

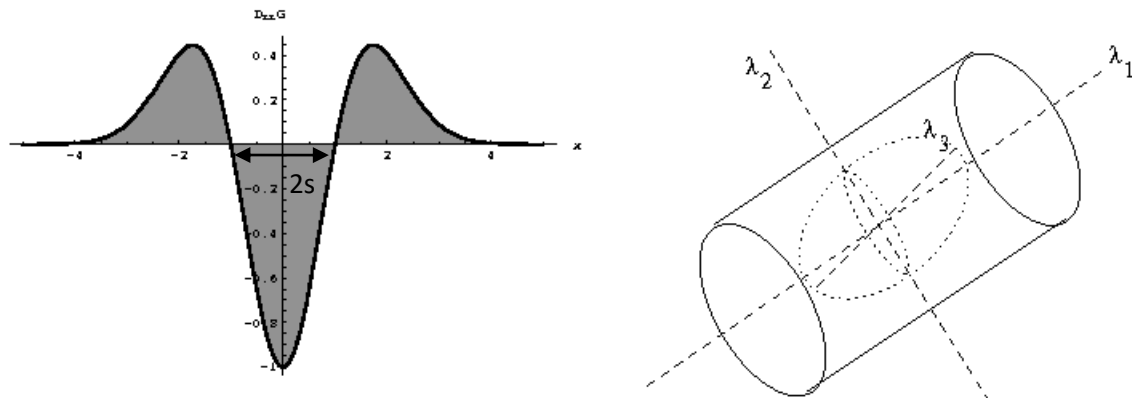
3 Segmentation de vaisseau du fond de l'œil

3.2 Segmentation de vaisseaux par méthode conventionnelle

1)

Le filtre de Frangi est une méthode multi-échelles qui cherche à détecter des vaisseaux sanguins. Pour se faire, l'algorithme va chercher des structures 'tubulaires' c'est-à-dire des formes longues et fines ressemblant à des vaisseaux.

En pratique, l'algorithme va calculer le gradient et la hessienne de l'image en un point donné. Pour se faire on effectue la convolution avec une fonction gaussienne. Les vaisseaux recherchés pouvant avoir des tailles différentes, il a été jugé pertinent d'utiliser une approche multi-échelles. On va donc faire varier la taille de l'écart type de cette fonction gaussienne sigma (le paramètre s).



Etant donné que les vaisseaux sont soit sombre sur fond clair, soit clair sur fond sombre, la fonction gaussienne va mesurer le contraste local. Plus le paramètre s est grand et plus la courbe va être large, plus on va détecter des vaisseaux épais. Ci-dessus à gauche on peut observer la courbe d'une dérivée seconde de fonction gaussienne. Dans l'idéal, on souhaiterait faire prendre plusieurs valeurs à s de manière à détecter toutes les tailles de vaisseaux. Néanmoins on veillera à ne pas fixer ce paramètre trop faible de manière à ne pas retenir tout le bruit présent dans le fond de l'image.

Le calcul des dérivées secondes à travers la hessienne va également permettre d'extraire les valeurs propres de cette matrice. Chacune de ces valeurs propres correspond à une direction dans l'espace. Pour chaque point de l'image où est calculé la hessienne on obtient ainsi une structure en forme d'ellipse dont les axes sont alignés avec les directions spécifiées par les valeurs propres (figure ci-dessus à droite). L'obtention des valeurs propres issues du calcul de la hessienne va permettre une interprétation géométrique de structures obtenues.

Dans le cas 2d on obtiendra seulement deux valeurs propres λ_1 et λ_2 . Dans l'idéal on souhaiterait que λ_1 soit petit et λ_2 grand de manière à avoir une structure en forme d'ellipse, fine et allongée. Dans notre cas, puisqu'on cherche des vaisseaux sombres sur fond plus clair, on souhaiterait également que λ_2 soit positif. En effet le signe de λ_2 détermine la couleur des vaisseaux recherchés (sombre ou clair).

