



Article Original

Utilisation d'un Logiciel d'Aide à la Décision pour le Dépistage de la Rétinopathie Diabétique au Cameroun

Use of a Decision Support Software for Screening of Diabetic Retinopathy in Cameroon

Georges Bediang^{1,*}, Valère Abbou Panpom¹, Godefroy Koki^{1,2}, Emilienne Epée^{1,3}

¹ Faculté de Médecine et des Sciences Biomédicales, Université de Yaoundé I
² Hôpital Militaire de Yaoundé
³ Hôpital Central de Yaoundé

***Auteur correspondant**

Département de Santé Publique, Faculté de Médecine et des Sciences Biomédicales, Université de Yaoundé I
 BP : 1364 Yaoundé, Cameroun
 e-mail : bediang@yahoo.com

Keywords:

Rétinopathie diabétique ;
 Rétinographie ;
 Photographies rétinienues ;
 Fond d'œil ;
 Logiciel d'aide à la décision

RESUME

Introduction : En se basant sur l'analyse des rétinophotographies de patients diabétiques, l'objectif de cette étude était d'évaluer la validité d'un logiciel d'aide à la décision dans le dépistage de la rétinopathie diabétique (RD) au Cameroun. **Méthodologie :** Il s'agit d'une étude d'évaluation diagnostique d'un logiciel d'aide à la décision. Des photographies rétinienues bilatérales non mydriatiques ont été réalisées chez les participants. En utilisant la classification ALFEDIAM du stade d'évolution de la RD, chaque participant (représenté par 2 images) a été classé par un ophtalmologue. Puis, une matrice de correspondance entre cette classification et celle du logiciel d'aide à la décision a permis que l'ophtalmologue et le logiciel les classent en cas référable (malade) ou non référable (non malade). Ces décisions ont été évaluées (degré d'accord, indices de validité du logiciel) par rapport à celles d'un rétinologue (gold standard). **Résultats :** La RD était présente chez 33 (12,3%) des 269 patients diabétiques (538 images) inclus dans l'étude. Le degré d'accord entre l'ophtalmologue et le rétinologue montrait un K de 0,73 et de 0,04 entre le logiciel et l'expert. Les indices de validité de ce logiciel indiquaient une sensibilité de 97,0%, une spécificité de 37,7% et une aire sous la courbe ROC de 0,673 (IC à 95% : 0,594 – 0,753). **Conclusion :** L'évaluation des indices de validité de ce logiciel d'aide à la décision montre des performances encore peu optimales pour le dépistage automatique de la RD dans notre contexte. L'amélioration continue de ses performances intrinsèques et le choix d'un meilleur test de référence permettrait d'améliorer significativement les résultats obtenus au cours de cette étude.

ABSTRACT

Background: Based on the analysis of retinophotographs of diabetic patients, the objective of this study was to evaluate the validity of decision support software in the screening of diabetic retinopathy (DR) in Cameroon. **Methodology:** This is a diagnostic evaluation study of a decision support software. Bilateral non-mydriatic retinal photographs were taken of the participants. Using the ALFEDIAM classification, each participant (represented by 2 images) was classified by an ophthalmologist. Then, a correspondence matrix between this classification and that of the decision support software enabled the ophthalmologist and the software to classify them into referable (sick) or non-referable (not sick) cases. These decisions were evaluated (degree of agreement, software validity indices) in relation to those of a retinologist (gold standard). **Results:** DR was present in 33 (12.3%) of the 269 diabetic patients (538 images) included in the study. The degree of agreement between the ophthalmologist and the retinologist showed a K of 0.73 and of 0.04 between the software and the expert. The validity indices of this software indicated a sensitivity of 97.0%, a specificity of 37.7% and an area under the ROC curve of 0.673 (95% CI: 0.594 - 0.753). **Conclusion:** The evaluation of the validity indices of this decision support software shows performances that are still not optimal for automatic DR screening in our context. The gradual improvement of its intrinsic performances and the choice of a better reference test would significantly improve the results obtained during this study.

INTRODUCTION

La rétinopathie diabétique (RD) est une complication microvasculaire courante et spécifique du diabète. Selon l'OMS, la RD est une des complications micro-angiopathiques fréquentes [1] et l'une des causes majeures de déficience visuelle voire de cécité au sein de la population diabétique. En 2009, la prévalence de la cécité causée par la RD était estimée à 4% au niveau mondial [1,2]. En Afrique noire, la prévalence de la RD varie entre 15 et 52 % [3]. En 2010, elle était estimée à

42% au Cameroun [4]. La RD est due à deux processus physiopathologiques : l'hyperperméabilité de la paroi des capillaires rétinienues (source d'œdème rétinien) et l'occlusion des capillaires rétinienues (responsable d'ischémie rétinienne). A l'examen du fond d'œil, on retrouve des signes cliniques multiples et variés: des microanévrismes, des hémorragies, des nodules cotonneux, des anomalies microvasculaires intrarétinienues, des exsudats et des néovaisseaux [5].

