

Résumé Traitement d'image

Partie 2

Correction des défauts d'image :

Les images acquises en microscopie présentent de nombreux défauts dus aux détecteur, limites optiques, au bruit, à des pixels morts ou à une illumination non uniforme.

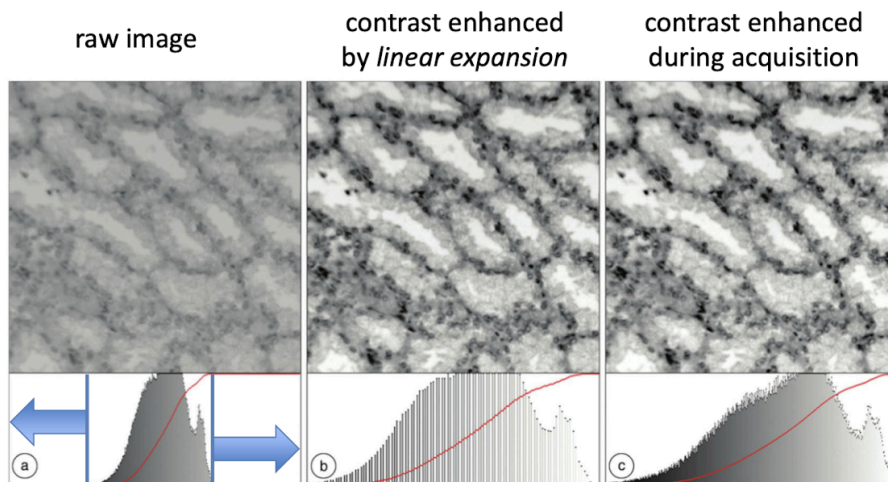
Des corrections après numérisation, bien que moins efficaces que des corrections matérielles, se révèlent être efficaces.

Pour une illumination non uniforme deux techniques peuvent être employées. La première est en utilisant une image de fond sans échantillon sous les mêmes conditions et de soustraire pixel par pixel à l'image originale. La seconde option est en ajustant une fonction de fond polynomiale en identifiant les pixels les plus sombres de l'image.

Amélioration d'image:

L'amélioration d'image a pour objectif de faciliter l'interprétation visuelle et de mettre en évidence les structures pertinentes. C'est donc pour améliorer la qualité pour la documentation ainsi que de préparer l'image à des traitements automatiques tels que la segmentation ou la binarisation.

Une première approche est l'expansion linéaire du contraste. Pour cela on redistribue les niveaux de gris sur une gamme plus large et équilibrée qui permet d'accentuer le contraste.