Dans le cas des images 2D, l'algorithme repose sur une fonction qui indique la probabilité d'avoir trouvé une structure de forme 'tubulaire' ressemblant à un vaisseau.

$$V_o(s) = \begin{cases} 0 & \text{if } \lambda_2 > 0, \\ \exp\left(-\frac{\mathcal{R}_s^2}{2\beta^2}\right)(1 - \exp\left(-\frac{s^2}{2c^2}\right)) & \end{cases}$$

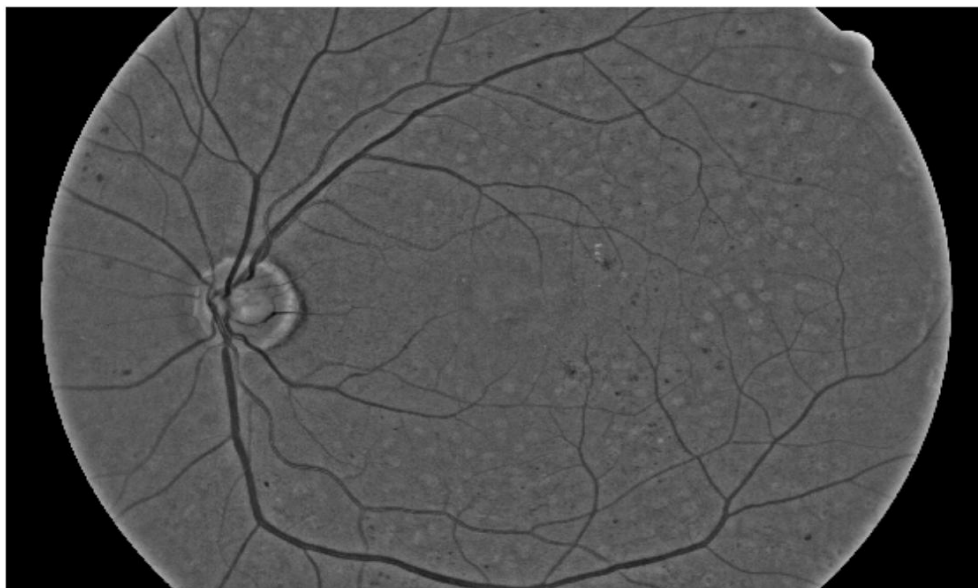
Il est à noter que cette fonction correspond à la recherche de vaisseaux clairs sur fond sombre, d'où le fait que si λ_2 est supérieur à zéro alors la probabilité d'avoir trouvé un vaisseau est nulle. Dans notre cas, comme les vaisseaux sont sombres sur fond plus clair, c'est seulement si λ_2 est de signe négatif que la réponse de la fonction sera zéro.

$\mathcal{R}_\beta (\lambda_1/ \lambda_2)$ mesure l'excentricité de l'ellipse. Cette valeur sera maximale quand la structure sera un 'blob' de forme circulaire donc une structure ne ressemblant pas à un vaisseau. Le paramètre β correspond à l'argument 'FrangiBetaOne' dans le code et contrôle donc la sensibilité à la détection de structures en forme de 'blobs'. Le paramètre c correspond à l'argument 'FrangiBetaTwo' dans le code et contrôle la sensibilité à la détection de structures pour une échelle donnée S .

2)

Pour améliorer l'efficacité du filtre de Frangi, et en vue des questions suivantes qui demandent de segmenter les vaisseaux, on va procéder à une étape préalable : On va essayer d'éliminer les basses fréquences de l'image, c'est-à-dire que l'on va appliquer un filtre passe-haut sur l'image. De cette manière les vaisseaux seront plus contrastés et plus nettes ce qui permettra à l'algorithme de Frangi de mieux repérer les plus petits vaisseaux. Ce filtre passe haut est implémenté en soustrayant à l'image de l'œil en niveau de gris cette même image à laquelle on aura appliqué au préalable un filtre gaussien. Le filtre gaussien agit comme un filtre passe-bas qui va éliminer les détails de l'image présents dans les hautes fréquences. L'image va donc devenir floue.

