

TP1

1 Morphologie mathématique sur des images à niveaux de gris.

1.1 Apply dilation, erosion, opening and closing with various structuring elements, by varying the shape and the size. What is the influence of the size and the shape of the structuring element?

1.1.1 Erosion

Lors d'une érosion, l'élément structurant glisse sur toute l'image. En fonction de la zone où il se trouve :

- si tous les pixels inclus dans l'élément structurant ont le même niveau de gris, le pixel reste inchangé.
- sinon le pixel a la valeur minimale de tous les pixels dans le masque.

L'opération d'érosion est utilisée pour rétrécir ou éroder les objets dans une image.

- **La taille de l'élément structurant** détermine dans quelle mesure un objet est érodé. Un élément structurant plus grand entraînera une plus grande érosion de l'objet. (cf. figure 1)

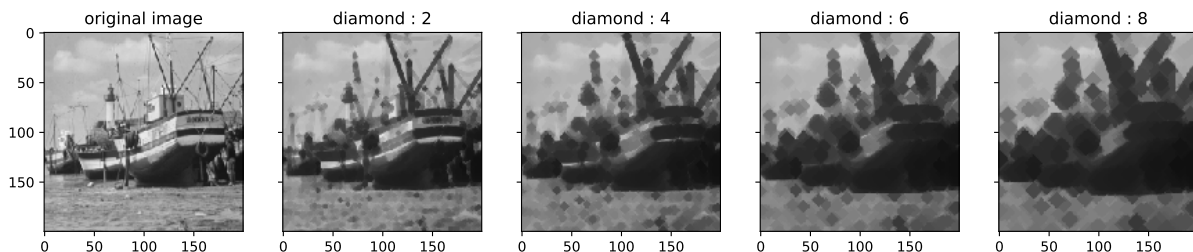


Figure 1: Impact de la taille de l'élément structurant sur l'érosion pour une forme donnée (ici 'diamond')

- **La forme de l'élément structurant** affecte la manière dont l'objet s'érode. Par exemple, un élément structurant carré ou circulaire entraînera une érosion plus isotrope (les effets seront uniformes dans toutes les directions à partir d'un point donné), tandis qu'un élément structurant allongé provoquera une érosion anisotrope. (cf. figure 2)

Généralement, elle permet d'éliminer des structures claires dans l'image et/ou de mettre en valeur les structures foncées. Dans la figure 3, on applique donc une érosion sur l'image de rétine fournie qui est parfaitement adaptée pour en montrer ses effets. On voit que les structures claires disparaissent de l'image.

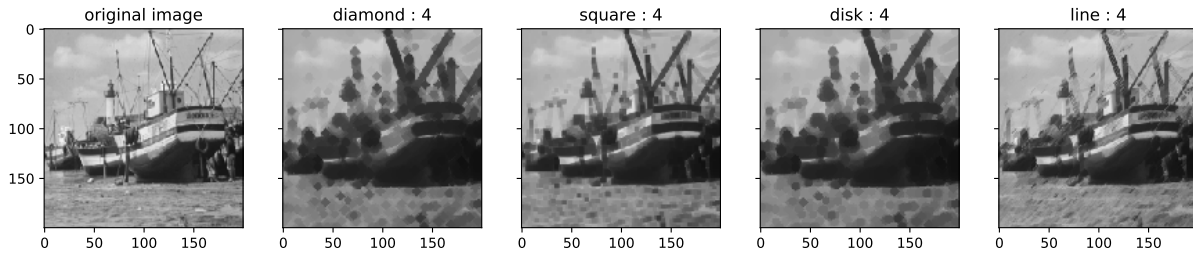


Figure 2: Impact de la forme de l'élément structurant sur l'érosion pour une taille donnée (ici size = 4)

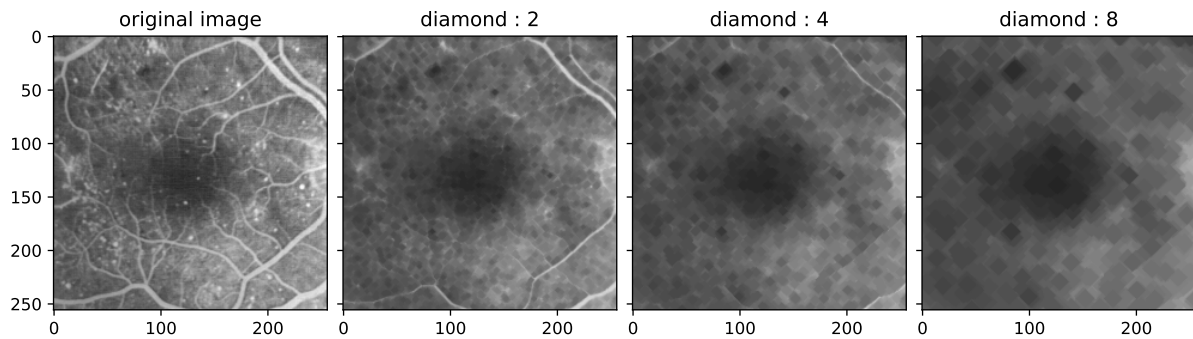


Figure 3: Effet de l'érosion sur une rétine. Élément structurant "diamond" de taille 2, 4, et 8.

1.1.2 Dilatation

La figure 4 met en évidence l'effet de la dilatation. L'élément structurant glisse sur toute l'image. En fonction de la zone où il se trouve :

- si tous les pixels inclus dans l'élément structurant ont le même niveau de gris, le pixel reste inchangé.
- sinon le pixel la valeur maximale de tous les pixels dans le masque.

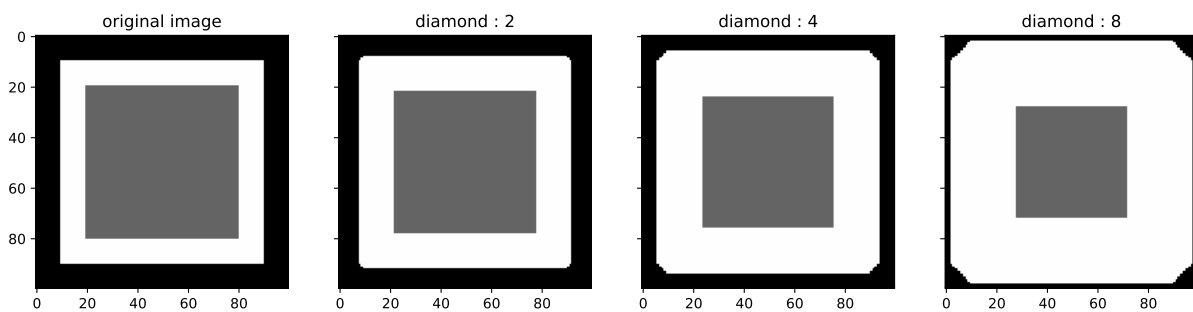


Figure 4: Effet de la dilatation sur un carré. La bande blanche mesure 10 pixels de largeur. Élément structurant : disque.

L'opération de dilatation est utilisée pour agrandir ou étendre les objets dans une image.

- La taille de l'élément structurant détermine dans quelle mesure un objet est agrandi. Un élément structurant plus grand entraînera une plus grande expansion de l'objet.

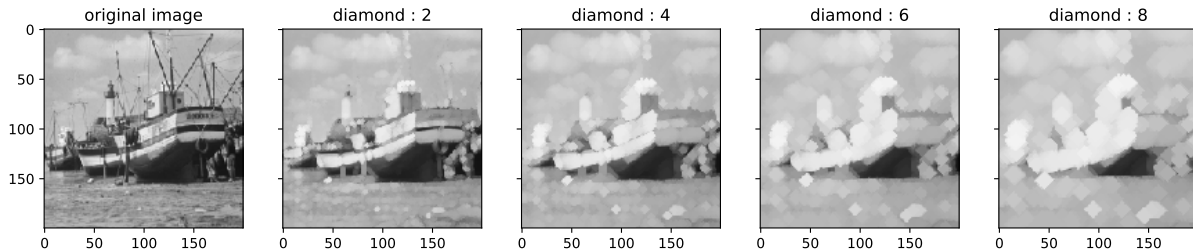


Figure 5: Impact de la taille de l'élément structurant sur la dilatation pour une forme donnée (ici 'diamond')

- La forme de l'élément structurant affecte la manière dont l'objet s'agrandit. Par exemple, un élément structurant carré ou circulaire entraînera une expansion plus isotrope (uniforme dans toutes les directions), tandis qu'un élément structurant allongé provoquera une expansion anisotrope.

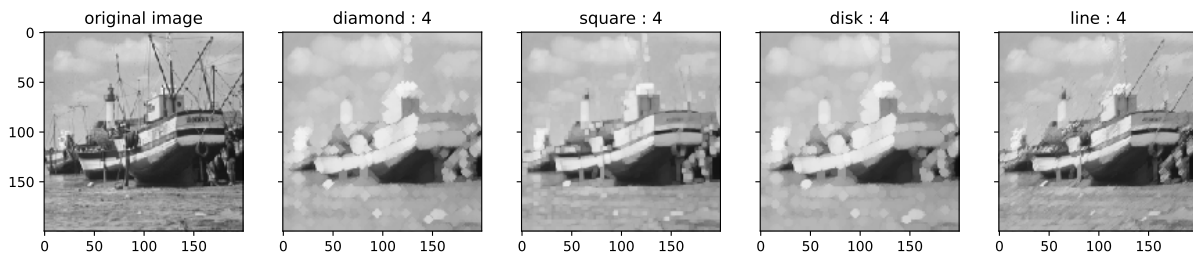


Figure 6: Impact de la forme de l'élément structurant sur la dilatation pour une taille donnée (ici taille = 4)

A l'inverse de l'érosion, elle permet d'éliminer des structures foncées dans l'image et/ou de mettre en valeur les structures claires. Dans la figure 7, on applique donc une dilatation sur l'image de laiton fournie qui est parfaitement adaptée pour en montrer ses effets. On voit que les structures foncées disparaissent de l'image, et les points un peu plus clairs sont exacerbés par la dilatation.