L'Association de Langue Française pour l'Etude du Diabète et des Maladies Métaboliques (ALFEDIAM) recommande un dépistage de la RD via la réalisation d'un fond d'œil annuel chez tout patient diabétique, dès la découverte du diabète. Ce fond d'œil peut être réalisé avec ou sans mydriase pupillaire par photographie à l'aide d'un rétinographe. Cette approche est actuellement une méthode de référence pour le dépistage de la RD en France [6]. Cependant, la réalisation d'un fond d'œil annuel chez tout patient diabétique est loin d'être atteint au Cameroun. Ceci pourrait se justifier par le nombre croissant de patients diabétiques, les difficultés d'accès géographique et financier aux soins et par l'insuffisance de ressources matérielles et humaines qualifiées dans notre contexte [7]. La santé numérique et ses nombreuses applications en ophtalmologie offrent de nouvelles possibilités de dépistage de la RD, surtout dans les pays à faibles ressources [8]. Une de ces applications consiste en l'analyse des images de fond d'œil via un logiciel d'aide à la décision basé sur l'intelligence artificielle afin de dépister automatiquement et de manière efficiente les signes de la RD [9]. Dans notre contexte, les difficultés observées en ophtalmologie dans le dépistage de la RD orientent vers l'exploration de ces nouvelles approches de soins basées sur le numérique. L'objectif de cette étude était d'évaluer la validité d'un logiciel d'aide à la décision (Dream-up-vision, DUV) [10] dans le dépistage de la rétinopathie diabétique au Cameroun au travers de l'analyse et de l'interprétation de rétinophotographies.

METHODOLOGIE

Design de l'étude

Il s'agit d'une étude d'évaluation de test diagnostique. Des rétinophotographies bilatérales non mydriatiques centrées sur la macula ont été réalisées chez chacun des 269 participants (figure 1). La classification ALFEDIAM de la RD a été utilisée par un ophtalmologue pour classer les images et les participants (représenté par 2 images) en fonction du stade d'évolution de la RD. Puis, à travers une matrice de correspondance entre cette classification et celle d'un logiciel d'aide à la décision, ces participants ont été classés par l'ophtalmologue et le logiciel en cas référent (malade) ou non référent (non malade). Enfin, ces conclusions ont été comparées à celles d'un rétinologue (gold standard).

Participants, échantillonnage, critères d'inclusion et d'exclusion

Nous avons inclus dans cette étude, les patients diabétiques ayant consenti de manière éclairée à participer et chez qui un fond d'œil pour chaque œil était réalisé. Ont été exclus, les patients qui présentaient une anomalie des milieux transparents empêchant une bonne visualisation bilatérale des fonds d'œil (cataracte, myosis, hémorragie du vitré, etc.) ou ayant des clichés ininterprétables (détecté au cours de l'analyse des images de fonds d'œil soit par l'humain soit par le logiciel). L'échantillonnage s'est fait de manière consécutive et par convenance.

Sites et période de l'étude

L'étude s'est déroulée entre les mois d'Octobre 2016 et de Mai 2017 (8 mois). Le recrutement des participants s'est fait dans 3 hôpitaux de la ville de Yaoundé (le Centre National d'Obésité de l'Hôpital Central de Yaoundé et les unités de prise en charge des patients diabétiques des Hôpitaux de District de Biyem-Assi et de la Cité-Verte).

Méthode

Formation d'un assistant à la réalisation de Fonds d'œil

Au cours d'une période de 10 semaines, un étudiant de 7^{ème} année d'études médicales a effectué un stage de formation en ophtalmologie dans les services d'ophtalmologie de l'Hôpital Militaire de Yaoundé (HMY) et de l'Hôpital Gynéco-Obstétrique et Pédiatrique de Yaoundé (HGOPY) afin d'acquérir des compétences dans la réalisation de fonds d'œil.

