôt possible après la conception ou au début du premier trimestre.

La première consultation, conformément aux *Standards of Medical Care in Diabetes* de l'*American Diabetes Association* (ADA), doit inclure la mesure de l'acuité visuelle et un examen ophtalmologique complet réalisé par un ophtalmologue ou un optométriste avec dilatation de la pupille [3]. Le guide émis par l'*International Council of Ophthalmology* (ICO) et l'*American Diabetes Association* (ADA) recommande que la consultation comprenne la mesure de l'acuité visuelle et un examen du fond d'œil par [4]:

- a. ophtalmoscopie directe/indirecte ou biomicroscopie ou
- b. photographies du fond d'œil : prises de vue de 30° jusqu'au champ large, avec ou sans dilatation de la pupille. Les consultations suivantes doivent ensuite être réalisées à des intervalles réguliers par un ophtalmologiste ou un technicien formé.

En fonction des lésions identifiées au niveau de la rétine, la RD est classée en plusieurs degrés de gravité (voir le Tableau 1).

Tableau 1. Échelle de gravité de la rétinopathie diabétique et Échelle internationale de gravité de la rétinopathie diabétique

Degrés de gravité	Lésions identifiées
sans RD	Sans lésions
RDNP minime	Juste microanévrismes
RDNP modérée	Plus que des microanévrismes mais moins que la RDNP sévère
RDNP sévère	L'un des éléments suivants (règle 4-2-1) - des hémorragies rétinienne ponctuelles et en taches et des microanévrismes dans l'ensemble des 4 quadrants. - Modifications veineuses dans 2 quadrants ou plus - IRMA modérée dans 1 quadrant ou plus
RDP	L'un des éléments suivants - néovascularisation des vaisseaux visible sur le nerf optique ou à la surface de la rétine. - des hémorragies pré-rétiniennes ou dans le vitré

RD= rétinopathie diabétique, RDNP= rétinopathie diabétique non proliférante, RDP= rétinopathie diabétique proliférante

Les patients doivent être encouragés et dirigés chaque année par leur médecin généraliste ou leur diabétologue vers un ophtalmologiste pour effectuer cet examen, même si leur vision n'est pas affectée. Des symptômes visuels sont provoqués par l'œdème maculaire ou l'ischémie maculaire. Cependant, les patients peuvent ne pas subir de perte de vision, même en cas de rétinopathie avancée. Pour cette raison, il est essentiel de réaliser régulièrement ces évaluations afin de détecter précocement l'apparition de la maladie et d'initier un traitement, si nécessaire, le plus rapidement possible, afin d'optimiser l'efficacité de la réponse au traitement. La manière dont se déroule ce dépistage varie d'un système de santé à un autre, en fonction des ressources matérielles et humaines disponibles, ainsi que de l'existence de protocoles et de la formation du personnel. Les systèmes de santé performants ont compris l'importance de la prévention et de la prophylaxie. Par exemple, le NHS (*National Health Service*) a réussi, grâce à la mise en place du dépistage de la RD, à couvrir 80 % de la population éligible, et après 50 ans, la RD n'est plus une cause principale de cécité chez la population active [5].

B. Le dépistage de la rétinopathie diabétique par l'intelligence artificielle

L'examen du fond d'œil dilaté effectué par un ophtalmologue est toujours considéré comme la méthode de référence pour diagnostiquer la RD. Cependant, en raison de la forte prévalence des patients diabétiques et du nombre limité d'ophtalmologistes, cela pourrait s'avérer peu faisable à l'avenir. Ainsi, les programmes de dépistage passent à des méthodes de dépistage par photographie rétinienne, qui semblent également être rentables. Mais le coût de cette technique, ainsi que celui de l'interprétation et de l'acquisition, limite son application en tant que méthode de dépistage général. La photographie rétinienne non mydriatique a démontré une sensibilité et une spécificité similaires (78-98 %, 86-90 %, respectivement) par rapport à un examen du fond d'œil dilaté effectué par un ophtalmologue (84-92 %, 92-98 %) [6].

La détection de la RD pourrait être améliorée par des méthodes d'intelligence artificielle (IA) en réduisant le fardeau de l'examen manuel des photographies du fond d'œil et en diminuant également la nécessité de formateurs qualifiés, ce qui permettrait un dépistage plus efficace. Une revue systématique de 2023 qui a évalué la valeur diagnostique des modèles d'algorithmes d'IA pour la RD a trouvé une sensibilité agrégée de 0,880 (0,875-0,884) [une spécificité agrégée de 0,912 (0,99-0,913)] [7].