1.1.3 Opening (Ouverture)

- L'ouverture est une opération morphologique qui combine **l'érosion suivie de la dilatation d'une image**. Elle est principalement utilisée pour éliminer le bruit et les petites structures indésirables tout en préservant la forme et la taille des objets d'intérêt.

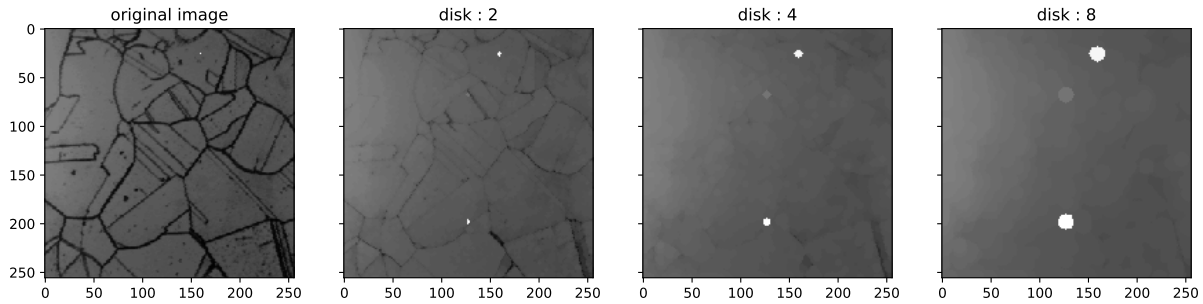


Figure 7: Effet de la dilatation sur une image de lait. Élément structurant "disque" de taille 2, 4, et 8.

- L'ouverture est réalisée en appliquant d'abord une érosion à l'image d'origine avec un élément structurant choisi. Cela réduit la taille des objets et élimine les détails fins.
- Ensuite, une dilatation est appliquée à l'image résultante de l'érosion, ce qui rétablit partiellement la taille des objets. Cependant, les petits artefacts et les détails indésirables sont supprimés.
- L'ouverture est particulièrement utile pour éliminer le bruit de fond ou les pixels isolés tout en maintenant l'intégrité des objets principaux dans une image. Elle est couramment utilisée en pré-traitement d'images avant d'effectuer des opérations de détection d'objets ou de segmentation.

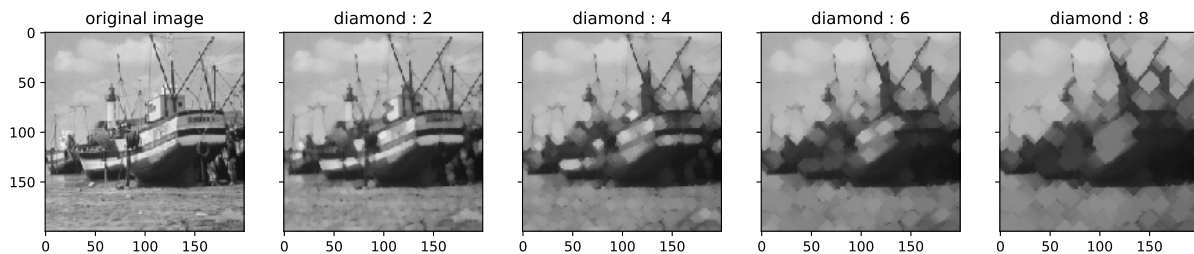


Figure 8: Impact de la taille de l'élément structurant sur l'ouverture pour une forme donnée (ici 'diamond')

On peut observer que plus la taille de l'élément structurant augmente, plus l'image sera lissée, plus la forme de l'élément "apparaîtra" sur l'image. On pourra utiliser cette propriété à notre avantage dans les prochaines questions.

1.1.4 Closing

- La fermeture est une opération morphologique qui combine **la dilatation suivie de l'érosion d'une image**. Elle est principalement utilisée pour fermer les trous dans les objets et pour fusionner les objets qui sont proches les uns des autres.

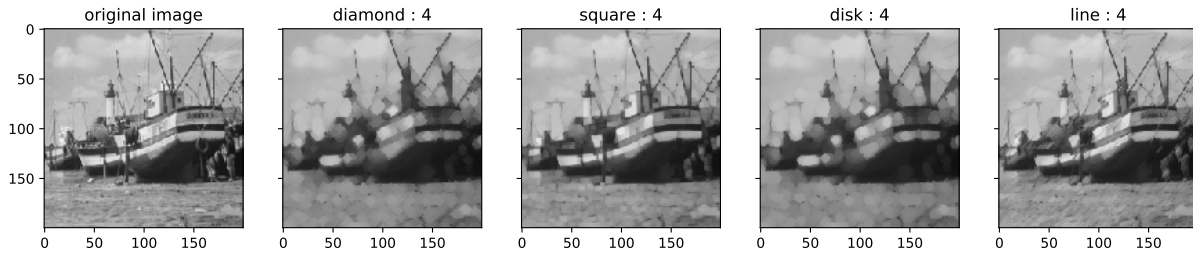


Figure 9: Impact de la forme de l'élément structurant sur l'ouverture pour une taille donnée (ici taille = 4)

- La fermeture est réalisée en appliquant d'abord une dilatation à l'image d'origine avec un élément structurant choisi. Cela a pour effet de remplir les petits trous et de fusionner des objets voisins qui sont connectés par des étroites lignes ou régions.
- Ensuite, une érosion est appliquée à l'image résultante de la dilatation, ce qui réduit partiellement la taille des objets. Cependant, les trous comblés et les objets fusionnés sont préservés.
- La fermeture est couramment utilisée pour prétraiter des images où des objets présentent des lacunes, des fissures ou sont très proches les uns des autres. Elle peut également être utilisée pour supprimer de petites lacunes dans les objets.

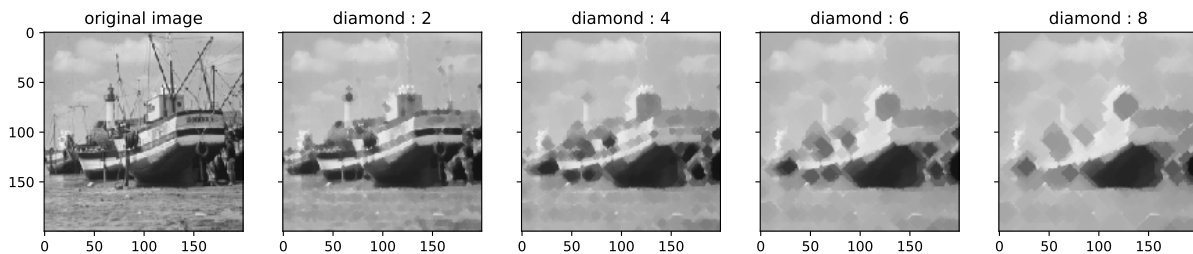


Figure 10: Impact de la taille de l'élément structurant sur la fermeture pour une forme donnée (ici 'diamond')

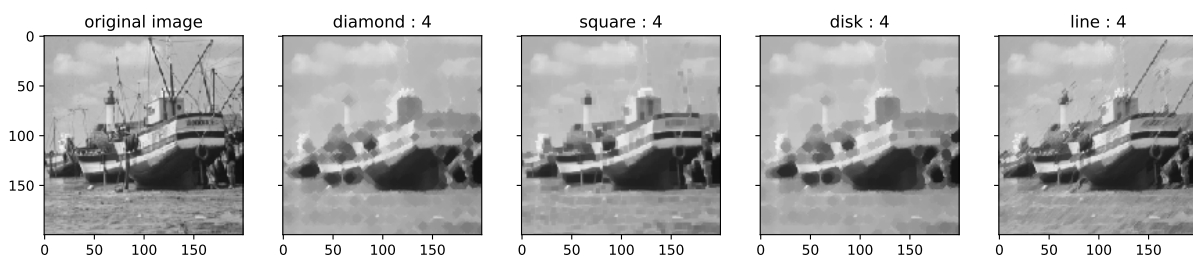


Figure 11: Impact de la forme de l'élément structurant sur la fermeture pour une taille donnée (ici taille = 4)

On peut observer (figure 10) que en agrandissant l'élément structurant, les lacunes (trous) de l'image se combrent de plus en plus et les objets fusionnent jusqu'à ne plus être reconnaissable. On remarque également (figure 11), que les objets "disparaissent" en laissant derrière eux la forme de l'élément structurant.