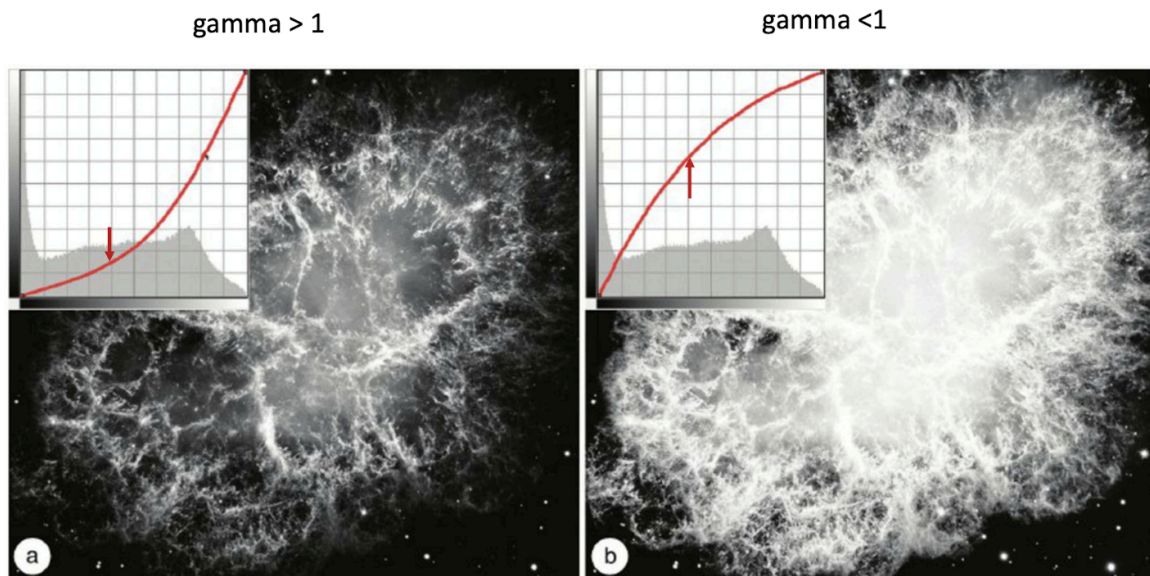


Linear contrast enhancement -> brightness and contrast, window levels

Des méthodes plus avancées telles que l'égalisation d'histogramme qui utilise la fonction cumulative comme fonction de transfert. Ceci permet de répartir plus uniformément les niveaux de gris affichés en étalant les zones correspondant aux pics de l'histogramme et en comprimant celles correspondant aux vallées.

La manipulation d'image via LUT (look up table) qui associe chaque niveau d'entrée de gris à un niveau de sortie permet des transformations telles que l'inversion de contraste.

Des méthodes de manipulation de contraste non linéaires existent également. Par exemple en modifiant la valeur de gamma on peut accentuer certaines plages d'intensité: pour une valeur supérieure à 1 cela accentue les zones claires, alors qu'une valeur à 1 accentue les zones claires. Ces méthodes bien que flexibles sont subjectives et dépendent du jugement de l'utilisateur et peut influencer l'interprétation de l'image.



Il est également possible de créer une fonction de transfert arbitraire qui accentue principalement les zones claires et sombres et qui donne des images très contrastées avec peu de gris ou au contraire faire une fonction de transfert avec un plateau ce qui donnera une image avec peu de contraste mais une large gamme de gris.

Filtres :

En traitement d'images, les filtres sont utilisés pour modifier localement les valeurs de pixels dans le but de lisser, accentuer ou extraire certaines structures de l'image.

Le filtre **Laplacien** basé sur la dérivée seconde de l'intensité met en évidence les variations rapides de niveaux de gris et donc les discontinuités aux frontières. Il met donc en évidence les différences en rendant les pixels du côté sombre d'un bord plus sombre et de même pour les côtés clairs ce qui accentue le contraste des contours.

Pour la détection de contours orientés des filtres non symétriques sont utilisés (**Robinson, Sobel, Prewitt et Kirsch**). Leur principe de fonctionnement est de calculer la dérivée première de l'intensité selon différentes directions ce qui les rend sensibles à l'orientation des bords.

Bien qu'ils reposent sur le même principe, ils diffèrent par leur précision directionnelle, sensibilité au bruit et finesse de localisation des contours.

Filtre Sobel :

Le filtre Sobel utilise deux noyaux 3x3, identiques mais tournés de 90° pour mesurer les variations selon G_x et G_y . G_x met en évidence les bords verticaux tandis

que G_y met en évidence les bords horizontaux. L'image finale est obtenue en combinant ces deux dérivées :

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

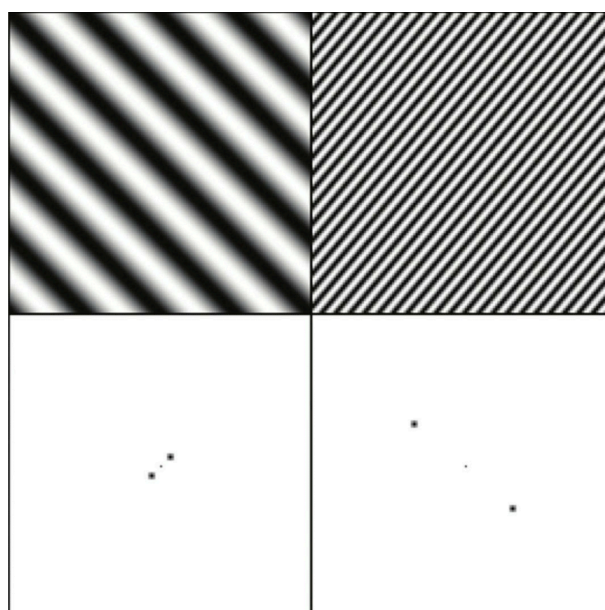
La variation de luminosité au niveau d'un bord est mesurée par la norme du gradient G . La direction du gradient est donnée par :

$$\Theta = \text{atan2}(G_y, G_x)$$

Le filtre Sobel est particulièrement utile pour caractériser l'anisotropie. La méthode consiste à définir un seuil sur l'amplitude du gradient (garder uniquement les pixels tels que $|G| > G_0$) puis en exploitant l'orientation pour obtenir une distribution d'angles et quantifier l'anisotropie des lignes et des bords.