Réalisation des rétinophotographies et capture d'images

Au cours des consultations, chacun des patients éligibles étaient verbalement invités à prendre part à l'étude. Après l'obtention du consentement, une séance de rétinophotographies était organisée en accord avec les recommandations de la HAS [11]. Il s'agissait de la réalisation d'une rétinophotographie (image) par œil - centrée sur la macula - soit au total 2 images par patient (une image de l'œil droit et une image de l'œil gauche). L'image centrée sur la macula est celle qui présente le plus grand champ de vision du pôle postérieur de la rétine. Ces rétinophotographies étaient réalisées grâce à un rétinographe portatif de marque HORUS DEC 100 [12], fourni par le Réseau en Afrique Francophone pour la Télémedecine (RAFT)[13] et qui permettait de réaliser des fonds d'œil à 45°.

Analyse et interprétation des rétinophotographies

Analyse et interprétation des rétinophotographies par les humains

Les images ont été analysées indépendamment par un ophtalmologue ayant 5 ans d'expérience et un rétinologue ayant 5 ans d'expérience en rétinologie (considéré comme le gold standard).

Cette analyse s'est faite en utilisant la classification de l'ALFEDIAM portant sur le dépistage de la RD par rétinophotographie et validée en 2007 par la Société Française d'Ophtalmologie (SFO) et la Haute Autorité de Santé (HAS) [14]. Chaque image de fond d'œil devait ainsi être classée en (i) grade 0 (Absence de RD), grade 1 (RD Non Proliférante Minimale), grade 2 (RD Non Proliférante Modérée), grade 3 (RD Non Proliférante Sévère) et grade 4 (RD Proliférante). Puis, au travers d'une matrice de correspondance, les patients devaient être classés en deux grands groupes : (i) référent (pour les patients ayant au moins un fond d'œil classé dans les grades 2, 3 ou 4) et non référent (pour les patients ayant tous les deux fond d'œil classés dans les grades 0 ou 1).

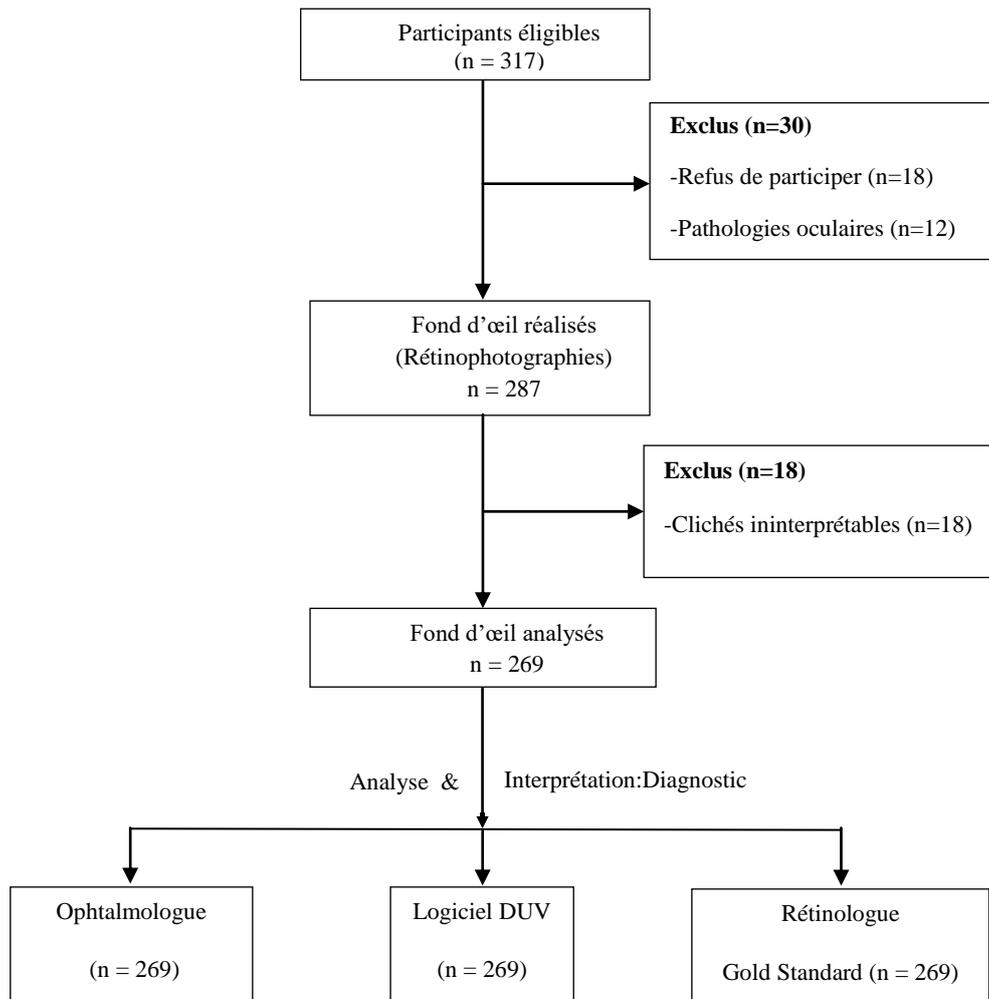
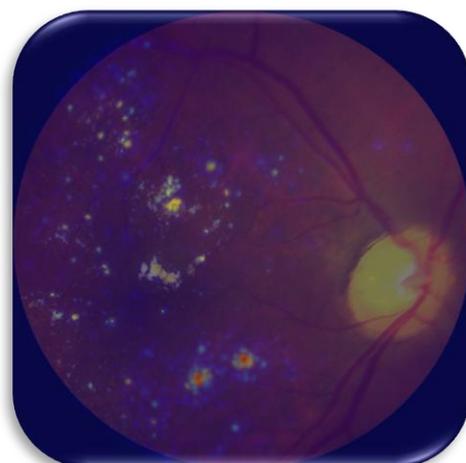


