

AIDE AU DIAGNOSTIC DES PATHOLOGIES RETINIENNES PAR TRAITEMENT NUMERIQUE D'IMAGES

T.KONE, P.BUNEL, G.MIMOUN, L.KONATE

MOTS CLES : TRAITEMENT NUMERIQUE D'IMAGES,
ANGIOGRAPHIE RETINIENNE

RESUME :

Aujourd'hui l'imagerie médicale est, grâce à l'apparition d'ordinateurs de plus en plus performants, l'un des champs d'application privilégiés des techniques de l'analyse numérique d'images. Dans cet article nous nous intéressons en particulier à l'imagerie rétinienne. En effet, avec l'avènement des systèmes d'angiographie rétinienne numérisée, il est possible d'analyser de manière automatique les images du fond d'œil. Les outils d'amélioration et de segmentation d'images sont applicables aux images angiographiques rétiniennes.

Deux pathologies qui sont les premières causes de cécité légale dans les pays industrialisés ont retenu notre attention. Il s'agit de la rétinopathie diabétique et de la dégénérescence maculaire liée à l'âge. Pour le diagnostic de ces deux pathologies nous avons mis en place différents algorithmes d'analyse d'images. Ces algorithmes portent sur l'extraction automatique de structures anatomiques et pathologiques, sur le recalage automatique d'images et la reconstruction semi-automatique de la carte rétinienne. L'implantation de ces algorithmes sur un système d'angiographie rétinienne numérisée permet une meilleure analyse clinique des pathologies rétiniennes.

AIDE AU DIAGNOSTIC DES PATHOLOGIES RETINIENNES PAR TRAITEMENT NUMERIQUE D'IMAGES

T.KONE **, P.BUNEL*, G.MIMOUN*, L.KONATE°
° IRMA 08 BP 2030 Abidjan 08 / COTE D'IVOIRE
* LERISS-Université Paris XII 94010 Créteil / FRANCE

I INTRODUCTION

L'œil humain, organe de la vue, présente plusieurs pathologies provoquant des troubles de la vision. Parmi ces pathologies nous pouvons citer en particulier la rétinopathie diabétique et la dégénérescence maculaire liée à l'âge. Ces deux pathologies sont respectivement les premières causes de cécité légale chez les moins de 50 ans et chez les plus de 50 ans, dans les pays industrialisés [1, 2]. L'examen d'angiographie rétinienne en fluorescence est l'examen clé pour le diagnostic de ces pathologies. C'est un examen clinique qui permet par le biais d'un rétinographe couplé à une caméra vidéo d'obtenir une série d'images de la rétine. Les images obtenues présentent généralement, les unes par rapport aux autres, des différences géométriques et photométriques. L'œil du patient peut bouger pendant l'examen et entraîner des déplacements et des déformations géométriques entre les images. Il existe une différence photométrique importante entre les images réalisées avant et après l'injection de la solution de fluorescéine par une veine du patient. Les structures anatomiques sont visibles sur les images obtenues avant injection de la solution de fluorescéine, tandis que les structures pathologiques apparaissent sur les images obtenues après injection de la solution de fluorescéine.

On distingue plusieurs étapes dans l'analyse d'une image (figure 1). La première étape est relative à l'acquisition et à la numérisation de l'image à analyser. En général, une image numérisée est représentée par une matrice bidimensionnelle dont chaque élément (appelé pixel) possède une valeur numérique correspondant à sa luminosité ou à son niveau de gris. La phase d'acquisition est suivie d'une phase de prétraitement qui permet d'améliorer l'image en éliminant le bruit et les défauts d'éclairage. La phase de segmentation ou d'extraction d'attribut consiste à détecter les contours, les régions de l'image. La phase d'interprétation permet de comprendre l'image en identifiant les différents objets dont elle est composée.

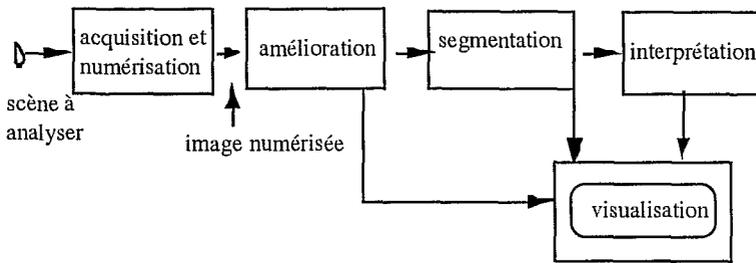


Figure 1 : étapes d'une analyse d'images.