La transformée de Fourier :

La transformée de Fourier (FFT) peut être utilisée pour passer l'image du domaine spatial au domaine fréquentiel afin d'identifier les périodicités et les structures répétitives et de savoir à quelles échelles elles apparaissent. Dans le spectre de la transformée de Fourier, chaque point correspond à une fréquence spatiale présente dans l'image et l'image FFT a la même taille que l'image dans le domaine spatial ($N \times N$). Les basses fréquences décrivent les variations lentes tandis que les hautes fréquences décrivent les détails fins. Les fréquences sont tracées radialement depuis le centre : plus on s'éloigne du centre, plus la fréquence spatiale est élevée :



La rotation de l'image entraîne la rotation du motif dans le domaine de Fourier tandis qu'un décalage n'affecte pas le motif puisque le contenu fréquentiel reste identique.

Inverse de la transformée de Fourier:

L'information contenue dans une image et dans sa FFT est la même : l'une définit l'autre. Il est donc possible de reconstruire l'image en appliquant l'inverse FFT correspondant à sa transformée de Fourier complète. En ne conservant qu'une partie du spectre, certaines composantes fréquentielles peuvent être mises en évidence.

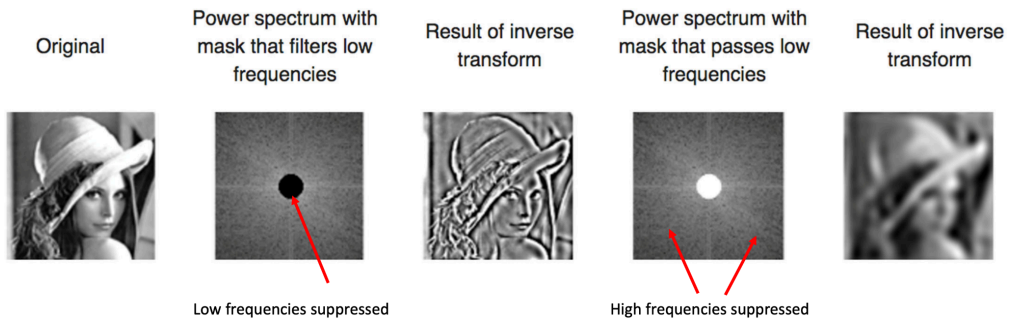
Frequency filtering :

Les images peuvent être traitées comme des ondes présentant des fréquences variables. Plus une image contient de pixels décrivant des détails fins, des contours nets ou des motifs serrés, plus elle possède de hautes fréquences, correspondant à des variations rapides. Il est donc possible d'analyser une image à travers ses fréquences grâce à la transformée de Fourier (FFT), qui permet de passer du domaine spatial au domaine fréquentiel. On applique la transformée de Fourier à l'image pour obtenir son spectre de fréquences, on filtre ces fréquences selon l'effet recherché, puis on réalise la transformée de Fourier inverse pour retrouver une image modifiée. Ainsi, trois filtres principaux permettent d'analyser les images :

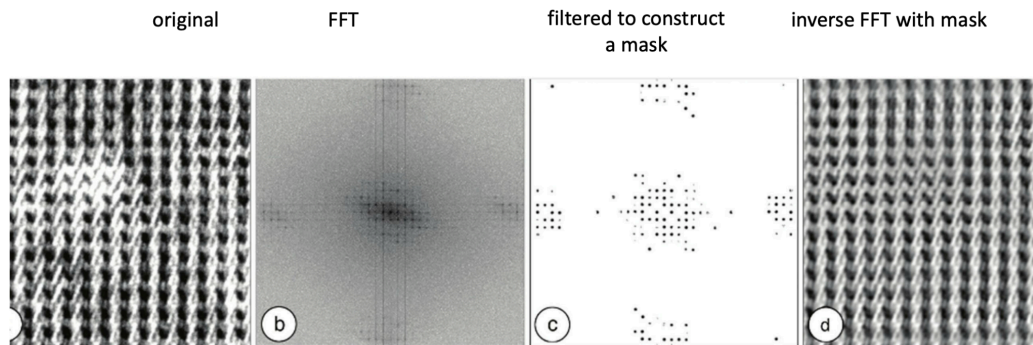
- **Le filtre passe-bas** conserve les basses fréquences et élimine les hautes, ce qui réduit les variations rapides dans l'image. Il en résulte un lissage général : les détails, les contours et le bruit sont atténués au profit des zones uniformes.

