

Résumé Semaine 12

Traitement d'Images n°2

MSE-352 Introduction à la Microscopie

Karl Abdelnour

Décembre 2023

Correction des défauts

Les opérations et procédures de traitement d'image visent à rectifier les imperfections des images acquises lors de l'utilisation d'un microscope. Celles-ci sont souvent causées par des détecteurs imparfaits, des limitations optiques, un éclairage inadéquat ou non uniforme ou encore un point de vue indésirable (l'effet d'ombrage en inclinaison d'un SEM en est un exemple).

Ces corrections sont appliquées après l'acquisition des images. Par conséquent, bien qu'elles puissent améliorer la qualité de l'image, le résultat final ne sera pas nécessairement optimal si les problèmes inhérents au processus d'acquisition initial ne sont pas résolus au préalable.

La correction des défauts se révèle bénéfique dans divers cas de figure :

- Imagerie à faible dose, souvent bruitée.
- Variations d'intensité engendrant des irrégularités sur les surfaces capturées.
- Présence de valeurs aberrantes, par exemple des artefacts tels que les rayons X ou les pixels morts.

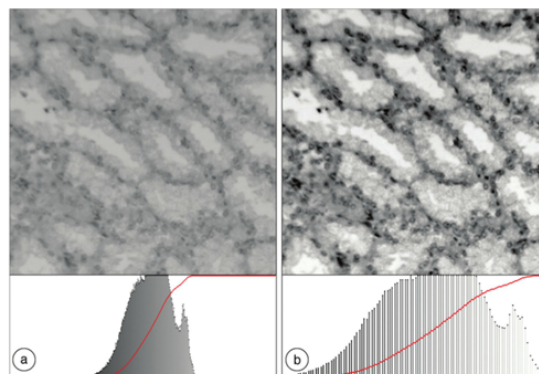
Image Enhancement

Un des éléments principaux traités lors de l'amélioration d'une image est son contraste qui facilite - ou non - la visibilité des structures de l'échantillon.

Les principales méthodes d'amélioration du contraste sont énoncées et décrites ci-dessous.

L'**expansion linéaire du contraste** permet de faciliter l'observation de certaines structures microscopiques en étirant la gamme de contraste gris. Il en résulte ainsi une couverture totale de l'étendue des gris possible par les pixels telle que décrite dans l'équation (1) ci-dessous.

$$P' = 255 \times \frac{P - darkest}{brightest - darkest} \quad (1)$$



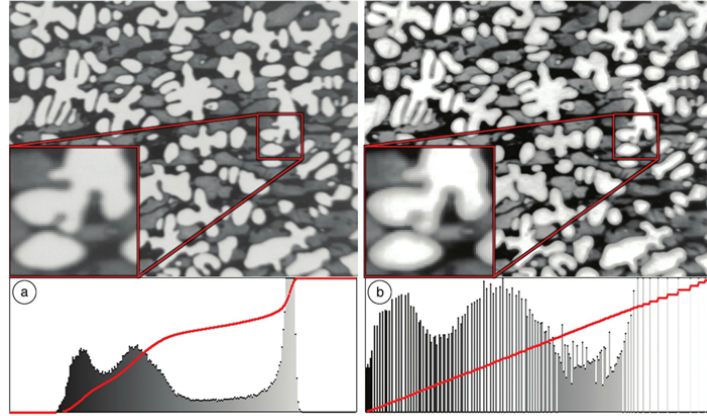


Figure 1: égalisation de l'histogramme

L'**égalisation par histogramme** permet de tracer une courbe représentant l'intégrale des valeurs de pixels afin de l'utiliser en tant que fonction de transfert. **La fonction de transfert va donc relier la luminosité enregistrée par chaque pixel à une certaine valeur.** Toute manipulation de la couleur ou luminosité d'un pixel va donc passer par celle-ci. L'égalisation par histogramme permet à tous les pixels de représenter l'ensemble des niveaux de luminosité présents.