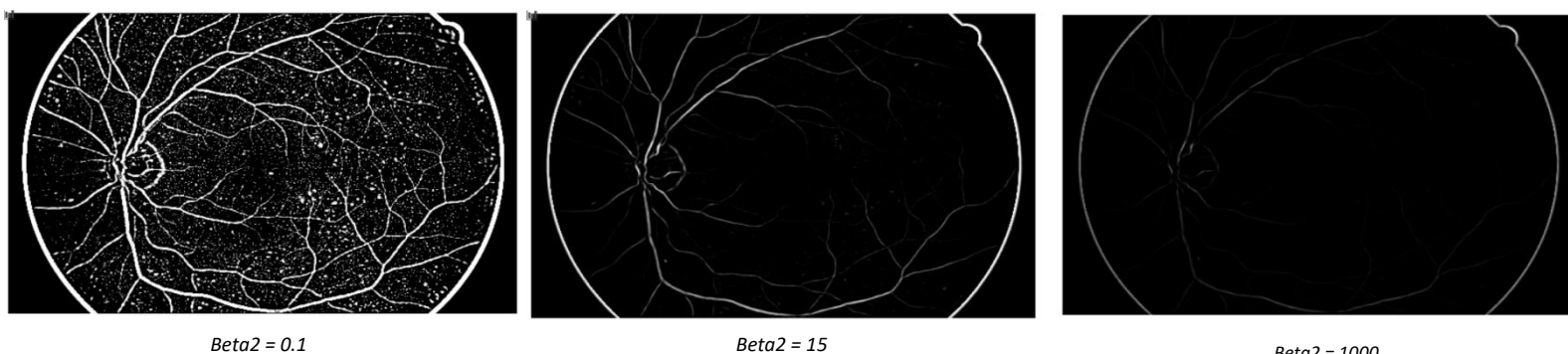
$$\text{Sharpen image} = \text{grayscale image} - \text{blurred grayscale image}$$



Le fait d'appliquer un filtre passe-haut sur l'image va avoir pour conséquence néfaste d'augmenter considérablement la quantité de bruit présent dans l'image. Cela s'explique par le fait que le bruit est principalement présent dans les hautes fréquences de l'image. Par conséquent, une importante quantité de bruit va également être détecté par l'algorithme de Frangi. Par la suite on devra traiter ce bruit au moment du seuillage.

Le paramètre sigma de l'algorithme de Frangi permet de spécifier la taille des structures que l'on souhaite repérer. Après plusieurs essais, on décide de faire varier la valeur de sigma entre 3 et 10 avec un pas de 1. En effet, on souhaite éviter d'avoir des sigmas trop faibles de manière à ne pas détecter trop de bruit. On s'arrête à 10 car cela semble suffisant pour détecter les plus gros vaisseaux.

Beta 2 contrôle la tolérance au bruit. Plus ce paramètre est élevé et moins le bruit sera détecté. En contrepartie, plus beta 2 est élevé et plus il sera difficile de détecter les structures. En pratique, en fixant ce paramètre à 0.1, valeur très faible, on détectait effectivement beaucoup de bruit. Avec une valeur de 1000, on avait plus de mal à discerner les vaisseaux. Il a donc été décidé de fixer ce paramètre à une valeur relativement faible de manière à détecter les plus petits vaisseaux. Après plusieurs essais, il a été décidé de fixer beta2 à 2.

