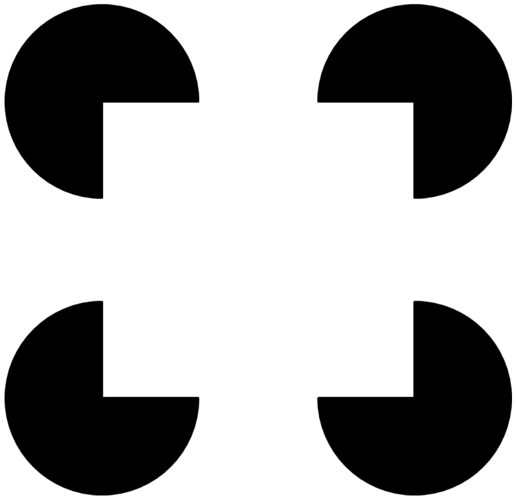
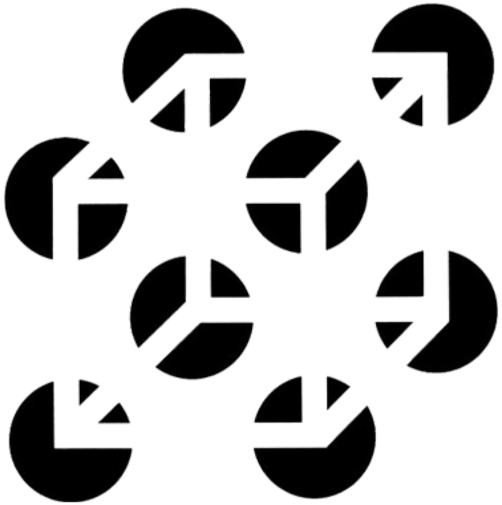
Notre capacité à extraire des informations à partir d'une image repose sur notre système visuel et notre facilité à associer les formes perçues à des informations plus complexes présentes dans notre esprit.





https://www.pngwing.com/en

→ qualité visuelle d'une image est essentielle pour l'interprétation.

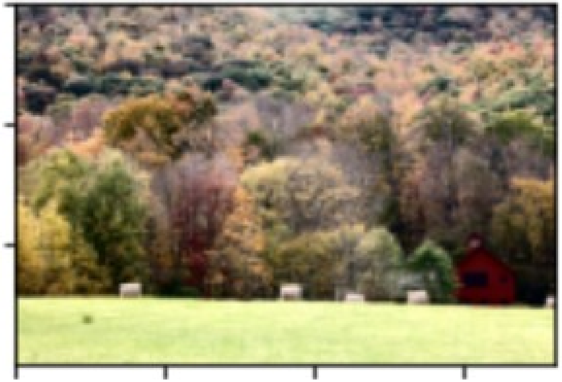
2 propriétés centrales - séparabilité des tons de gris;
- perception relative des couleurs.

Rehaussement (enhancement) : ensemble des procédés qui consistent à modifier l'aspect visuel d'une image pour faciliter son interprétation.

⚠ L'interprétation quantitative des luminances après rehaussement est problématique !

Approche globale : - Anamorphose d'histogramme.
- Transformée de Fourier.