Figure 1: Diagramme de flux de l'étude



Fond d'œil (image originale) : œdème maculaire cystoïde



Fond d'œil (anomalies détectées par le logiciel DUV) : l'image est classée comme référible

Figure 2 : Détection des lésions sur une image de fond d'œil par le logiciel d'aide à la décision Dream-Up Vision (DUV)

Analyse et interprétation des rétinophotographies par le logiciel d'aide à la décision

Les photographies rétinienne ont également été analysées par un logiciel d'aide à la décision appelé Dream-Up-Vision (DUV) [10]. C'est un logiciel basé sur un réseau de neurones (domaine de l'intelligence artificielle), lequel permet de détecter des anomalies sur une image de la rétine et déterminer le stade de la rétinopathie diabétique (figure 2).

Sur le plan fonctionnel, ce logiciel permet de segmenter l'arbre vasculaire rétinien. Il permet également de localiser et de détecter les contours du disque optique, de la macula, des lésions lumineuses (exsudats et nodules cotonneux), des lésions sombres (microanévrismes, hémorragies) et enfin, des 'druses' (signes de dégénérescence maculaire liés à l'âge afin de les dissocier des lésions de la RD).

Sur le plan algorithmique, ce logiciel peut être vu comme une fonction non-linéaire qui a en entrée une image et en sortie la probabilité que cette image corresponde à une personne malade. L'image est elle-même fournie à cette fonction comme un ensemble de pixels et chaque pixel est lui-même représenté sous trois formes Red-Green-Blue (RGB). Le modèle d'analyse et d'interprétation de ces images se fait selon 3 étapes : (i) l'extraction par le modèle d'un nombre associé aux différents formes de pixels ; (ii) le calcul des probabilités p (probabilité qu'une image de fond d'œil soit référenable/malade) et $p'=1-p$ (probabilité qu'une image de fond d'œil soit non référenable/non malade) ; (iii) et la comparaison de la probabilité p à un seuil s donné (qui peut être choisi par l'utilisateur). Si la probabilité p est supérieure au seuil s donné alors le modèle prédit que l'image correspond à une personne référenable (malade), si non le modèle prédit que l'image correspond à une personne non référenable (non malade). Par ailleurs, ce seuil permet d'ajuster la sensibilité et la spécificité du logiciel. Par exemple, si on augmente s alors le nombre d'images classées comme référenable diminue. En d'autres termes, la sensibilité du modèle diminue et la spécificité augmente.

Dans cette étude, la valeur p a été calculée pour chacun des yeux à partir de l'image de fond d'œil correspondante. La valeur $s=0,99$ a été considérée comme seuil pour l'analyse. La valeur p la plus élevée des 2 yeux était comparée à la valeur du seuil. Dans le cas où cette valeur p la plus élevée était supérieure à ce seuil, alors le patient était considéré comme référenable (malade). L'état référenable correspond aux grades 2, 3 et 4 de la classification de l'ALFEDIAM pour le dépistage de la RD par rétinophotographie. Dans le cas contraire (valeur p la plus élevée inférieure à la valeur du seuil), le patient était considéré comme non référenable (non malade), ce qui correspondait aux grades 0 et 1 de la même classification.

Par ailleurs, le logiciel fournissait également des informations sur la latéralité de l'image (œil droit ou œil gauche) et sur la qualité de l'image (image interprétable ou ininterprétable).