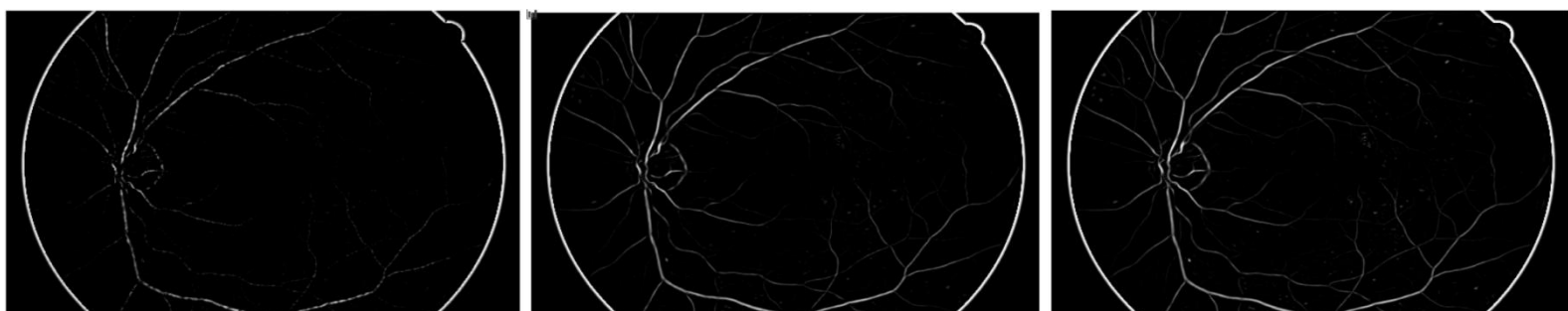


Beta2 = 0.1

Beta2 = 15

Beta2 = 1000

Le paramètre beta1 contrôle la sensibilité du détecteur aux formes qui ressemblent à des 'blobs'. Donc plus ce paramètre sera élevé et plus l'algorithme détectera des vaisseaux épais, en forme de disque. Notre but est ici de ne pas détecter ces blobs mais plutôt des structures 'tubulaires'. On remarque que dans l'image de droite ci-dessous, certains blobs (tâches) plus circulaires ont été détectés. Ceux-ci n'étaient pas présents avec un beta1 de 0.1 (gauche) ou un beta1 de 0.5 (milieu). Après plusieurs essais, il a été décidé de fixer beta1 à 20.

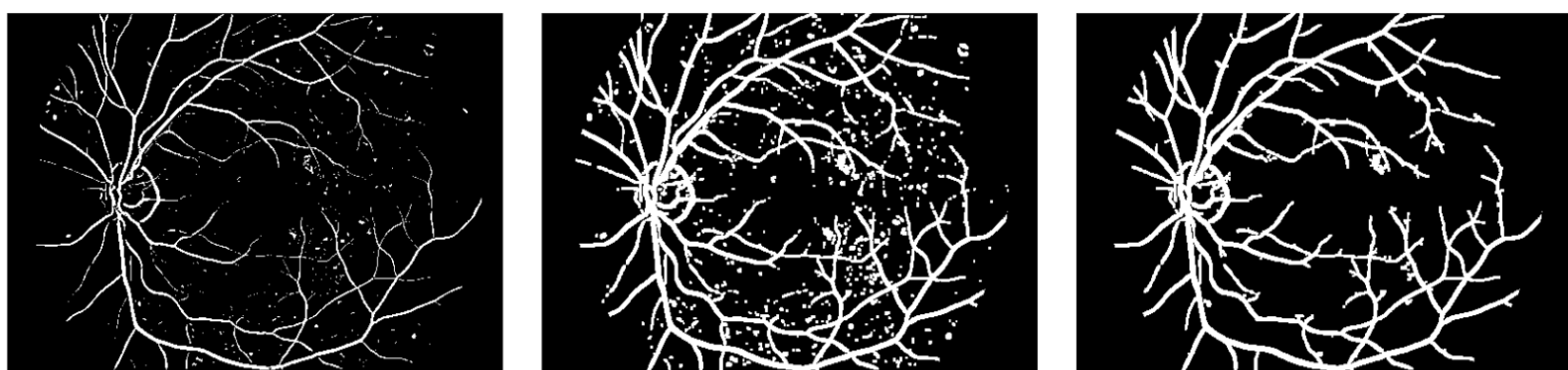


Beta1=0.1

Beta1 = 0.5

Beta1 = 100

3)