Elle peut être représentée par l'équation suivante :

$$f(j) = \frac{255}{T} \times \sum_{i=0}^j N_i \quad (2)$$

La modification d'une fonction de transfert se traduit par la modification d'une valeur γ telle que

$$\left(\frac{\text{display}}{255}\right) = \left(\frac{\text{original}}{255}\right)^\gamma \quad (3)$$

Un exemple d'une telle modification est explicitée ci-dessus ci-dessous.

Il est aussi possible d'utiliser des filtres afin d'accentuer les contrastes, généralement en rendant les gris sombres plus sombres et les clairs plus clairs.

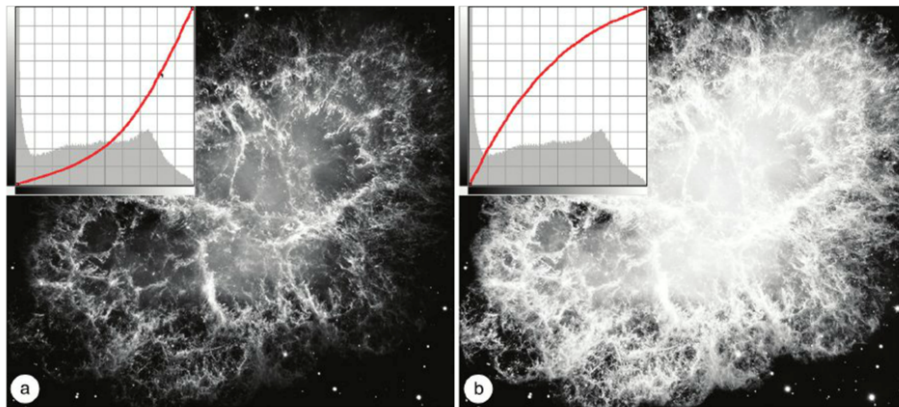
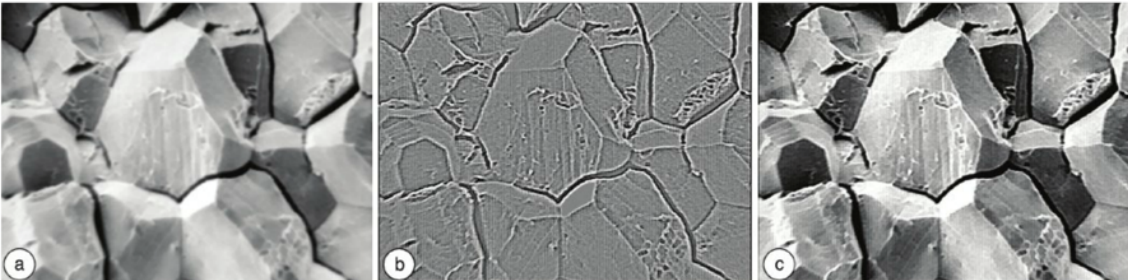


Figure 2: fonction "gamma"

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & \mathbf{+8} & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & \mathbf{+9} & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

SEM raw image Laplacian operator sharpening (a+b)



Le **laplacian sharpening** permet d'accentuer le contraste local au niveau des bords, les rendant ainsi plus visibles.

Le **kernel sharpening** est une autre méthode qui permet d'accentuer les contrastes visibles au niveau des bords en augmentant les niveaux de gris visibles.

Une dernière méthode est la **détection de bords** qui consiste à prendre en compte les valeurs de luminosité des pixels en prenant leurs premières dérivées en différentes orientations afin de détecter les bords. Plusieurs techniques de détection des bords existent mais la détection de **Sobel** est la plus importante. Elle consiste à combiner une paire de deux noyaux de convolution 3×3 dont l'un est tourné de 90° afin d'obtenir l'image finale.