Les techniques d'analyse d'images sont nombreuses et leur utilisation dépend du but recherché [5]. Nous présentons dans cet article une méthode automatique d'extraction de paramètres géométriques et de mise en correspondance d'images. Cette méthode est adaptée à la nature spécifique des images angiographiques rétiniennes et permet un diagnostic aisé des pathologies comme le rétinopathie diabétique et la dégénérescence maculaire liée à l'âge.

II MATERIEL

Le système d'angiographie rétinienne numérisée utilisé est basé sur un ordinateur couplé à une carte d'imagerie (figure 2). Cette carte permet la numérisation, au format 512x512 pixels, de l'image vidéo du fond d'œil provenant du rétinographe ou d'un banc de numérisation de négatifs. L'ordinateur pilote la carte d'imagerie et effectue les opérations de traitement d'images.

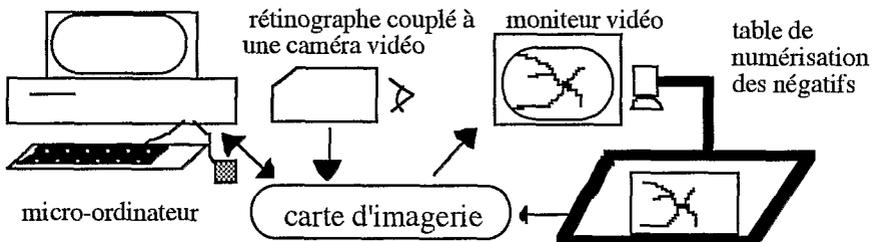


Figure 2 : système d'angiographie rétinienne numérisée

III DEGENERESCENCE MACULAIRE LIEE A L'AGE.

La dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) est la première cause de cécité légale, dans les pays industrialisés, chez les personnes de plus de 50 ans [1]. La principale cause de baisse de la vision au cours de la DMLA est l'apparition, dans la région maculaire, de néovaisseaux sous rétiniens (NVSR). La photocoagulation au laser est le seul traitement actuellement démontré efficace des NVSR [3]. Cette photocoagulation consiste à détruire les NVSR en respectant la zone centrale de la macula responsable de plus de 90% de la vision [1] et contenant un pigment xanthophylle (PX) caractéristique. La zone du PX est visible sur les clichés obtenus en lumière bleu avant injection de la solution de fluorescéine, tandis que la zone des NVSR apparaît sur les clichés obtenus à un temps précoce après injection de la solution de fluorescéine. Pour pouvoir localiser les NVSR à détruire par rapport au PX à conserver, un recalage d'images est indispensable. Nous avons mis en place un algorithme permettant :

- une extraction automatique des zones du PX et des NVSR.
- un recalage automatique entre l'image contenant la zone du PX et l'image contenant la zone des NVSR.

Cet algorithme permet de manière automatique de faire un diagnostic et un pronostic en fonction de la position du NVSR par rapport au PX.

III.1 DETECTION AUTOMATIQUE DU PIGMENT XANTHOPYLLE ET DES NEOVAISSEAUX SOUS RETINIENS MACULAIRES.

L'algorithme de détection des structures anatomiques et pathologiques est basé sur l'information d'homogénéité de luminance sur les structures à détecter. L'histogramme des niveaux de gris de zones extraites de l'image (figure 3) montre un décalage des valeurs de luminance des pics entre les différentes zones. Un seuillage globale pourrait être envisagé, mais le principe physique de formation des images ne le permet pas. En effet, l'éclairement du fond d'œil est non homogène à cause de sa forme concave. Nous avons mis au point une méthode de détection adaptée (figure). Les étapes de cette méthode sont les suivantes :
1/ une fenêtre de convolution est appliquée à l'image pour la recherche de points précurseurs. Une moyenne locale maximale définit un point précurseur pour le NVSR (tache blanche) et une moyenne locale minimale définit un point précurseur pour le PX (tache noire).

2/ la variance de luminance est utilisée pour définir le seuil (s)
d'appartenance des autres points à regrouper autour du point précurseur.

$$s = \text{moy} \pm \alpha \sigma$$

$$\text{avec moy} = \frac{1}{N} \sum X_i \text{ et } \sigma^2 = \frac{1}{N} \sum (X_i - \text{moy})^2$$

α est un coefficient déterminé pratiquement ($1 \leq \alpha \leq 3$)

3/ le regroupement des pixels autour du point précurseur se déroule selon les critères suivants :

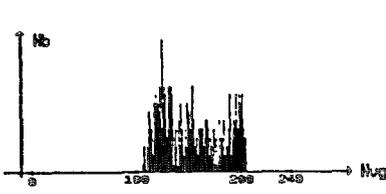
Pour le NVSR

- niveau de gris supérieur au seuil s
- voisin avec un pixel déjà repéré comme pixel du NVSR.