Thresholding > 235

Dilation 15 x 15 kernel

Small blobs removed

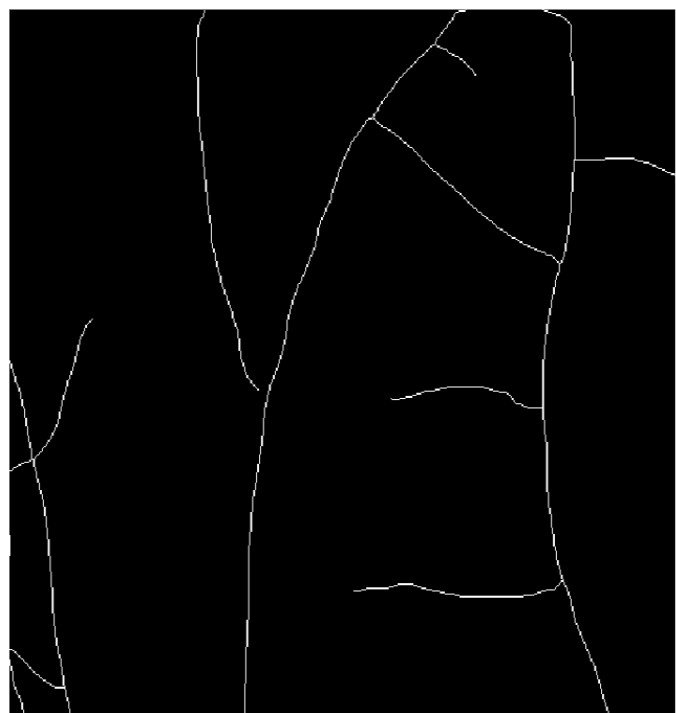
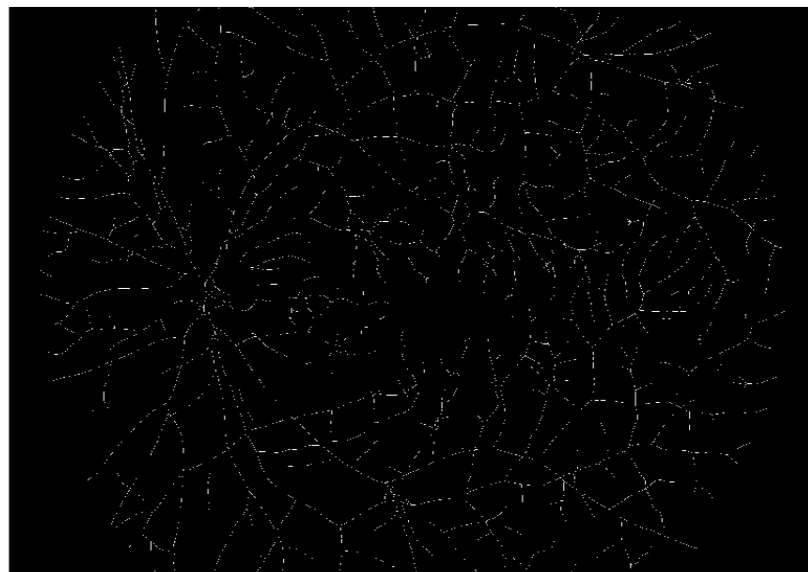
La méthode de seuillage utilisée consiste dans un premier temps à seuiller l'image de telle sorte que tous les pixels dont la valeur est supérieure à 235 prennent la valeur maximale. L'image que 'on obtient est représentée à gauche ci-dessus. Ensuite, la dilatation a pour but de reconstruire certaines branches qui sont morcelées. De cette manière les vaisseaux ne seront que d'un seul tenant. L'image obtenue est celle du milieu ci-dessus. Enfin, l'image de droite est obtenue en éliminant les blobs dont la taille en nombre de pixels est inférieure à un seuil (fixé à 7000 ici). On va donc ici, après avoir labéliser l'image, itérer sur les blobs et mesurer leur aire en nombre de pixels. On utilise l'algorithme flood_fill qui va, à partir d'une graine dans l'image, remplir tous les pixels voisins qui ont la même intensité avec la même valeur. Cette valeur est ici fixée à zéro pour signifier le fond de l'image. En pratique si le seuil que l'on choisit est trop élevé, on risque de supprimer des bouts de vaisseaux. A l'inverse, si le seuil est trop bas, on risque de laisser trop de blobs qui ne correspondent pas à des vaisseaux dans l'image.

On constate au final qu'il reste des blobs au bout des branches qui n'ont pas pu être enlevés. Ces derniers ressemblent à des bourgeons au bout des branches des arbres. L'étape de dilatation a eu pour conséquence de coller ces blobs aux vaisseaux ce qui empêche ensuite de les enlever dans l'étape finale. Néanmoins, si on avait utilisé un noyau de taille plus petite pour la dilation, on n'aurait pas pu reconstruire toutes les branches. Il y a donc un compromis à faire entre le nombre de branches obtenus et la quantité de 'bourgeons' présent au bout des vaisseaux. Par ailleurs la valeur choisie pour le seuillage est importante car elle influence la facilité de reconstruction des vaisseaux. Si ce seuil est trop élevé on risque d'avoir des vaisseaux trop morcelés, trop faible on risque de garder trop de bruit qui viendrait se coller avec les vaisseaux au moment de la dilation.

Enfin il est à noter que l'on a utilisé le masque présent dans les données de manière à éviter d'avoir des structures circulaires blanches sur le bord de l'œil. Pour se faire on a érodé le masque pour que la partie noire correspondant au bord de l'image (hors de l'œil) grossisse et recouvre cette frontière blanche qui s'était étendue vers l'intérieur de l'œil.