Critères de jugement

Les critères de jugement considérés dans cette étude étaient les suivants :

- (i) Le degré d'accord (mesuré par le coefficient Kappa de Cohen) [15] entre l'ophtalmologue et le rétinologue d'une part, le logiciel d'aide à la décision et le rétinologue d'autre part.
- (ii) Les indices de validité [16] du logiciel d'aide à la décision par rapport aux conclusions du rétinologue, à savoir : la sensibilité, la spécificité, la valeur prédictive positive, la valeur prédictive négative, les rapports de vraisemblance positif et négatif et la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) [17].

Collecte des données et analyses statistiques

La collecte des données s'est faite à l'aide d'un questionnaire papier administré, lequel a permis de collecter les données sociodémographiques, les facteurs de risque associés aux RD ainsi que le profil clinique des patients (grades de la RD et conclusions) au travers de l'analyse et de l'interprétation du fond d'œil par le rétinologue, l'ophtalmologue et le logiciel d'aide à la décision. Ces données ont été numérisées (double saisie) à l'aide du logiciel Epi Data v3.1 et analysées grâce au logiciel IBM-SPSS v.22 pour Windows. Le coefficient Kappa de Cohen (pour mesurer le degré d'accord) et les indices de validité du logiciel d'aide à la décision ont été calculés et permis d'évaluer les différents critères de jugement.

Considérations éthiques

L'étude a obtenu une clairance éthique délivrée par le Comité Régional d'Ethique de la Recherche pour la Santé Humaine du Centre (Cameroun).

RESULTATS

Caractéristiques des participants

Au total, 269 patients diabétiques (538 yeux, soit 538 images) ont été inclus dans cette étude, parmi lesquels 116 (43,1%) hommes et 153 (56,9%) femmes pour un sex ratio (F/H) de 1,31. L'âge moyen était de $53,5 \pm 14,7$ ans (extrêmes : 8 - 79 ans). La majorité (90,7%) des participants avaient un diabète de type 2. La durée moyenne (ancienneté) du diabète était de $6,7 \pm 6,2$ ans (extrêmes : 1an - 35 ans). Toutefois, la quasi-totalité (96,7%) des participants était sous traitement (insuline [n=110], antidiabétiques oraux [n=136] ou mesures hygiéno-diététiques [n=14]). Par ailleurs, 119 (44,2%) participants avaient une hypertension artérielle associée.

Profil clinique de la RD : stades et conclusions de l'expert

Selon le rétinologue (tableau 1), 236 (87,7%) participants étaient non référenables (non malades) et 33 (12,3%) référenables (malades).

Tableau 1 : Stades et conclusions de l'expert

	n=269	%
Stades de la RD (expert)		
Absence de RD (Grade 0)	218	81,0
RD non proliférante minime (Grade 1)	18	6,7
RD non proliférante modérée (Grade 2)	0	0
RD non proliférante sévère (Grade 3)	1	0,4
RD proliférante (Grade 4)	32	11,9
Conclusions de l'expert		
Non référenable (Grade 0 ou 1)	236	87,7
Référenable (Grade 2, 3 ou 4)	33	12,3

Stades et conclusions de l'ophtalmologue et du logiciel d'aide à la décision

Les stades et les conclusions de l'ophtalmologue ainsi que les conclusions du logiciel sont contenus respectivement dans les tableaux 2 et 3 ci-dessous.

Tableau 2 : Stades et conclusions de l'ophtalmologue

	n=269	%
Stades de la RD (Ophtalmologue)		
Absence de RD (Grade 0)	211	78,4
RD non proliférante minime (Grade 1)	10	3,7
RD non proliférante modérée (Grade 2)	4	1,5
RD non proliférante sévère (Grade 3)	7	2,6
RD proliférante (Grade 4)	37	13,8
Conclusions de l'ophtalmologue		
Non référent (Grade 0 ou 1)	221	82,2
Référént (Grade 2, 3 ou 4)	48	17,8

Tableau 3 : Conclusions du logiciel d'aide à la décision (DUV)

	n=269	%
Conclusions du logiciel DUV		
Non référent (Grade 0 ou 1)	90	66,5
Référént (Grade 2, 3 ou 4)	179	33,5

Degré d'accord entre les différentes conclusions

Le degré d'accord entre les conclusions de l'ophtalmologue et celles du rétinologue (expert) était satisfaisant ($K=0,73$) tandis qu'il était très faible ($K=0,04$) entre les conclusions du logiciel DUV et celles du rétinologue (tableau 4).

Tableau 4 : Degré d'accord (Kappa) entre les conclusions de l'ophtalmologue et le logiciel d'aide à la décision (DUV) versus celles de l'expert

	Kappa	P
Ophtalmologue Vs Expert	0,73	$p<0,001$
Logiciel Vs Expert	0,04	$p<0,001$

Indices de validité du logiciel d'aide à la décision

En tenant compte des valeurs de référence (conclusions du rétinologue), le tableau 5 illustre les indices de validité du logiciel d'aide à la décision en tant que test pour le dépistage de la RD.