1.1.5 Illustrate the properties of these four operations on examples

- **Idempotence:** On va montrer que répéter une opération plusieurs fois avec le même élément structurant ne change pas le résultat après un certain nombre d'itérations. (cf. figures 12, 13, 14, 15)

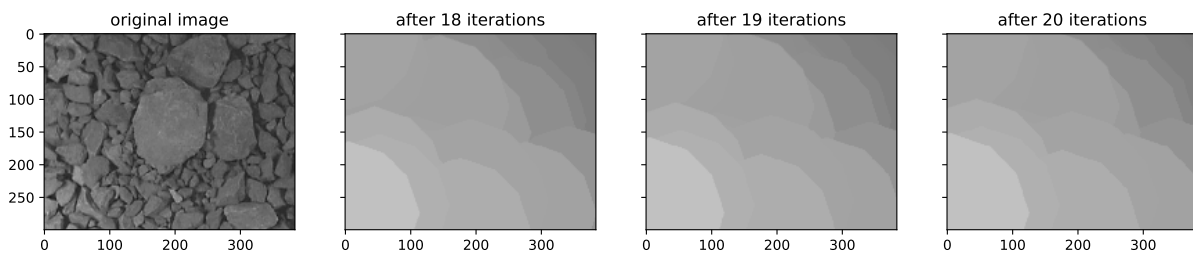


Figure 12: Le résultat de la dilatation reste identique après 18, 19 ou 20 itérations

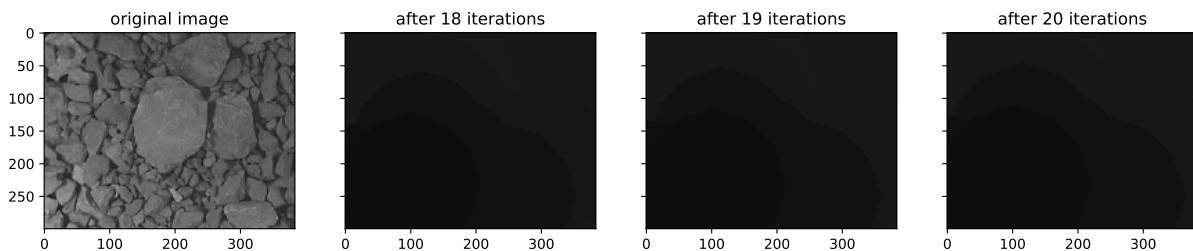


Figure 13: Le résultat de l'érosion reste identique après 18, 19 ou 20 itérations

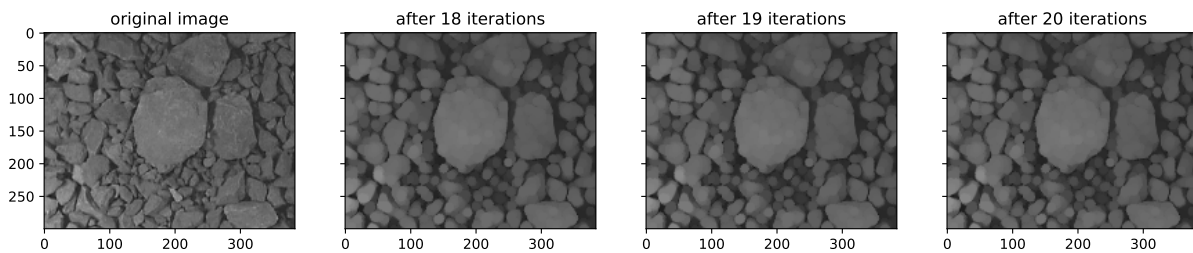


Figure 14: Le résultat de l'ouverture reste identique après 18, 19 ou 20 itérations

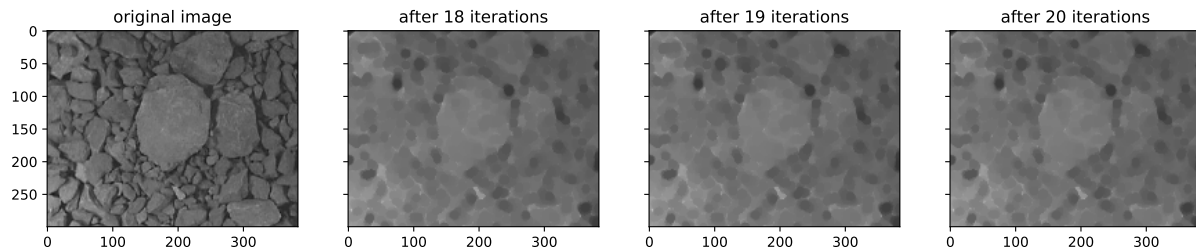


Figure 15: Le résultat de la fermeture reste identique après 18, 19 ou 20 itérations

- **Associativité:** On va montrer que l'ordre dans lequel on applique les opérations n'a pas d'importance.

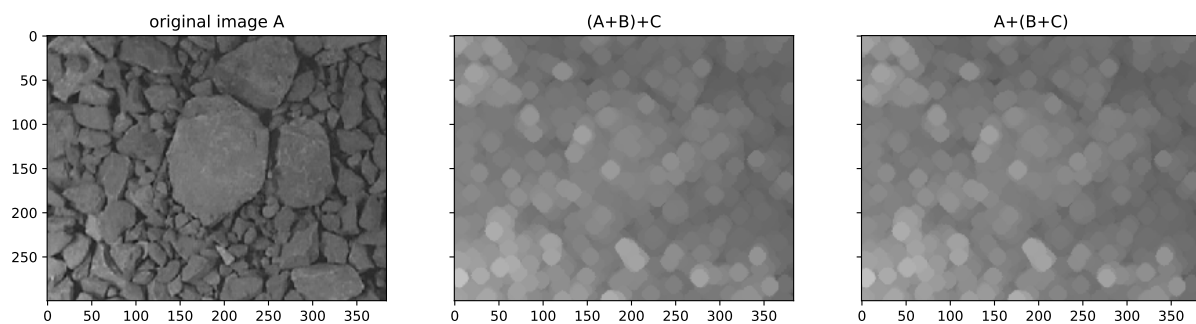


Figure 16: De gauche à droite, l'image originale, l'image dilatée par B puis par C, l'image dilatée par C puis par B

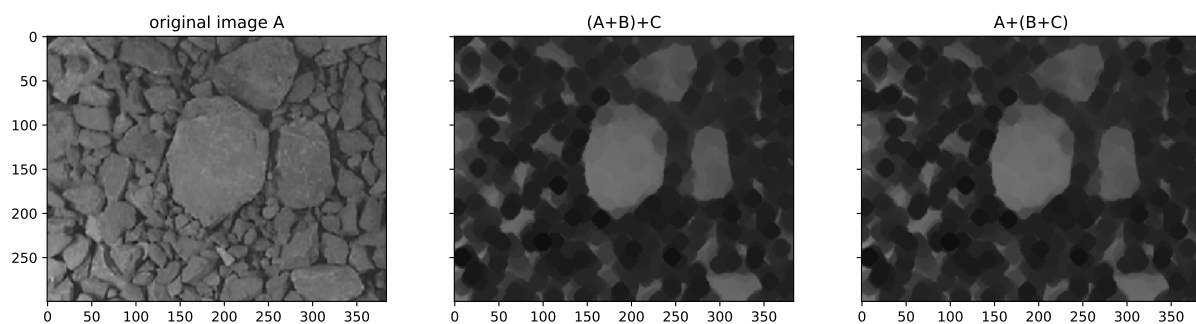


Figure 17: De gauche à droite, l'image originale, l'image érodée par B puis par C, l'image érodée par C puis par B

- **Extensive and Anti-extensive properties:** Show how dilation is extensive, making objects larger, while erosion is anti-extensive, making objects smaller.

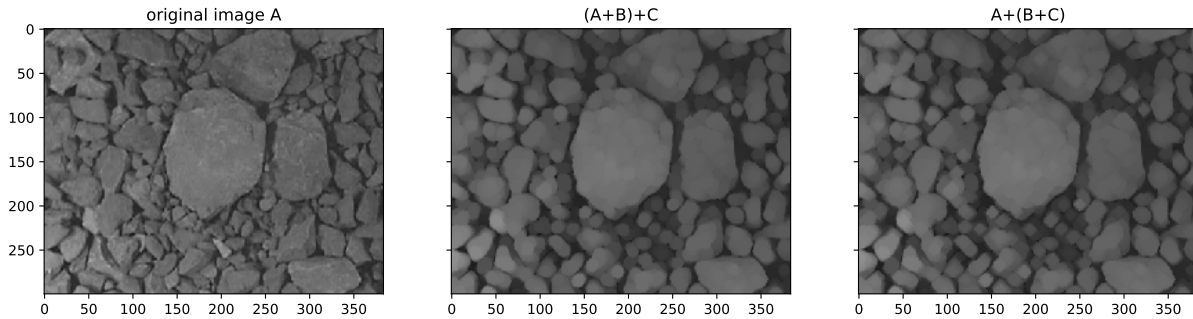


Figure 18: De gauche à droite, l'image originale, l'image après ouverture par B puis par C, l'image après ouverture par C puis par B