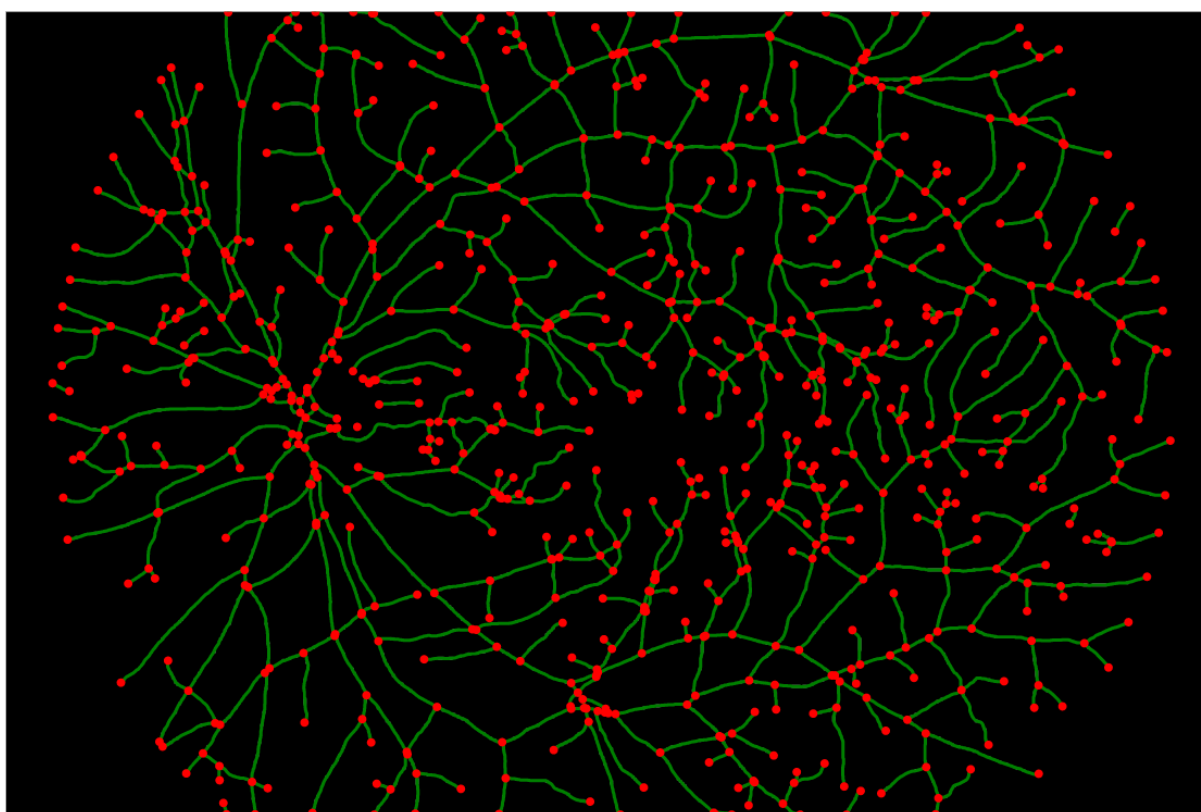
3.3 Segmentation de lignes centrales

1)