Tableau 5 : Indices de validité du logiciel d'aide à la décision (DUV)

Sensibilité (Se)	97,0%
Spécificité (Sp)	37,7%
Valeur Prédictive Positive (VPP)	17,9%
Valeur Prédictive Négative (VPN)	98,9%
Rapport de vraisemblance+ (LR+)	1.6
Rapport de vraisemblance- (LR-)	0.1

La représentation de la courbe ROC associée au logiciel d'aide à la décision dans le diagnostic de la RD a permis de retrouver une aire sous la courbe égale à 0,673 (Intervalle de Confiance à 95% : 0,594 – 0,753).

DISCUSSION

La RD est une pathologie dont la prévalence varie selon les études et les pays. Dans cette étude, parmi les 269 patients inclus et en tenant compte des conclusions établies par le rétinologue, nous avons retrouvé une

fréquence de la RD de 12,3 %. Ce résultat est proche de celui retrouvé par Dohvoma et al (13,4%) en 2016 au Cameroun dans sa série de 82 sujets diabétiques recrutés au cours d'un dépistage volontaire [18]. Abramoff et al, avaient trouvés une prévalence de 21,7% en 2013 [19]. Par ailleurs Koki et al en 2010 au Cameroun, avaient retrouvé une fréquence de 42% dans une étude basée sur l'angiographie [4]. Abdellaoui et al, avaient retrouvé une prévalence de 44,6% au Maroc en 2016 lors d'un dépistage de la RD à l'aide de photographies rétiniennes effectuées à partir d'un rétinographe non mydriatique [20].

Pour dépister précocement la survenue de la RD, il est recommandé la réalisation d'un fond d'œil annuel chez les patients diabétiques par un ophtalmologue [6, 21-23]. Compte tenu des difficultés qu'il y a à appliquer cette recommandation dans un pays en développement comme le Cameroun (problèmes d'accès aux soins, manque de personnel qualifié et d'équipement adapté) [7], un logiciel d'aide à la décision serait d'une aide intéressante pour combler ce vide. Une bonne validité de ce dispositif améliorerait l'accès aux soins, le dépistage de la RD et la référence des malades vers les centres de soins spécialisés, surtout pour les populations situées en zones périphériques où il manque cruellement de ressources.

En considérant les conclusions du rétinologue, l'évaluation des indices de validité de ce logiciel montre des chiffres qui ont une tendance similaire à ceux d'Abramoff et al en 2013, qui utilisant un logiciel d'aide à la décision (Iowa Detection Program) pour le diagnostic de la RD avaient retrouvé une $Se=0,968\%$, une $Sp=0,594\%$, une $VPP=39,8\%$ et une $VPN=98,5\%$ dans une population caucasienne [19]. Par ailleurs, une étude réalisée en 2016 par Colas et al basée sur l'analyse de 10 000 images de fond d'œil issues de 5 000 patients (base de données Kaggle) et utilisant le même logiciel DUV, avait retrouvé une sensibilité de 96,2% et une spécificité de 66,6% [9].

Compte tenu des limites des indices tels que la sensibilité, la spécificité, les valeurs prédictives positives et négatives à refléter correctement la capacité d'un test à distinguer les malades des non malades [17], nous avons représenté la courbe ROC associée aux performances du logiciel DUV dans le dépistage de la RD au sein de notre population d'étude. Dans celle-ci, l'aire sous la courbe était de 0,673 (Intervalle de Confiance à 95% : 0,594 – 0,753). Ce résultat signifie qu'il y a 67,3% de chances que le logiciel DUV donne un diagnostic référent chez un sujet malade par rapport à un sujet sain. Cette performance est faible car elle se rapproche de 50% (c'est-à-dire d'1 chance sur 2), l'idéal étant 100% [17]. Abramoff et al. avaient retrouvé une aire sous la courbe de 0,937 (IC 95%, 0,916-0,959) [19] et Colas et al, une aire sous la courbe de 0,946 [9].