Tableau 2. Les modèles d'IA par RD

Nom	Algorithme	Sensibilité		Spécificité	
		rDR	VTDR	rDR	VTDR
IDP	ML	96.8%		69.4%	
IDx-DR X2.1	CNN, DL	96.8%	100%	87%	90.8%
EyeART	aML	90.0%		63.2%	
EyeART v2.1	DL	91.3%		91.1%	

rDR= RD référentiel, VTDR= RD menaçant la vision

IDx-DR X2.1 est le premier dispositif d'IA autorisé à détecter la RD, ayant été approuvé par la FDA en 2018. Ce logiciel particulier utilise pour l'analyse deux photographies à 45 degrés, l'une centrée sur le disque et l'autre centrée sur la macula, acquises avec une caméra non mydriatique et non à champ ultra-large. Les résultats fournis au médecin sont soit

1) « RD détectée, supérieure à légère : orienter vers un professionnel de la vue », soit

2) « négatif pour une RD supérieure à légère : dépister à nouveau dans 12 mois.

En 2020, la FDA a approuvé EyeArt v2.2.0 pour identifier les cas de RD supérieure à légère et de RD sévère, utilisant les caméras Canon CR-2AF et Canon CR-2 Plus AF. En juin 2023, elle a reçu l'autorisation d'utiliser la caméra rétinienne Topcon NW400, devenant ainsi le premier et unique système d'IA ayant reçu l'approbation de la FDA pour être utilisé avec plusieurs caméras rétiennes de différents fabricants. Dans l'Union européenne, c'est le premier et le seul système d'IA approuvé sous la réglementation MDR de classe IIb pour détecter la RD, la dégénérescence maculaire liée à l'âge et les lésions du nerf optique glaucomateux, le tout en un seul test [9].

III. IDENTIFICATION DE LA RETINOPATHIE DIABÉTIQUE A L'AIDE DE L'APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE

A. Ensemble de données

Nous avons utilisé deux ensembles de données différents. Le premier est l'ensemble de données de l'*Asia Pacific Tele-Ophthalmology Society* (APTOS) [10], qui aide à la classification des images rétiennes. Le second est l'*Indian Diabetic Retinopathy Image Dataset* (IDRiD) [11], utilisé pour la segmentation des lésions de la RD. Le premier ensemble de données contient des images de différentes tailles représentant divers stades de la RD. Cet ensemble de données a été utilisé pour entraîner et valider les réseaux de convolution afin d'extraire des caractéristiques des images rétiennes. Le deuxième ensemble de données a été utilisé pour l'algorithme de segmentation, qui entraînera le réseau U-Net. Il se compose de 54 images d'entraînement et de 27 images de test et de validation. Pour chaque image, il y a quatre masques représentant la localisation de chaque lésion, ainsi que des masques pour segmenter le disque optique. Chaque image a été annotée manuellement par un spécialiste de la rétine.

B. Traitement des données

Les étapes de prétraitement suivantes ont été effectuées :

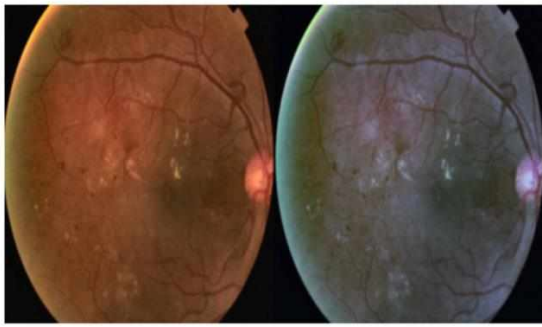
- Égalisation adaptative des histogrammes dans le modèle RGB* : cette étape améliore la qualité des images, met en évidence les détails importants et assure la cohérence et la comparabilité entre les images disponibles (voir l'image du milieu dans la Figure 1).
- Normalisation des couleurs* : les images peuvent présenter des variations de contraste et de luminosité, ce qui peut affecter l'interprétation et l'extraction des caractéristiques. En normalisant les couleurs, nous pouvons équilibrer le contraste et la luminosité des images, facilitant ainsi la détection et la classification précises des objets (voir l'image à droite dans la Figure 1).

Figure 1. L'égalisation et normalisation de l'image originale.



- Filtre gaussien* : Un filtre gaussien est créé pour éliminer le bruit de l'image (voir la Figure 2).

Figure 2. Filtre gaussien



d) *Suppression du disque optique* : Étant donné que l'image du fond d'œil contient le disque optique, dont les bords sont diffus et peuvent être confondus avec les bords d'un exsudat mou, le disque optique a été retiré.

e) *Suppression des vaisseaux sanguins* : Les vaisseaux sanguins peuvent être facilement confondus par le modèle avec des hémorragies.

C. Module d'extraction et de classification des caractéristiques hybrides

Les performances des modèles testés pour la phase de diagnostic précoce ont été analysées.