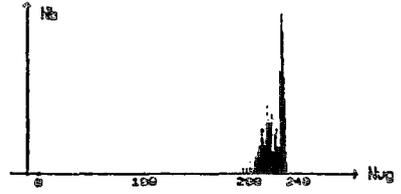
Pour le PX

- niveau de gris inférieur au seuil s
- voisin d'un pixel déjà repéré comme pixel du PX.

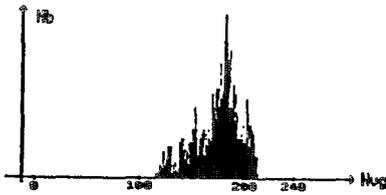
Après la détermination de la région d'intérêt les paramètres géométriques peuvent être déduits (surface, périmètre, centre de gravité,...).



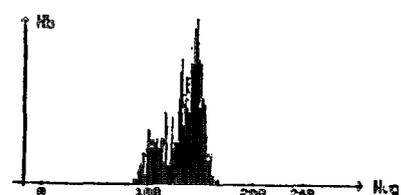
Réseau vasculaire



zone des NVSR maculaires



zone du pigment xanthophylle



Fond de l'image

Figure 3 : histogramme des niveaux de gris.

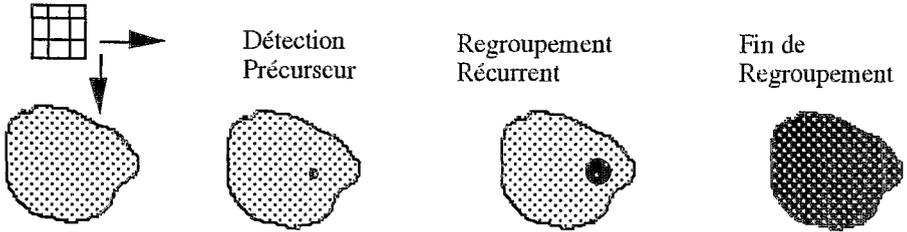
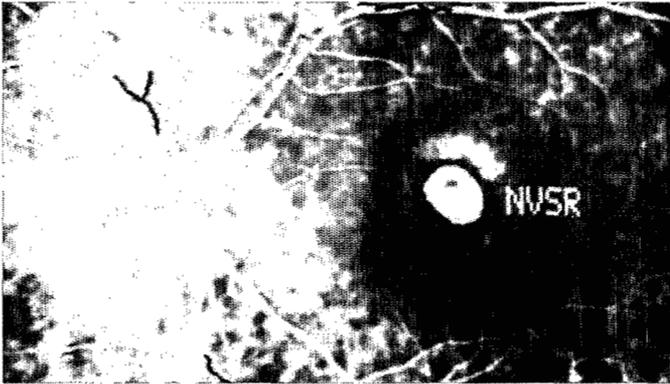


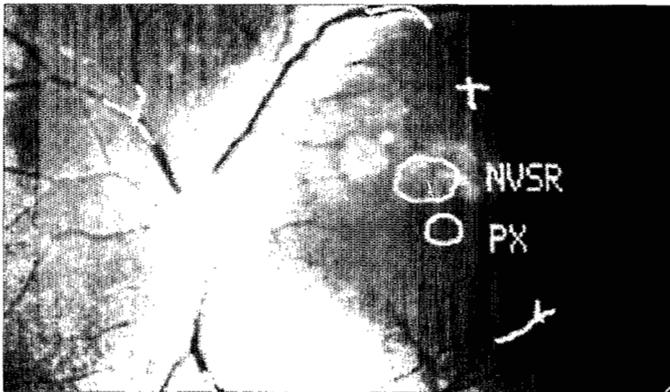
Figure 4 : évolution de la détection

III.2 RECALAGE AUTOMATIQUE D'IMAGES

Après l'extraction du PX et des NVSR le recalage automatique des images permet de connaître la position des NVSR par rapport au PX (figure 5). La méthode de recalage automatique est présentée de manière complète dans [4]. C'est une méthode géométrique et itérative qui consiste à détecter et à appairer les points de bifurcation des structures vasculaires des images à recaler. Les points de bifurcation détectés sont appariés par la mise en correspondance de polygones semblables dont ils sont les sommets. Les couples de points de bifurcation appariés servent à définir la transformation de recalage entre les images. La méthode de recalage automatique est applicable même lorsqu'il existe entre les images des déformations périphériques et une variation du facteur d'échelle.



(a)



(b)

Figure 5 : détermination de la position des NVSR maculaires par rapport au PX par recalage. (a) : détection des NVSR (b) : détection du PX et recalage des NVSR par la mise en correspondance des vaisseaux.