Les différences observées entre ces résultats et les nôtres, notamment en ce qui concerne la spécificité et l'aire sous la courbe, pourraient être expliqués par plusieurs aspects. Il s'agit premièrement de la qualité des images rétiniennes. Les paramètres tels que la couleur, la mise au point, le contraste et l'éclairage sont des caractéristiques importantes qui permettent d'apprécier la

qualité d'une image à des fins diagnostiques [24]. Dans le cadre de cette étude, il est possible que les images de fond d'œil n'aient pas toujours satisfait ces critères de qualité notamment en ce qui concerne l'éclairage (luminosité) qui variait en fonction des différents environnements (3 sites d'étude) de travail. Un mauvais éclairage tendra à rendre les images de fonds d'œil plus sombres et sujettes à des artefacts qui peuvent entraver leur analyse par le logiciel. En conséquence, on aura une augmentation du nombre de faux positifs entraînant une diminution de la spécificité et une mauvaise capacité à discriminer les patients malades des non malades.

Ensuite, il s'agit de la qualité du diagnostic de référence (gold standard). Dans cette étude, ce diagnostic de référence a été établi sur la base de l'avis d'un seul rétinologue. Une approche consensuelle basée sur l'avis de plusieurs rétinologues (2 ou 3) comme dans d'autres études [19] ou alors l'utilisation d'un gold standard pour notre contexte comme l'angiographie rétinienne à la fluorescéine [25], auraient amélioré la fiabilité et la validité de ce diagnostic de référence d'une part et la spécificité du logiciel d'aide à la décision à travers la diminution du nombre de faux positifs retrouvés d'autre part.

Enfin, il peut s'agir de l'existence de certaines pathologies (infections) sous-jacentes. Certaines infections négligées dans notre contexte peuvent impacter la rétine des sujets concernés et avoir une influence sur l'analyse du logiciel.

CONCLUSION

L'intérêt des logiciels d'aide à la décision pour le dépistage de la RD via l'analyse et l'interprétation automatique de photographies rétinienne dans notre contexte, est de plus en plus considérable. Cet intérêt est plus marqué dans les zones reculées où l'on observe un déficit en équipement et en ressources humaines qualifiées.

Au cours de cette étude, l'évaluation des indices de validité du logiciel d'aide à la décision DUV, montre des performances encore peu optimales pour le dépistage automatique de la RD dans notre contexte. En effet, si on considère les indices de validité intrinsèque, un bon test de dépistage doit offrir un bon compromis entre une sensibilité élevée (capacité à dépister le plus grand nombre de personnes suspectées) et une spécificité élevée (capacité à éviter des examens de confirmation inutiles chez des personnes saines).

L'amélioration des performances de ce logiciel tient sur deux grands piliers. Le premier porte sur l'amélioration progressive des performances intrinsèques du logiciel d'aide à la décision au travers de l'entraînement et l'ajustement progressif des paramètres de son algorithme. Ceci passe par la constitution d'une base de données ayant à disposition une quantité importante d'images rétinienne locales de qualité et de leur annotation par des rétinologues travaillant dans notre contexte. Le second pilier porte sur le choix du test de référence (gold standard) qui peut être basé, soit sur le consensus d'experts en rétinologie, soit sur l'utilisation d'un test comme l'angiographie rétinienne.

Limites de l'étude

La principale limite de cette étude concerne le choix du test de référence. Plutôt que d'avoir l'avis d'un seul rétinologue comme gold standard, l'idéal aurait été d'avoir un avis de référence basé, soit sur le consensus de plusieurs rétinologues, soit sur l'angiographie rétinienne.

REFERENCES

1. Organisation Mondiale de la Santé. Maladies oculaires prioritaires. <http://www.who.int/blindness/causes/priority/fr/index6.html>, Accessed 9 Dec 2019.
2. Organisation Mondiale de la Santé. Résolutions et décisions de la Soixante-deuxième Assemblée Mondiale de la Santé, Genève, 18-22 mai 2009. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/21686/WHA62_REC2-en.pdf?sequence=1&isAllowed=y, Accessed 9 Dec 2019.
3. Sidibe E.H. Rétinopathie diabétique à Dakar et revue de la littérature africaine. *Diab Metab.* 2000; 26 (4).
4. Koki G, Bella A.L, Ombwa E.A, Epee E, Sobngwi E, Kouanang K.A, et al. Rétinopathie diabétique du Noir africain: étude angiographique. *Cahiers Santé.* 2010; 20(3):127-132.
5. Erginay A, Gaudric A, Lecleire-Collet A, Massin P, Paques M, Coscas G. Rétinopathie Diabétique (Deuxième Édition). Elsevier Masson, 2010.
6. Massin P, Angioi-Duprez K, Bacin F, Cathelineau B, Cathelineau G, Chaine G, et al. Recommandations pour le dépistage et la surveillance de la rétinopathie diabétique. http://www.fmc-tourcoing.org/PROGRAMME_FMC/DIABETE_10_00/DIABETEFMI/alfediam-retine.html, Accessed 9 Dec 2019.
7. Noa Noatina B, Kagmeni G. Le PNLC du Cameroun et la nécessité de développer les soins oculaires primaires. *Revue de Santé Oculaire Communautaire.* 2010; 7(8).
8. Wong TY, Sabanayagam C. Strategies to Tackle the Global Burden of Diabetic Retinopathy: from Epidemiology to Artificial Intelligence. *Ophthalmologica.* 2019; 243(1):9-20.
9. Colas E, Besse A, Orgogozo A, Schmauch B, Meric N, Besse E. Deep learning approach for diabetic retinopathy screening. *Acta Ophthalmol.* 2016; 94.
10. DreamUp Vision. <http://www.incubateur-vision.org/anciens-incubes/dreamup-vision-40.html>, Accessed 9 Dec 2019.
11. Haute Autorité de Santé. Interprétation des photographies du fond d'œil, suite à une rétinographie avec ou sans mydriase. http://www.chu-rouen.fr/page/doc/DOC_32441, Accessed 9 Dec 2019.
12. Horus DEC200. <http://retinographe.net/>, Accessed 9 Dec 2019.
13. Bediang G, Perrin C, de Castañeda RR, Kamga Y, Sawadogo A, Bagayoko CO, et al. The RAFT telemedicine network: lessons learnt and perspectives from a decade of educational and clinical services in