Tableau 3. Les performances de modèles

Modèle	Précision d'entraînement	Précision de validation
ResNet50	99.37	71.64
ResNet18	93.50	69.34
VGG-19	97.98	73.37
DensNet-201	99.58	76.80
GoogleNet	96.58	74.34
InceptionV3	99.03	73.72

Le dernier composant du module d'extraction et de classification des caractéristiques hybrides est le bloc des algorithmes d'apprentissage automatique, qui recevra 1056 caractéristiques provenant à la fois des réseaux ResNet18 et GoogleNet et classera les images du fond d'œil rétinien dans les catégories suivantes : sans RD (no-DR), RD légère (mild-DR) et RD sévère (severe-DR).

Tableau 4. La performance du ResNet 18 et GoogleNet

L'entraînement				
	Images avec prétraitement		Images sans prétraitement	
	Précision	Perte	Précision	Perte
ResNet18	98.41	0.052	94.54	0.125
GoogleNet	97.67	0.061	95.61	0.110
La validation				
	Images avec prétraitement		Images sans prétraitement	
	Précision	Perte	Précision	Perte
ResNet18	97.09	0.025	54.37	1.933
GoogleNet	96.91	0.030	60.72	1.425

D. Ensemble de segmentation des réseaux U-Net

U-Net génère une image binaire qui représente la probabilité que chaque pixel appartienne au type de lésion souhaité. À partir de cette image de probabilité, un seuil est choisi pour construire un masque contenant uniquement les lésions ayant la probabilité la plus élevée. Enfin, après que les lésions ont été identifiées et leur nombre déterminé, une décision est prise concernant le stade de la RD présenté dans l'image d'entrée.

IV. RESULTATS

A. Segmentation des exsudats durs.

Le modèle U-Net a obtenu des résultats remarquables dans l'identification de ce type de lésion grâce à la grande quantité de données d'entraînement et à la clarté des lésions dans l'image (voir la Figure 3).

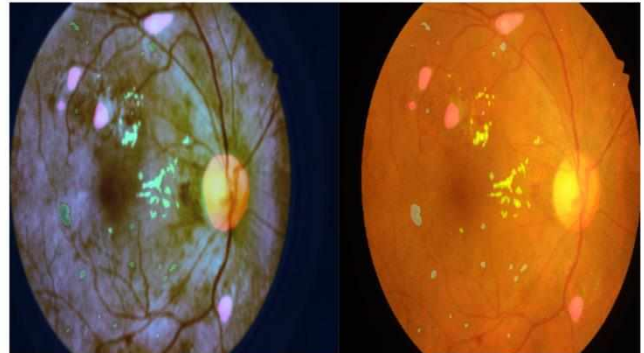
Figure 3. La segmentation des exsudats durs



B. Segmentation des nodules cotonneux

Une segmentation précise a été réalisée grâce à l'absence du disque optique et au filtre appliqué (voir la Figure 4).

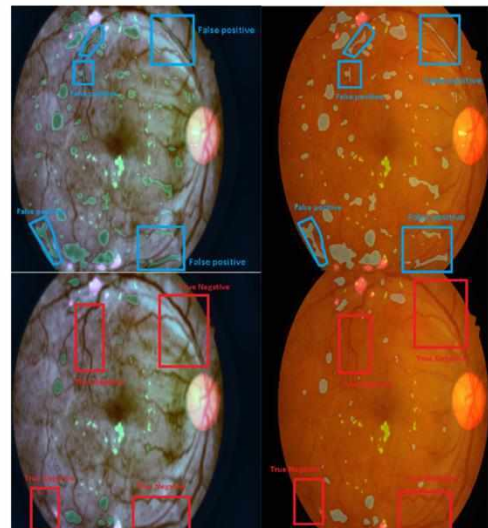
Figure 4. La segmentation des nodules cotonneux



C. La suppression des vaisseaux sanguins dans le processus de segmentation des microanévrismes et des hémorragies

Cette suppression entraîne une réduction du nombre de faux positifs (voir la Figure 5).

Figure 5. La suppression des vaisseaux sanguins



Pour chaque modèle de segmentation, un score de confiance est calculé, représenté sous forme de pourcentage.

Tableau 5. La confiance pour chaque modèle de segmentation.

Lesions	HEM	SE	HE	MA
Confiance	0.94	0.89	0.91	0.60
IoU score	0.85	0.92	0.97	0.77
Module trust	87%	90%	93%	76%

HEM= hémorragies, SE= nodules cotonneux, HE= exsudats durs, MA= microanévrismes.