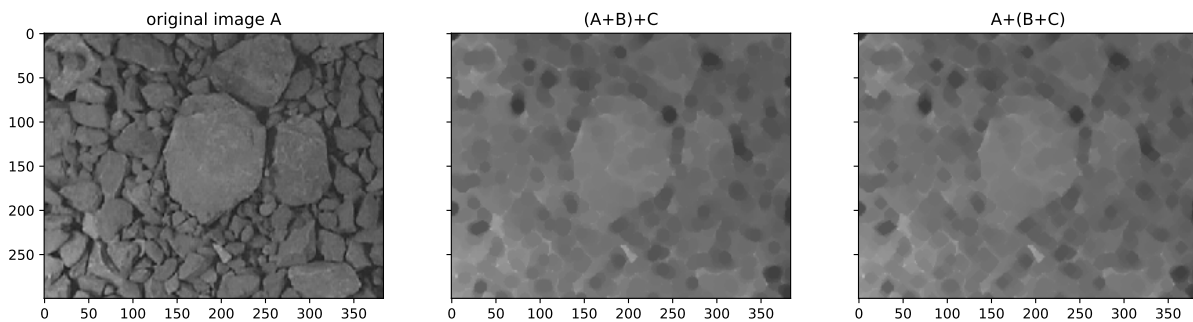


Figure 19: De gauche à droite, l'image originale, l'image après fermeture par B puis par C, l'image après fermeture par C puis par B

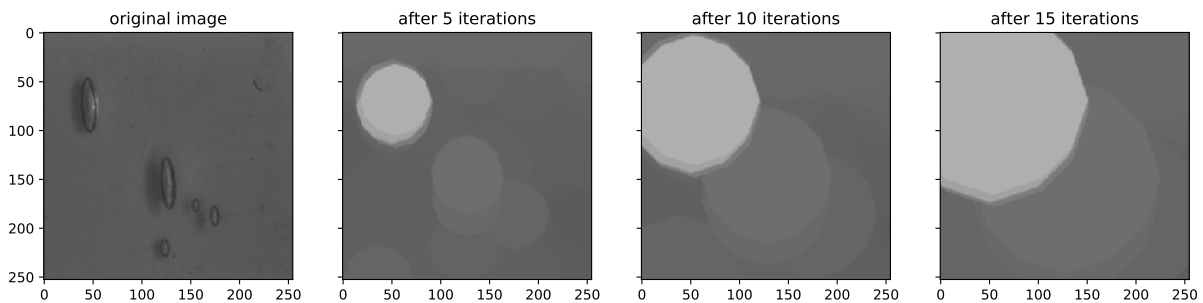


Figure 20: Montre l'extensivité de la dilatation. Plus on itère, plus les zones claires sont exacerbées.

1.2 What is the operation equivalent to the succession of a dilation by a square of size 3×3 and a dilation by a square of size 5×5 ? Same question for opening. What are the properties of these operations that explain the result?

- Pour combiner les effets d'une dilatation 3×3 suivie d'une dilatation 5×5 , nous pouvons utiliser une seule opération de dilatation avec un élément structurant qui est l'union des deux éléments structuraux individuels. Dans ce cas, l'élément structurant équivalent

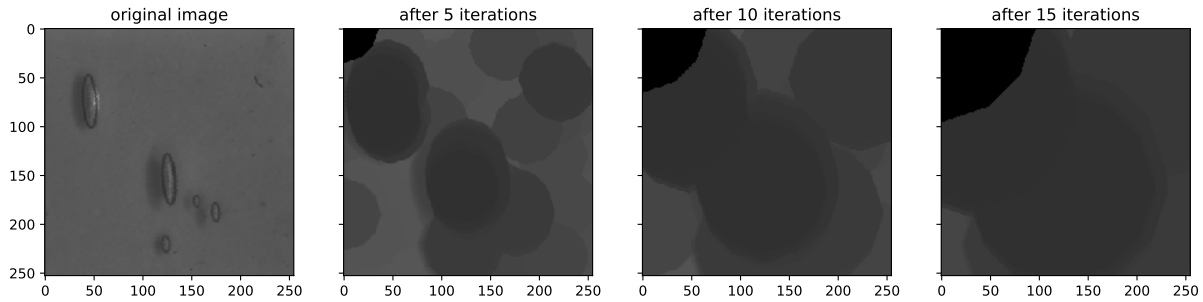


Figure 21: Montre l'anti-extensivité de l'érosion. Plus on itère, plus les zones claires diminuent.

serait un carré de 5×5 , car il contient tous les pixels affectés par les dilations 3×3 et 5×5 . Le résultat de cette opération de dilatation combinée serait similaire à l'exécution des deux dilations séquentiellement, mais avec une seule opération de dilatation.

- Pour l'opération d'ouverture, on peut envisager une approche similaire. Pour combiner les effets d'une ouverture 3×3 suivie d'une ouverture 5×5 , on peut utiliser une seule opération d'ouverture avec un élément structurant qui est l'intersection des deux éléments structurants individuels. Dans ce cas, l'élément structurant équivalent serait un carré de 3×3 , car il représente la région commune affectée à la fois par les ouvertures 3×3 et 5×5 . Le résultat de cette opération d'ouverture combinée serait similaire à l'exécution des deux ouvertures séquentiellement, mais avec une seule opération d'ouverture.
- Les propriétés qui expliquent le résultat :

Associativité : Ces équivalences peuvent être comprises en fonction de la propriété d'associativité de la dilatation et de l'érosion. En combinant les éléments structurants et en effectuant une seule opération de dilatation ou d'ouverture, nous respectons essentiellement la propriété d'associativité. Cela garantit que l'ordre dans lequel les opérations sont appliquées n'affecte pas le résultat final.

Propriétés d'extensivité et d'anti-extensivité : Le choix des éléments structurants dans les opérations équivalentes tient compte des propriétés d'extensivité et d'anti-extensivité de la dilatation et de l'érosion. L'élément structurant carré de 5×5 pour la dilatation combine les effets des dilations 3×3 et 5×5 , garantissant que le résultat est plus grand ou égal à l'image d'origine. De même, le carré de 3×3 pour l'ouverture combine les effets des ouvertures 3×3 et 5×5 , s'assurant que le résultat est plus petit ou égal à l'image d'origine.

Idempotence : Les opérations équivalentes, que ce soit la dilatation ou l'ouverture, conservent la propriété d'idempotence, ce qui signifie qu'appliquer l'opération de manière répétée ne modifie pas le résultat au-delà d'un certain point. Cela est dû au fait que les éléments structurants eux-mêmes sont idempotents, et les combiner produit toujours une opération idempotente.

1.3 Apply a top-hat transform (difference of the original image and its opening), for instance on image retina2.gif. Comment the result, according to the size and shape of the structuring element.

On illustre les effets de l'ouverture sur les figures 23 et 22. Idéalement, la première étape (l'érosion) permettrait d'éliminer les petits points blancs dans le fond de l'image. La dilatation permettrait alors de mettre en valeur les structures blanches restantes c'est-à-dire les vaisseaux. On testera d'abord avec un élément structurant en forme de disque (figure 22).

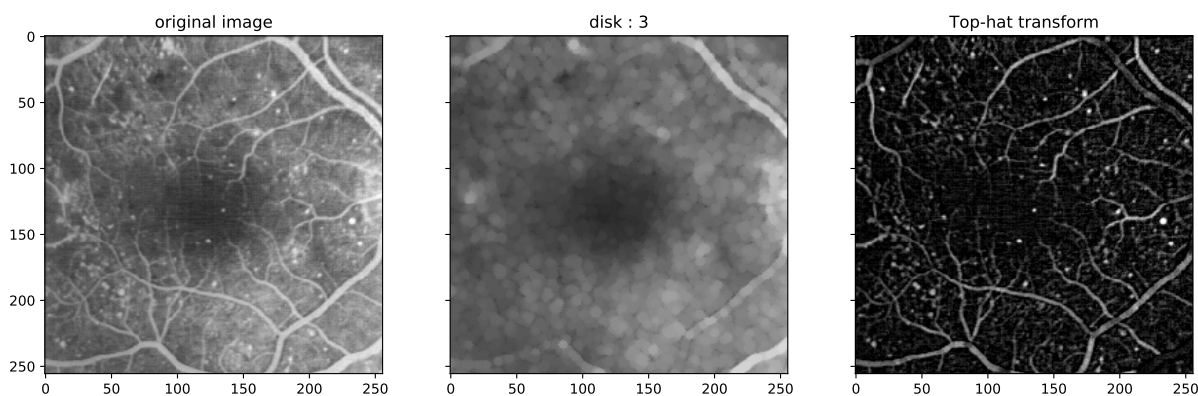


Figure 22: Effet de l'ouverture sur une image de rétine avec un élément structurant "disk" de taille 3.

Comme prévu, une bonne partie du bruit de fond a été éliminée. Cependant, la majorité des vaisseaux a également été érodé lors de la première étape. Cela peut s'expliquer par le fait que l'élément structurant n'était pas adapté à la tâche.

On choisit à présent un élément structurant en forme de ligne afin de conserver au maximum les vaisseaux durant l'érosion (figure 23).

Cette fois ci, la majorité du bruit de fond a été éliminée, et on a réussi à conserver plus de vaisseaux. Cependant, on peut remarquer qu'un bon nombre de vaisseaux a tout de même été érodé. Cela peut s'expliquer par le fait que l'élément structurant utilisé (la ligne) a une inclinaison bien précise, ce qui fait que seulement les vaisseaux ayant la même inclinaison vont être "sauvés".

Une solution serait d'utiliser plusieurs éléments structurants à la suite, ici des lignes de différentes inclinaisons (prochaine question).