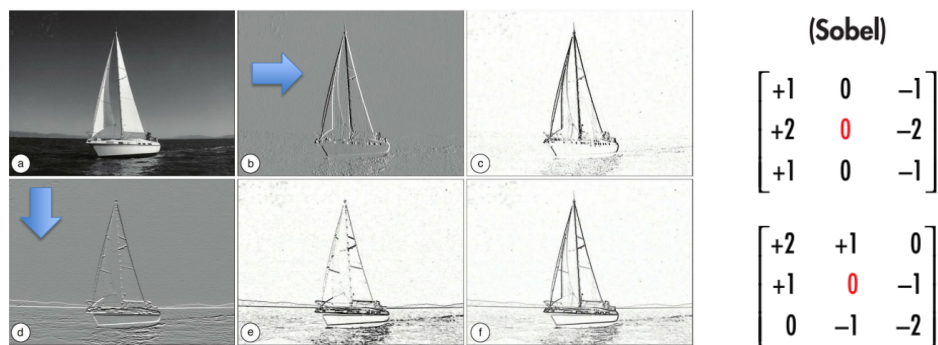


Figure 3: Exemple d'une utilisation de la détection de bords de Sebel

Traitement d'images dans le domaine fréquentiel

Les images peuvent être traitées grâce aux transformées de Fourier.

En appliquant la formule de la transformée de Fourier à une image de taille $N \times N$, chaque point de la transformée $F(k, l)$ est associé à une fréquence spécifique de cette image. Cette transformée permet de décomposer l'image réelle dans un espace fréquentiel.

La Transformée de Fourier montre la périodicité spatiale de l'image, mettant en évidence les régularités et les motifs récurrents si présents. Cela permet d'identifier **les composants périodiques** de l'image et de séparer les parties non périodiques qui représentent généralement du bruit.

La Transformée de Fourier inverse, quant à elle, permet de reconstruire une image nettoyée du bruit en appliquant une transformation inverse après avoir supprimé les composants non périodiques.

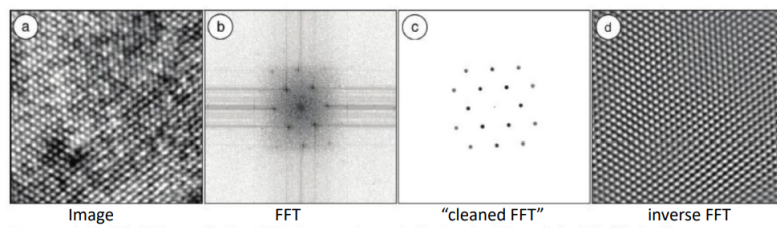


Figure 6.12 (a) High-resolution TEM image of atomic lattice in silicon (a), with (b) the frequency transform. (c) Isolating just the periodic frequencies and (d) retransforming shows just the atom positions.

Figure 4: Exemples d'un traitement d'image par transformation de Fourier

En plus de cette méthode de nettoyage des images, des filtres de fréquences peuvent être appliqués pour altérer sélectivement les différentes composantes fréquentielles de l'image :

- Les filtres passe-bas diminuent les hautes fréquences, conservant les basses fréquences, ce qui a pour effet d'atténuer le contraste et de lisser l'image.
- Les filtres passe-hauts diminuent les basses fréquences, accentuant ainsi les contours et les détails.
- Les filtres passe-bandes ne laissent passer qu'un intervalle spécifique de fréquences.
- Le filtre de Butterworth, un type de filtre passe-bas, utilise une formule spécifique pour atténuer les effets d'oscillation, contribuant ainsi au lissage de l'image. Il est possible également d'utiliser un masque de Fourier pour sélectionner sélectivement les pics d'intensité dans l'image, mais une sélection précise est nécessaire pour ne pas altérer la fidélité de l'image.

Segmentation and Thresholding

Le *thresholding* (ou seuillage en français) est une technique de traitement d'image visant à convertir une image en niveaux de gris en une image binaire dont les pixels sont catégorisés en deux groupes distincts en fonction d'un seuil prédéfini. Le seuillage permet donc de simplifier l'image en vue d'une analyse.