IV LA RETINOPATHIE DIABETIQUE

La rétinopathie diabétique est une complication grave du diabète. Absente dans les cas de diabète de moins de cinq ans, la rétinopathie diabétique est présente dans 71% des cas de diabète de plus de dix ans [2]. La rétinopathie diabétique se traite à l'aide de la photocoagulation au laser des plages d'ischémie issues d'une micro-occlusion des capillaires, par des impacts de laser juxtaposés mais non jointifs.

L'angle d'ouverture des objectifs des rétinographes (45° à 60°) ne permet pas d'avoir une vue complète de la rétine. Avant la photocoagulation des plages d'ischémie, une carte rétinienne est reconstituée manuellement par collage de plusieurs images photographiques (images prises suivant différentes directions du regard). En ramenant le problème du montage des différentes images à un problème de recalage, la carte rétinienne est reconstituable de manière semi-automatique (figure 6). Le très faible recouvrement entre les images ne permet pas une détection automatique de points appariés. L'opérateur communique donc au programme 3 couples de points appariés nécessaires à la formation du polygone le plus simple (le triangle).

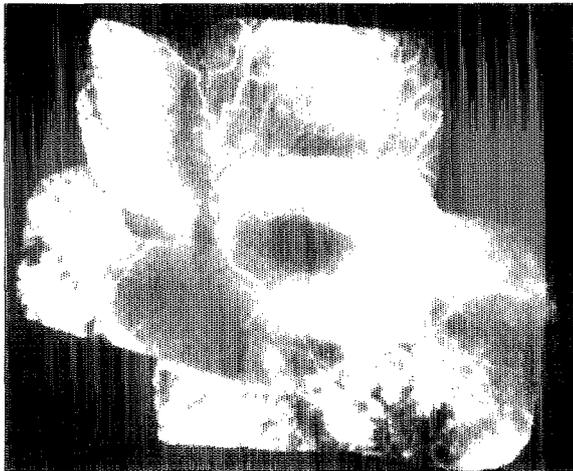


Figure 6 : exemple de reconstitution de la carte rétinienne.

V RESULTATS

Nous avons réalisé un test de recalage avec les images de 50 patients. Sur toutes les images testées l'arbre vasculaire était visible. Le tableau 1 résume les possibilités de recalage et de détection des structures sur les 50 paires d'images utilisées.

TYPE D'ANALYSE	TAUX DE REUSSITE	CAUSE D'ECHEC
Détection du PX	95%	contour faiblement contrasté
Détection des NVSR	100%	
RECALAGE (taux de recalage >90%)	95%	peu de points de bifurcation détectés sur les images

Tableau 1 : possibilités de recalage et de détection des structures.

Avec un micro-ordinateur Compaq 386-20 MHz, nous obtenons un temps de détection moyen de 15 secondes et un temps de recalage moyen de 90 secondes. La reconstitution de la carte rétinienne prend environ 3 minutes contre 15 minutes en mode manuel.

VI CONCLUSION

L'avènement des systèmes d'angiographie numérisée du fond d'œil a permis, d'une part, d'avoir accès immédiatement aux images de la rétine pendant l'examen, et, d'autre part, de faire de l'imagerie rétinienne un domaine privilégié du traitement numérique d'images. Nous avons développé une méthode de détection automatique des structures pathologiques et anatomiques dans le cas du diagnostic de la dégénérescence maculaire liée à l'âge. Nous avons également développé une méthode de reconstitution de la carte rétinienne utile pour le diagnostic de la rétinopathie diabétique. Cet travail fait suite à une étude menée sur le recalage automatique des images d'angiographie rétinienne.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] COSCAS.G "Dégénérescences maculaires acquises liées à l'âge et néovaisseaux sous-rétiens". Edition Masson, Paris 1991.
- [2] FRANK.R.N, HOFFMAN.W.H, PODGOR.M.J "Retinopathy in juvenile-onset diabetes of short duration". Ophthalmol, 1980, 87, 1-9.
- [3] COSCAS.G, SOUBRANE.G "Photocoagulation des néovaisseaux sous-rétiens dans la dégénérescence maculaire sénile par laser à argon : résultat de l'étude randomisée de 60 cas". Fr optalmol 1982, 88 : 102-6.
- [4] T.KONE, P.BUNEL, G.MIMOUN, G.COSCAS "Automatisation complète du recalage des images angiographiques rétiennes par

traitement numérique d'image". Actes Colloque sur la recherche en informatique en Afrique, Yaoundé 1992.

[5] M.COSTER, J.L.CHERMANT "Précis d'analyse d'images". Editions CNRS, 1985.