1.4 What would be the dual operation (that you can illustrate on image laiton.bmp)?

L'opération duale du Top-Hat Transform (THT) est le Bottom-Hat Transform (BHT) qui correspond à la différence entre l'image originale et l'image après érosion. Tandis que la

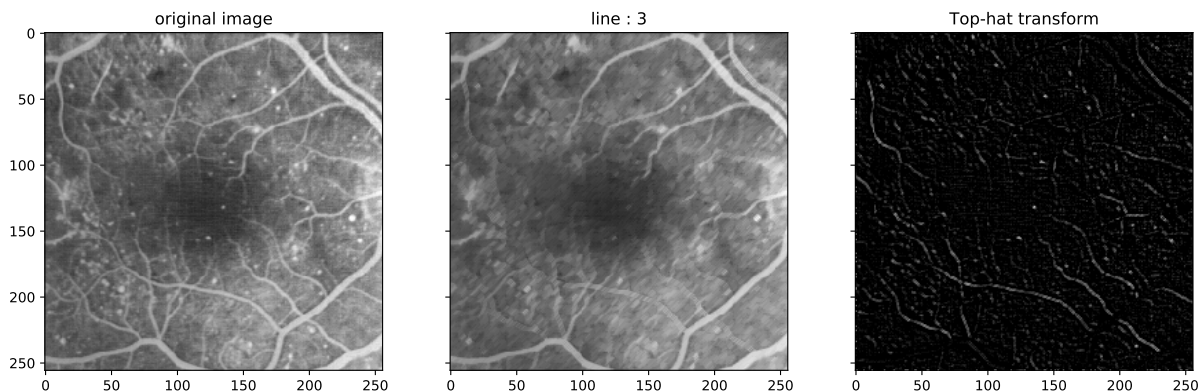


Figure 23: Effet de l'ouverture sur une image de rétine avec un élément structurant "line" de taille 3.

Top-Hat Transform met en évidence les régions lumineuses et les détails sur un fond plus sombre, la Bottom-Hat Transform se concentre sur les régions plus sombres et les détails sur un fond plus clair (cf. figure 24).

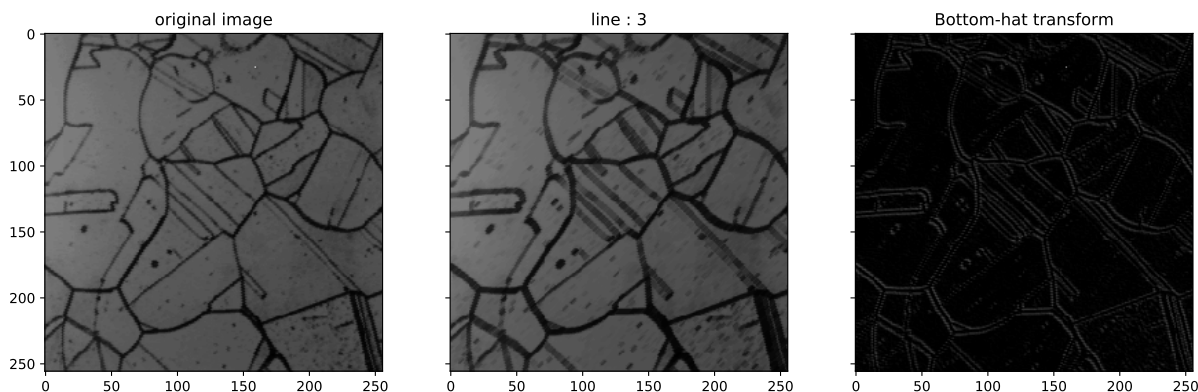


Figure 24: Effet de l'ouverture sur une image de rétine. Élément structurant "line" de taille 3.

1.5 Define segments in several directions, apply an opening with each of them as structuring element, and compute the point-wise maximum of the results. Conclusion?

On peut observer les résultats sur la figure (25).

- En effectuant cette opération, on a réalisé un filtrage multidirectionnel qui a permis de mettre en évidence les caractéristiques communes à plusieurs directions que sont les vaisseaux.
- L'opération d'érosion dans différentes directions a contribué à réduire le bruit et à supprimer les petites irrégularités qui ne sont pas cohérentes dans toutes les directions.

- En prenant le maximum des résultats, on a préservé les caractéristiques qui sont communes à toutes les orientations, tout en éliminant celles qui varient considérablement dans différentes directions.

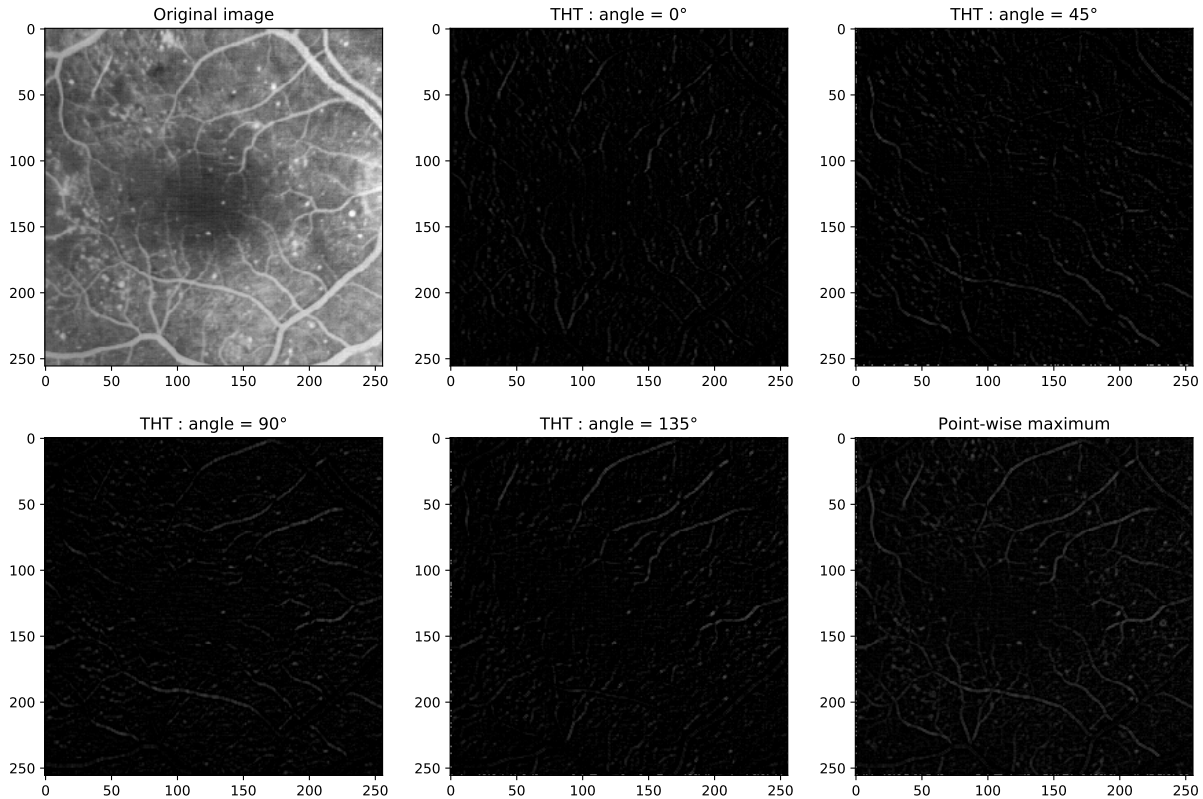


Figure 25: Succession d'ouvertures sur une image de rétine, avec un élément structurant "line" de taille 3 et d'angles variés. La dernière image représente le maximum pixel par pixel des ouvertures calculées.

2 Alternate Sequential Filter

2.1 Define an alternate sequential filter, use different shapes for the structuring element and vary the maximum size. Comment the results. What will be obtained if the sequence is continued with larger and larger structuring elements?

Si on augmente considérablement la taille de l'élément structurant (figure 29), que ce soit disk, diamond ou line, les objets deviennent de moins en moins reconnaissables.

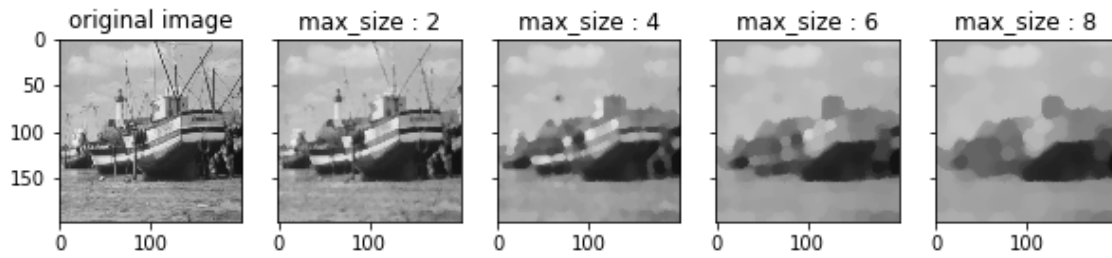


Figure 26: Application d'un filtre séquentiel alterné (ASF) avec un élément structurant de forme "disk". De gauche à droite, on augmente la taille maximum du disque.