Il existe plusieurs techniques de seuillage dont le *watersheding*, une méthode qui s'appuie sur les "courbes d'altitude" des particules (c'est-à-dire la distance par rapport au bord) pour les séparer dans le cas où deux particules se touchent.

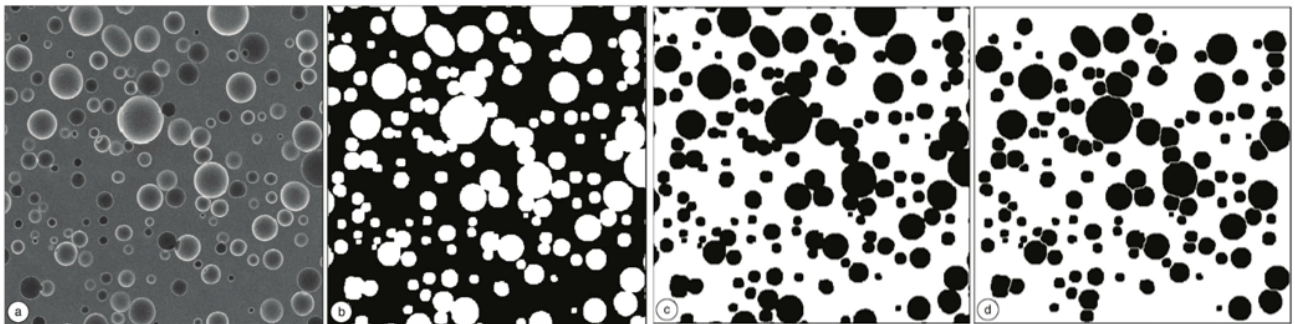


Figure 7.7 Thresholding the background: (a) image of pores in epoxy resin; (b) thresholded intermediate gray background pixels and eliminating isolated regions that do not connect to the image boundaries; (c) inverted image delineating the pores; (d) a watershed applied to separate the measurable pores.

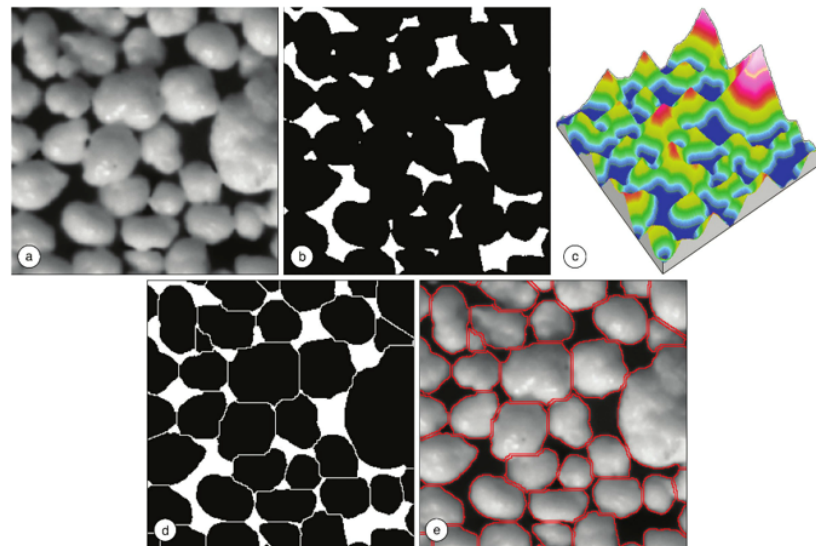


Figure 5: Représentation visuelle du principe du watershed

Mesures sur image

Les images 2D obtenues par microscopie électronique n'étant en réalité qu'une représentation d'une information tridimensionnelle, il est parfois nécessaire de retrouver l'information 3D à partir de la 2D.

Cela concerne notamment les mesures de taille, de fractions volumiques ou encore de distribution.

Ces mesures sont souvent effectuées sur des logiciels comme *ImageJ*.