- **Le filtre passe-haut** fait l'inverse : il supprime les basses fréquences et ne garde que les hautes. Cela met en avant les variations rapides présentes dans l'image, en renforçant principalement les contours et les textures fines.

- **Le filtre passe-bande** élimine à la fois les très basses et les très hautes fréquences, pour ne conserver qu'une plage de fréquences intermédiaire. Cette approche réduit les grandes zones uniformes ainsi que les détails trop fins, tout en préservant les structures de taille moyenne.

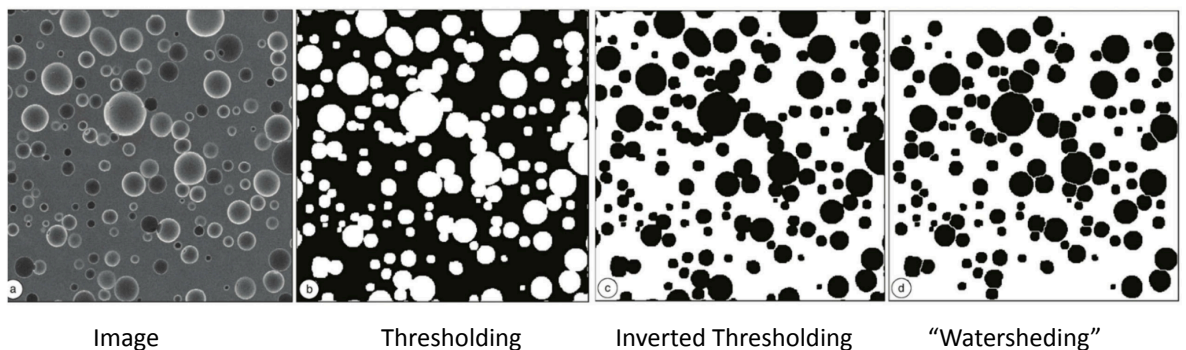


Par ailleurs, pour modifier les fréquences d'une image, il est aussi possible d'appliquer des masques directement dans le domaine fréquentiel. Après cette étape de filtrage, la transformée de Fourier inverse permet de reconstruire une image modifiée, où les défauts ou les fréquences indésirables ont été supprimés (image d).



Thresholding :

Le thresholding (seuillage) est une technique qui permet de sélectionner différents objets ou zones en fonction de leurs niveaux de luminosité. En fixant une valeur de luminosité comme seuil, les pixels plus clairs deviennent blancs et les pixels plus sombres deviennent noirs. L'image obtenue est alors binaire, ce qui permet de distinguer plus facilement les détails et de segmenter les différentes phases de l'image.



La dernière étape de l'analyse, appelée watershed, est une méthode de segmentation permettant de séparer automatiquement des objets en contact dans une image binaire. Elle repose sur trois opérations principales. Une érosion est d'abord appliquée pour réduire les objets et supprimer les zones de contact, puis une dilatation permet de reconstruire leur forme. En parallèle, une carte de distance euclidienne est calculée afin d'attribuer à chaque pixel une valeur proportionnelle à sa distance du fond. Cette représentation topographique sert de base à une "inondation" virtuelle, où la rencontre de deux zones remplies définit la frontière de séparation. Cette méthode permet d'obtenir une segmentation nette même lorsque les particules sont collées.

Analyse d'image avec ImageJ :

L'aire d'une particule en 2D correspond simplement au nombre de pixels appartenant à cette phase. Ainsi, pour estimer la taille réelle d'une particule, on remplace sa forme irrégulière par un cercle ou une sphère de même surface, ce qui permet de définir un diamètre équivalent. Une image 2D n'étant qu'une section d'un volume, l'analyse de plusieurs coupes permet ensuite d'estimer la taille, la densité et la distribution des particules dans le matériau. Toutes ces analyses peuvent être réalisées avec ImageJ.