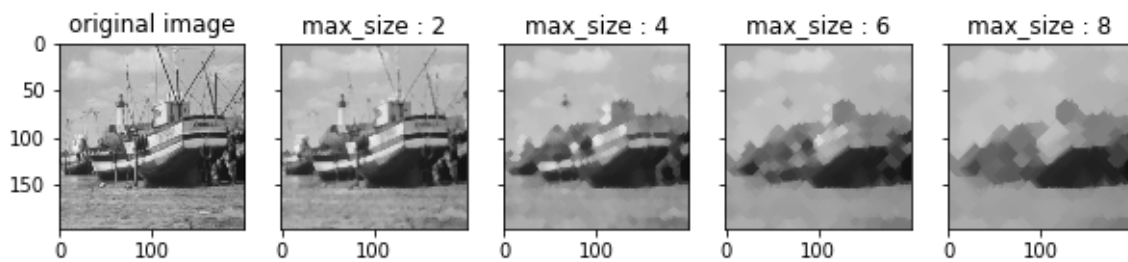


Figure 27: Application d'un filtre séquentiel alterné (ASF) avec un élément structurant de forme 'diamond'. De gauche à droite, on augmente la taille maximum du 'diamond'.

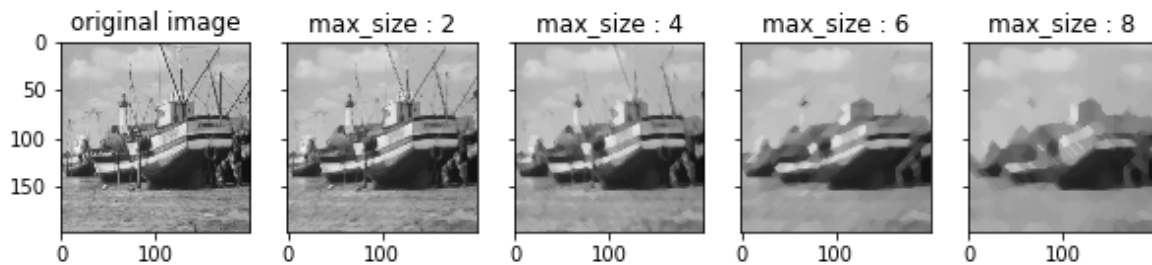


Figure 28: Application d'un filtre séquentiel alterné (ASF) avec un élément structurant de forme "line". De gauche à droite, on augmente la taille maximum de la ligne et pour chaque étape de "ouverture/fermeture", on varie l'angle d'inclinaison de la ligne.

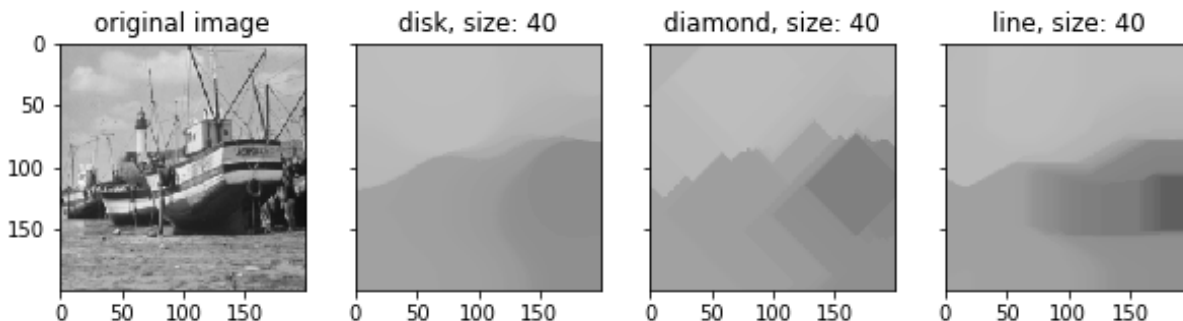


Figure 29:

3 Reconstruction

3.1 As an example, the reconstruction of an image from its opening allow recovering small details of objects that are partially kept by the opening. Test for example given. Comment the results.

Comme on peut le voir sur la figure 30, la reconstruction par dilatation permet bien de récupérer une bonne partie des détails de l'image qui semblent avoir été perdus lors de l'ouverture.

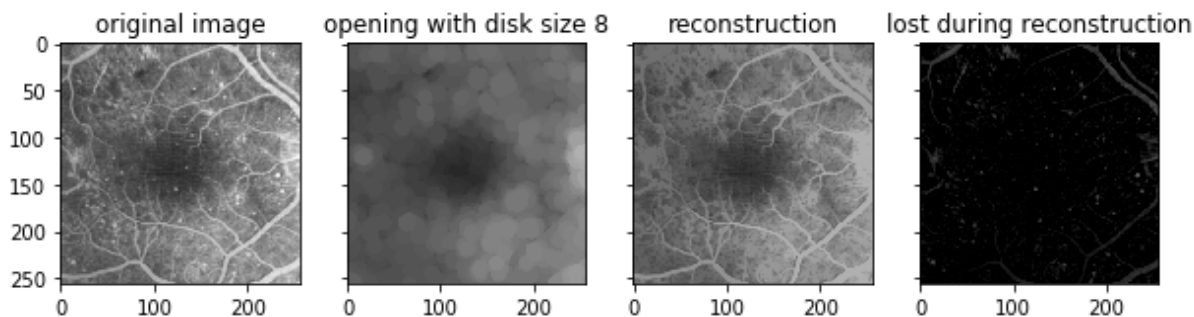


Figure 30: Reconstruction par dilatation à partir de l'ouverture d'une image

3.2 Write the sequence of operators for a reconstruction by erosion. How could this reconstruction be derived from a reconstruction by dilation using duality principle?

La reconstruction par érosion est obtenue par la séquence d'opérations suivante (m est le marqueur, I l'image ou le masque, et B_1 est un élément structurant élémentaire de taille 1):

$$\begin{aligned} m_0 &= m \wedge I \\ m_1 &= E(m_0, B_1) \wedge I \\ &\vdots \\ m_{n-1} &= E(m_n, B_{n-1}) \wedge I \\ &\vdots \end{aligned}$$

On s'arrête quand il y a convergence, c'est-à-dire lorsque $m_n = m_{n-1}$.

La reconstruction par érosion peut être dérivée de la reconstruction par dilatation en utilisant le principe de dualité ($E(m, B_1) = [D(m^C, B_1)]^C$) de la manière suivante :

- On commence avec la reconstruction par dilatation:

$$\begin{aligned} m_0 &= m \vee I \\ m_1 &= D(m_0, B_1) \vee I \\ &\vdots \\ m_{n-1} &= D(m_n, B_{n-1}) \vee I \\ &\vdots \end{aligned}$$

- Ensuite, on applique le principe de dualité en utilisant l'équation $E(m, B_1) = [D(m^C, B_1)]^C$, qui exprime la relation entre l'érosion et la dilatation en utilisant le complément :

$$\begin{aligned} m_0 &= m^C \wedge I \\ m_1 &= [D(m_0^C, B_1)]^C \wedge I \\ &\vdots \\ m_{n-1} &= [D(m_{n-1}^C, B_{n-1})]^C \wedge I \\ &\vdots \end{aligned}$$

- On simplifiez la notation pour obtenir la séquence de reconstruction par érosion :

$$\begin{aligned}
m_0 &= m^C \wedge I \\
m_1 &= E(m_0^C, B_1) \wedge I \\
&\vdots \\
m_{n-1} &= E(m_{n-1}^C, B_{n-1}) \wedge I \\
&\vdots
\end{aligned}$$

Ainsi, en utilisant le principe de dualité, la reconstruction par érosion peut être dérivée de la reconstruction par dilatation en changeant simplement les opérations de dilatation en opérations d'érosion et en appliquant le complément approprié selon le principe de dualité.

3.3 Add a reconstruction operation at each step of the alternate sequential filter (reconstruction by dilation after each opening and reconstruction by erosion after each closing). Comment the results.

Réaliser une reconstruction par érosion après chaque opération de fermeture et une reconstruction par dilatation après chaque opération d'ouverture peut être utile pour certaines tâches de traitement d'image, en particulier lorsqu'il s'agit d'objets ou de structures à l'intérieur de l'image. Les étapes de reconstruction contribuent à affiner les résultats en préservant ou en améliorant certaines caractéristiques de l'image.

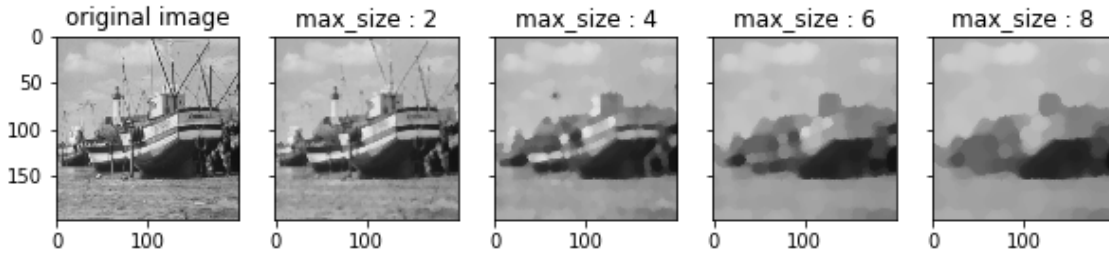


Figure 31: Application de filtres alternés séquentiels (sans reconstructions intermédiaires)

On peut remarquer sur la figure 33 que l'utilisation d'une reconstruction par érosion après une opération de fermeture (closing) ou une reconstruction par dilatation après une opération d'ouverture (opening), à aider à renforcer les contours ou les bords d'objets dans l'image. Voici comment cela fonctionne :

- En effet, la reconstruction par érosion après fermeture a aidé à "récupérer" les bords d'objets en éliminant le bruit et en améliorant la cohérence des objets.
- Aussi, la reconstruction par dilatation après ouverture peut renforcer les bords des objets en dilatant les régions d'intérêt tout en réduisant le bruit.