Pour l'ensemble des données de segmentation, étant donné que les lésions sont identifiées par une personne externe et qu'il n'y a aucune certitude que toutes les lésions identifiées soient précises, le coefficient Kappa de Cohen a été calculé pour mesurer l'accord ou la fiabilité entre les deux évaluateurs de manière statistique. Dans notre cas, cet accord était de 0,73 ($0,6 \leq K < 0,8$), ce qui signifie que nous avons un accord significatif.

CONCLUSIONS

Nous avons proposé une méthode pour détecter les niveaux de gravité de la rétinopathie diabétique. En tirant parti des techniques d'apprentissage profond et en utilisant un ensemble de données soigneusement sélectionné, le modèle atteint une grande précision dans la distinction des différents stades de la maladie. L'IA révolutionne le dépistage de la RD en permettant un diagnostic plus rapide et plus précis. Grâce aux algorithmes d'apprentissage profond, l'IA peut analyser les images rétiniennes pour détecter les premiers signes de RD, souvent indétectables à l'œil nu dans les stades précoces. En automatisant le dépistage, les systèmes IA allègent la charge de travail des ophtalmologistes, réduisant ainsi les coûts et le temps nécessaire pour obtenir un diagnostic précoce.

L'utilisation de l'IA dans le dépistage de la rétinopathie diabétique offre donc un potentiel énorme pour améliorer la prévention de la perte de vision chez les patients diabétiques en assurant une détection rapide et efficace de cette pathologie.

REFERENCES

- [1] Atlas I.D.F.D. Int. Diabet. Federat. (IDF); 2017. Brussels, Belgium: International Diabetes federation. Available at: <https://diabetesatlas.org/atlas/tenth-edition/>
- [2] Diabetic retinopathy Preferred Practice Pattern 2019 AAO. Available at: <https://www.aao.org/education/preferred-practice-pattern/diabetic-retinopathy-ppp>
- [3] American Diabetes Association's (ADA's) *Standards of Medical Care in Diabetes, Clin Diabetes* 2018;36(1):14-37. Available at: <https://diabetesjournals.org/clinical/article/36/1/14/31812/Standards-of-Medical-Care-in-Diabetes-2018>
- [4] Wong TY, Sun J, Kawasaki R, Ruamviboonsuk P, Gupta N, Lansingh VC, Maia M, Mathenge W, Moreker S, Muqit MMK, Resnikoff S, Verdaguer J, Zhao P, Ferris F, Aiello LP, Taylor HR. Guidelines on Diabetic Eye Care: The International Council of Ophthalmology Recommendations for Screening, Follow-up, Referral, and Treatment Based on Resource Settings. *Ophthalmology*. 2018 Oct;125(10):1608-1622. doi: 10.1016/j.ophtha.2018.04.007. Epub 2018 May 24. PMID: 29776671.
- [5] Liew G, Michaelides M, Bunce C. A comparison of the causes of blindness certifications in England and Wales in working age adults (16-64 years), 1999-2000 with 2009-2010. *BMJ Open*. 2014;4(2):e004015. doi: 10.1136/bmjopen-2013-004015Y.
- [6] D. S. W. Ting, G. C. M. Cheung, and T. Y. Wong, "Diabetic retinopathy: global prevalence, major risk factors, screening practices and public health challenges : a review," *Clinical & experimental ophthalmology*, vol. 44, no. 4, pp. 260-277, 2016
- [7] Z. Wang, Z. Li, K. Li, S. Mu, X. Zhou, and Y. Di, "Performance of artificial intelligence in diabetic retinopathy screening : a systematic review and meta-analysis of prospective studies," *Frontiers in Endocrinology*, vol. 14, p. 1197783, 2023
- [8] M. D. Abramoff, Y. Lou, A. Erginay, W. Clarida, R. Amelon, J. C. Folk, and M. Niemeijer, "Improved automated detection of diabetic retinopathy on a publicly available dataset through integration of deep learning," *Investigative ophthalmology & visual science*, vol. 57, no. 13, pp. 5200-5206, 2016.
- [9] M. Bhaskaranand, C. Ramachandra, S. Bhat, J. Cuadros, M. G. Nittala, S. Sadda, and K. Solanki, "Automated diabetic retinopathy screening and monitoring using retinal fundus image analysis," *Journal of diabetes science and technology*, vol. 10, no. 2, pp. 254-261, 2016
- [10] Herrero, María, "Diabetic retinopathy detection aptos dataset," *Kaggle Datasets*, 2019, accessed on 10 October 2024. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/mariaherrero/aptos2019>
- [11] P. Porwal, S. Pachade, R. Kamble, M. Kokare, G. Deshmukh, V. Sahasrabudhe, and F. Meriaudeau, "Indian diabetic retinopathy image dataset (idrid)," 2018. [Online]. Available at: <https://ieee-dataport.org/open-access/indian-diabetic-retinopathy-image-dataset-id>