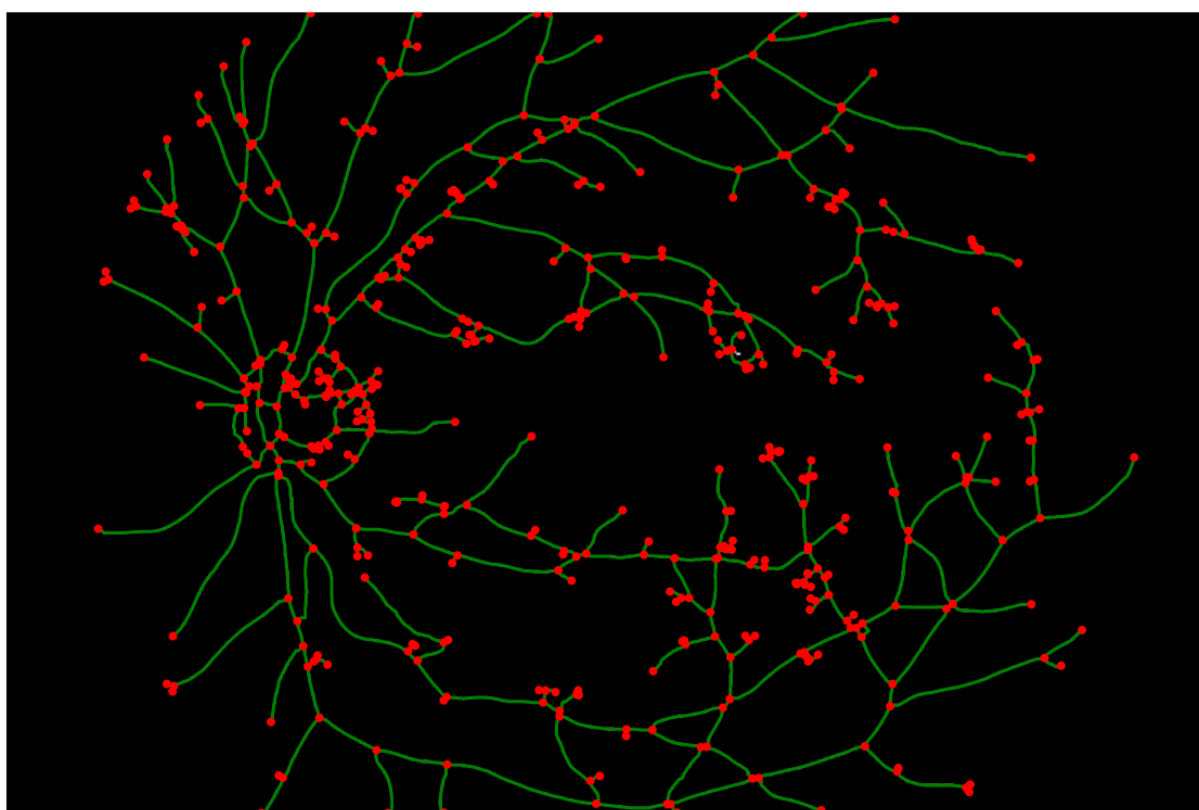
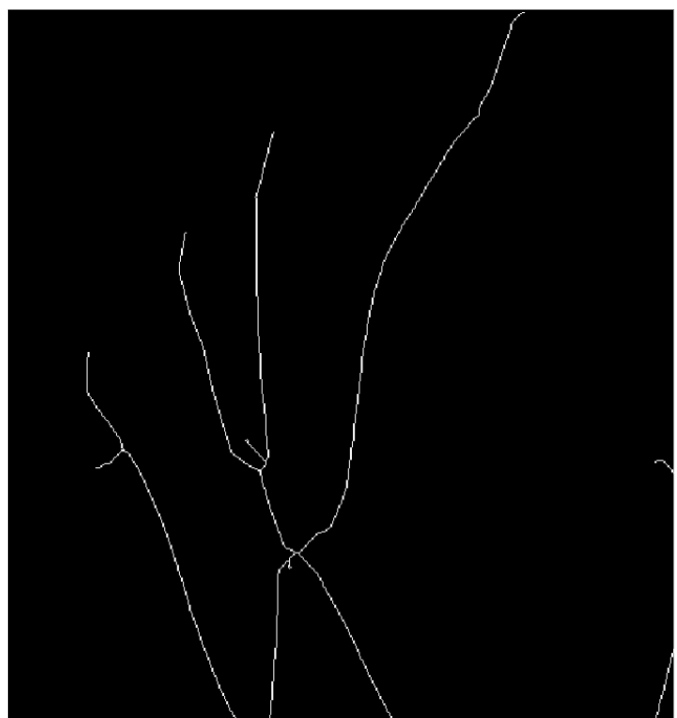
Comme l'image contient un nombre important de pixels, les lignes centrales semblent ici être cassées et représentées en pointillé. En zoomant sur une partie des vaisseaux, on constate en fait que les lignes sont bien pleines et non morcelées.

2)



On peut remarquer que chaque point rouge correspond à une bifurcation entre les vaisseaux et permettent de relier ces derniers représentés en vert dans le graph. On observe également des nœuds rouges au bout des vaisseaux.

3)



On constate que certains nœuds rouges sont agglomérés ensemble et forment un groupe où chaque nœud est assez proche de son voisin. Ces structures sont anormales et résultent directement des difficultés rencontrées lors de l'étape de segmentation. Ces groupes de nœuds sont présents là où l'on a observé des 'bourgeons' au bout des vaisseaux. Ils sont aussi particulièrement présents au niveau de la papille à gauche au centre. On remarque également davantage de nœud lorsque le vaisseau est épais alors que, dans l'idéal, s'il n'y a pas d'embranchements, on aimerait qu'il n'y ait pas de nœud.