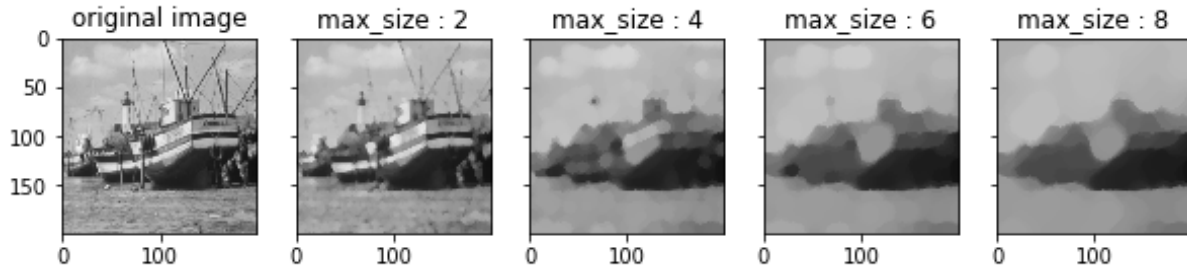


Figure 32: Application de filtres alternés séquentiels (avec reconstructions intermédiaires)

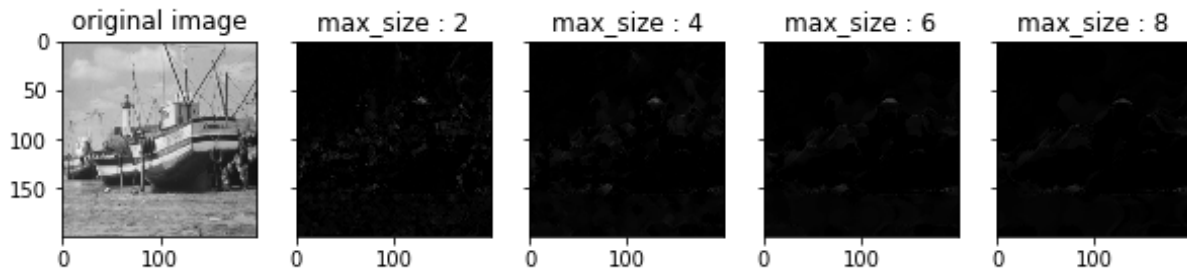


Figure 33: Différence entre l'ASF avec reconstruction et ASF sans reconstruction

4 Segmentation

4.1 Compute the morphological gradient (dilation - erosion with an elementary structuring element, of size 1), for instance on image bat200.bmp. Comment the results.

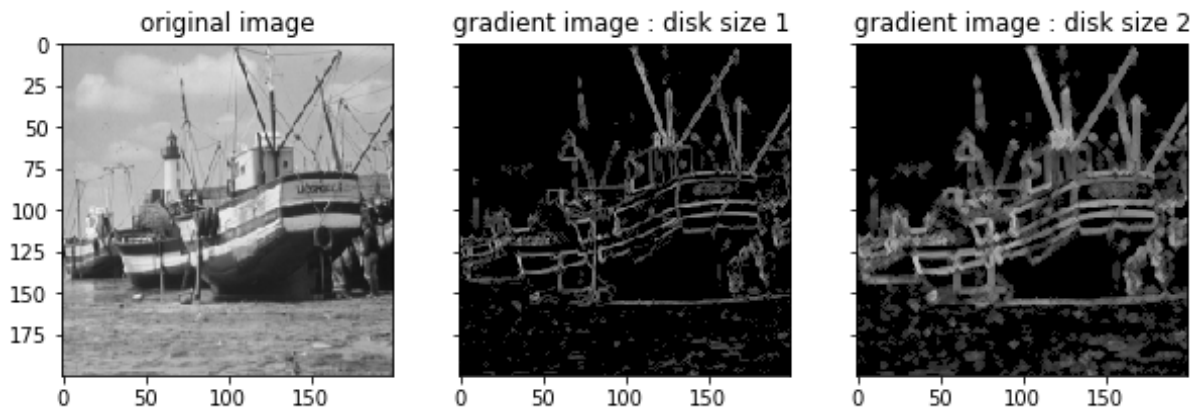


Figure 34: Gradient morphologique

- Dans l'image du gradient morphologique (figure 34), les régions lumineuses représentent les zones de changement d'intensité significatif dans l'image d'origine, telles que les bords et les frontières.

- Les régions sombres correspondent aux zones avec peu ou pas de changement d'intensité, généralement au sein de régions homogènes.
- La largeur des régions lumineuses dans l'image du gradient dépend de la taille de l'élément structurant. Les éléments structurants plus petits captent des détails plus fins, tandis que les plus grands capturent des transitions plus significatives.

4.2 Compute the watershed on this gradient image (see the corresponding section in the code). Comment the results. For the visualization, the watershed lines (having value 0 in the result) can be superimposed on the original image

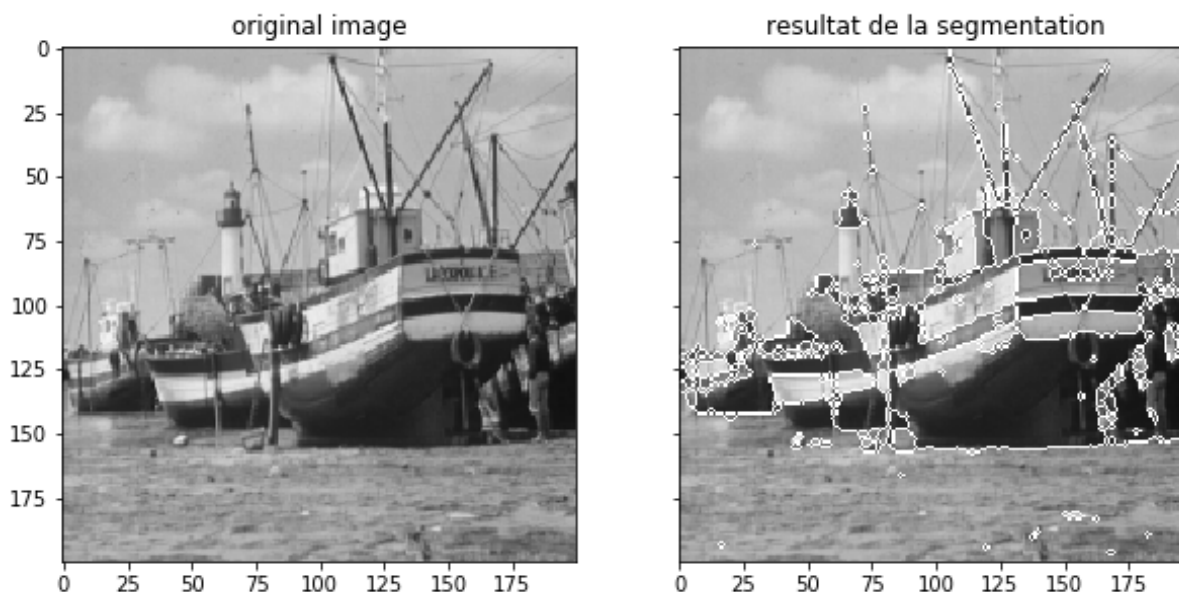


Figure 35: Segmentation par watershed

Les régions segmentées correspondent bien aux objets et régions d'intérêt de l'image. Les lignes de Watershed indiquent les frontières entre ces régions. On peut tout de même observer un phénomène de sursegmentation, notamment au niveau de l'eau. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ce phénomène:

- 1 - **Marqueurs Incorrects** : Les marqueurs initiaux jouent un rôle crucial dans l'algorithme Watershed. Si les marqueurs ne sont pas correctement placés ou si trop de marqueurs sont utilisés, cela peut entraîner une sursegmentation.
- 2 - **Sensibilité au Bruit** : Les détails de bruit dans l'image peuvent être interprétés comme des régions distinctes par l'algorithme Watershed, ce qui entraîne la sursegmentation. Pour remédier à cela, on pourrait appliquer un filtrage du bruit sur l'image avant de calculer le gradient pour réduire son impact.

- 3 - **Gradient Fort** : Lorsque le gradient d'intensité dans l'image est très fort, l'algorithme Watershed peut être sensible à ces changements et créer des segments supplémentaires.
- 4 - **Paramètres Incorrects** : Les paramètres de l'algorithme Watershed, tels que la taille de l'élément structurant, peuvent influencer la sursegmentation. On pourrait expérimenter avec les paramètres tels que la taille de l'élément structurant, pour obtenir de meilleurs résultats.
- 5 - **Régions Chevauchantes** : Si les objets de l'image se chevauchent ou sont très proches les uns des autres, cela peut rendre difficile la distinction entre les régions adjacentes, conduisant à la sur-segmentation.

Dans certains cas, une étape de post-traitement, comme la fusion des régions similaires, peut être nécessaire pour réduire la sur-segmentation.

4.3 Try to improve the result by filtering the original image by an appropriate morphological filter and/or by filtering the gradient image by a closing, before computing the watersheds

Après plusieurs tests, le meilleur résultat est obtenue en effectuant une reconstruction par ouverture sur l'image d'origine, puis un closing sur le gradient (figure 36).