low-and middle-incomes countries. *Frontiers in Public Health*. 2014; 2:180.

14. Leclaire-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): 674–687.

15. Santos F. Le Kappa de Cohen: un outil de mesure de l'accord inter-juges sur des variables qualitatives (2019). http://www.pacea.u-bordeaux.fr/IMG/pdf/Kappa_Cohen.pdf, Accessed 9 Dec 2019.

16. Delacour H, Servonnet A, Roche C. Critères d'évaluation de la validité d'un test biologique. *Rev Francoph Lab*. 2009; 2009 (412):41-8.

17. Delacour H, Servonnet A, Perrot A, Vigezzi JF, Ramirez JM. La courbe ROC (receiver operating characteristic): principes et principales applications en biologie clinique. *Ann Biol Clin*. 2005; 63 (2):145-154.

18. Dohvoma V, Ebana Mvogo S, Koki G, Epee E, Ebana Mvogo C. Prevalence of diabetic retinopathy following a hospital based screening of diabetic patients at the Yaoundé Central Hospital. 3rd Africa Diabetes Congress. Yaoundé, Cameroon; 2017.

19. Abramoff M.D, Folk J.C, Han D.P, Walker J.D, Williams D.F, Russell S.R, et al. Automated Analysis of Retinal Images for Detection of Referable Diabetic Retinopathy. *JAMA Ophthalmol*. 2013; 131(3): 351-7.

20. Abdellaoui M, Marrakchi M, Benatiya IA, Tahri H. Dépistage de la rétinopathie diabétique par un rétinographe non mydriatique dans la région de Fès. *J Fr Ophtalmol*. 2016; 39(1): 48-54.

21. Harding S, Greenwood R, Aldington S et al. Grading and disease management in national screening for

diabetic retinopathy in England and Wales. *Diabetic Medicine*. 2003 ; 20 (12), 965–971.

22. McGlynn E. A, Asch S. M, Adams J et al. The quality of health care delivered to adults in the United States. *The New England Journal of Medicine*. 2003; 348 (26): 2635–2645.

23. Lee P, Feldman Z, Ostermann J et al. Longitudinal rates of annual eye examinations of persons with diabetes and chronic eye diseases. *Ophthalmology*. 2003; 110 (10): 1952–1959.

24. Dias JMP, Oliveira CM, da Silva Cruz LA. Retinal image quality assessment using generic image quality indicators. *Inf Fusion*. 2014;19: 73–90.

25. L'angiographie rétinienne. https://www.hug-ge.ch/sites/interhug/files/documents/angiographie_retinienne.pdf, Accessed 9 Dec 2019.

Déclarations

Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

Contribution des auteurs

Georges Bediang a participé à la conception et à la conduite de l'étude ainsi qu'à la rédaction de l'article. Valère Abbou Panpom a participé à la collecte des données. Godefroy Koki a participé à la collecte des données et à la rédaction de l'article. Epée Emilienne a participé à la conception et à la rédaction de l'article. Tous les auteurs ont relu et accepté la version finale de l'article.

Remerciements

Nos remerciements s'adressent au Réseau en Afrique Francophone pour la Télémédecine qui a octroyé un rétinographe portatif et à toute l'équipe Dream Up Vision qui a mis à disposition le logiciel d'aide à la décision, tous utilisés dans cette étude.