- En effet, l'ouverture initiale (opening) sur l'image d'origine permet de réduire le bruit et les détails indésirables. Cela rend l'image plus propre, ce qui est important pour la précision de la segmentation.
- La reconstruction par ouverture permet de récupérer les régions de l'image d'origine qui ont été supprimées lors de l'ouverture initiale. Cela garantit que les objets d'intérêt sont correctement préservés tout en éliminant le bruit.
- L'opération de fermeture (closing) sur le gradient de l'image permet d'atténuer les bords des objets et de connecter les régions, améliorant ainsi la qualité des marqueurs utilisés pour la segmentation Watershed. Les bords renforcés aident l'algorithme Watershed à identifier les limites des objets de manière plus précise.
- L'application de ces opérations successives permet de mieux contrôler la sensibilité de la segmentation Watershed. En éliminant le bruit et en améliorant la connectivité des régions, on a réduit les effets de sursegmentation et obtenu des résultats plus précis.
- On peut probablement encore ajuster les paramètres de l'ouverture, de la fermeture et de la reconstruction par ouverture pour optimiser les résultats.

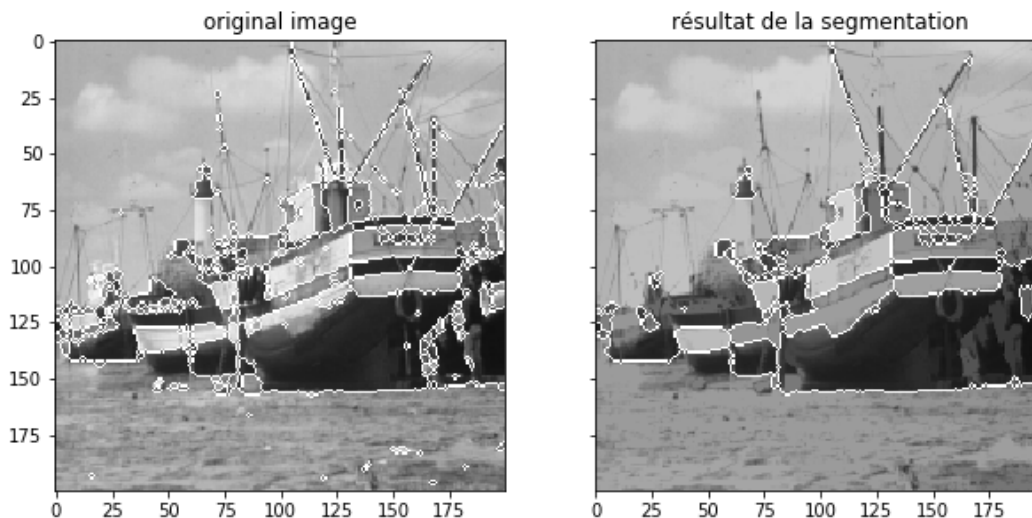


Figure 36: Segmentation par watershed après de l'image d'origine et fermeture sur le gradient.

4.4 Eliminate regional minima with a dynamic less that some value before applying the watershed. Explain the sequence of operations and comment the results.

On a testé deux types de thresholding:

1 - Le local threshold de skimage (figure 37):

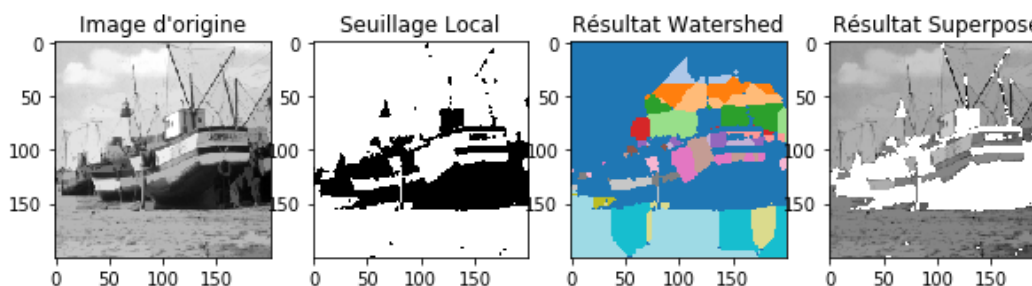


Figure 37: Segmentation par watershed après opening sur le gradient

- La fonction threshold local permet d'appliquer un seuil local à chaque pixel de l'image en fonction des valeurs de ses voisins locaux. Cela signifie que le seuil est adapté aux variations locales d'intensité, ce qui peut être crucial pour des images présentant des zones d'intérêt de tailles, de formes et d'intensités variées comme la notre.
- Le seuillage local permet de gérer les variations d'intensité locales, minimisant ainsi l'impact de l'éclairage inégal sur le processus de seuillage, et permettant une identification plus précise des frontières et des transitions d'intensité dans l'image.

- On peut toujours ajuster les paramètres du seuillage local, tels que la taille de la fenêtre de calcul du seuil, pour contrôler la sensibilité du seuillage.
- Contrairement à l'algorithme Watershed, qui nécessite souvent le calcul du gradient de l'image, le seuillage local peut détecter directement les régions d'intérêt sans nécessiter une étape de prétraitement de calcul de gradient.

2 - Le threshold de Niblack (figure 38):

- Le seuillage de Niblack calcule le seuil pour chaque pixel en fonction de la moyenne locale et de l'écart-type (ou de la variance) des niveaux de gris dans une fenêtre locale autour du pixel. Cela permet une adaptation précise aux variations locales d'intensité et une meilleure détection des frontières et des transitions d'intensité dans l'image. .
- Le seuillage de Niblack est efficace pour réduire l'impact de l'éclairage inégal ou de l'illumination non uniforme sur l'image.
- En ajustant le seuil en fonction de la variance, il peut être plus robuste face au bruit que les méthodes de seuillage global. Cela permet également une
- Le calcul du seuillage de Niblack est relativement simple et ne nécessite pas de paramètres compliqués. La taille de la fenêtre locale est généralement le seul paramètre à ajuster en fonction des besoins.

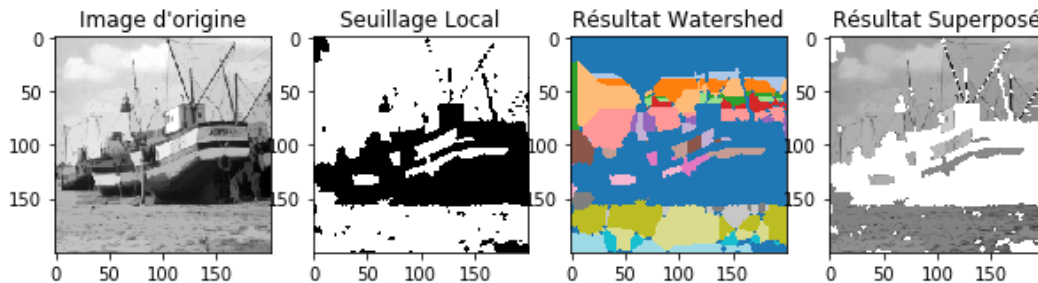


Figure 38: Segmentation par watershed après opening sur le gradient

- 4.5** Define markers (manually or using a dedicated pre-processing), inside the object to be segmented, and outside of it (e.g. on the image border). Let m be the marker, such that m takes value 0 in the marked regions and 255 elsewhere. Compute $I = I \cdot m$, where I is the image on which we want to compute the watershed (e.g. gradient, or the inverted image in the case of `laiton.bmp`, etc.). Reconstruct I by erosion from m . The reconstructed image should have minima only in the regions defined by m . Compute the watersheds of the reconstructed image. Comment the results

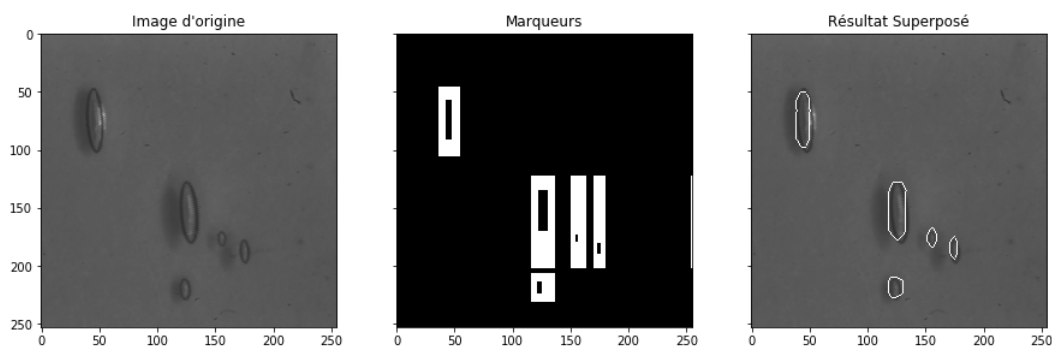


Figure 39: Segmentation par Watershed avec marqueurs définis manuellement.

Le résultat est très satisfaisant (figure 39). Il aurait été plus judicieux de tester les méthodes précédentes (question 4) sur la même image mais nous n'en avons pas eu le temps malheureusement.

- 4.6** How could the watersheds be used to segment the black lines in image `bulles.bmp` or `laiton.bmp`? Discuss the different steps of the method you propose.