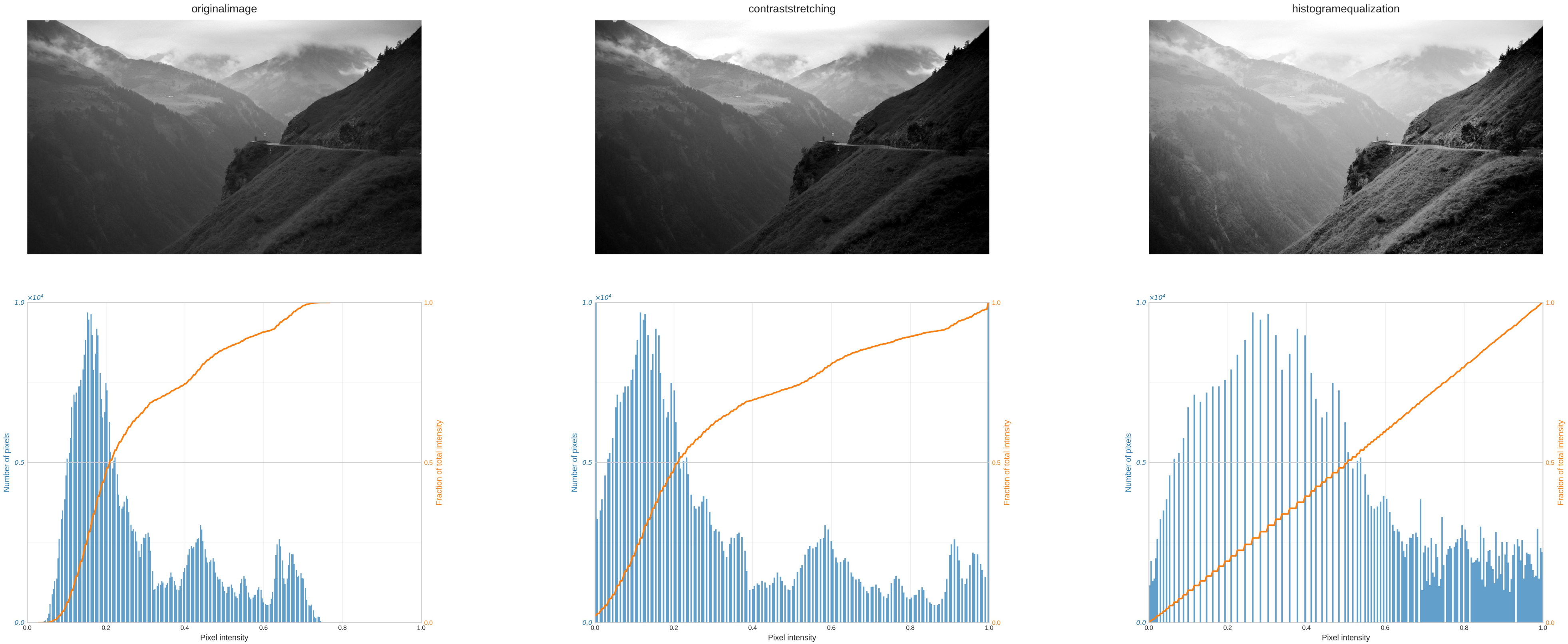
Approche locale : - Filtres spatiaux.
- Transformée en Ondelettes.



https://iq.opengenus.org/contrast-enhancement-algorithms/

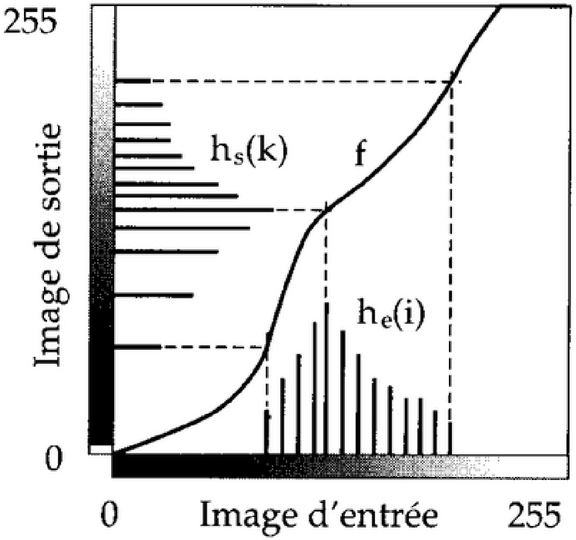
Anamorphose d'histogramme

Aspect visuel d'une image dépend fortement de sa dynamique (i.e., l'étendue des nuances ou couleurs présentes) et de sa luminosité (i.e., la position du pic de l'hist).



N. Clerx + https://scikit-image.org

Anamorphose = redistribution des fréquences sur l'échelles des niveaux de gris pour produire l'effet désiré.



Caloz, Précis Télédétection vol.3, 2001

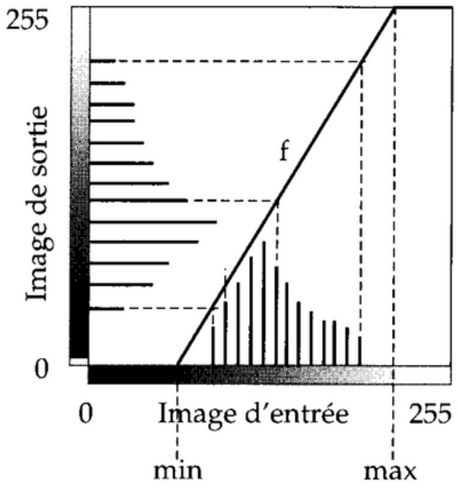
i	échelle des luminances ou tons de gris de l'image d'entrée.
k	échelle des tons de gris de l'image de sortie.
he(i)	histogramme de l'image d'entrée.
hs(k)	histogramme de l'image de sortie.
f	fonction (croissante) d'anamorphose.

Anamorphose - rehaussement par dilatation linéaire d'histogramme

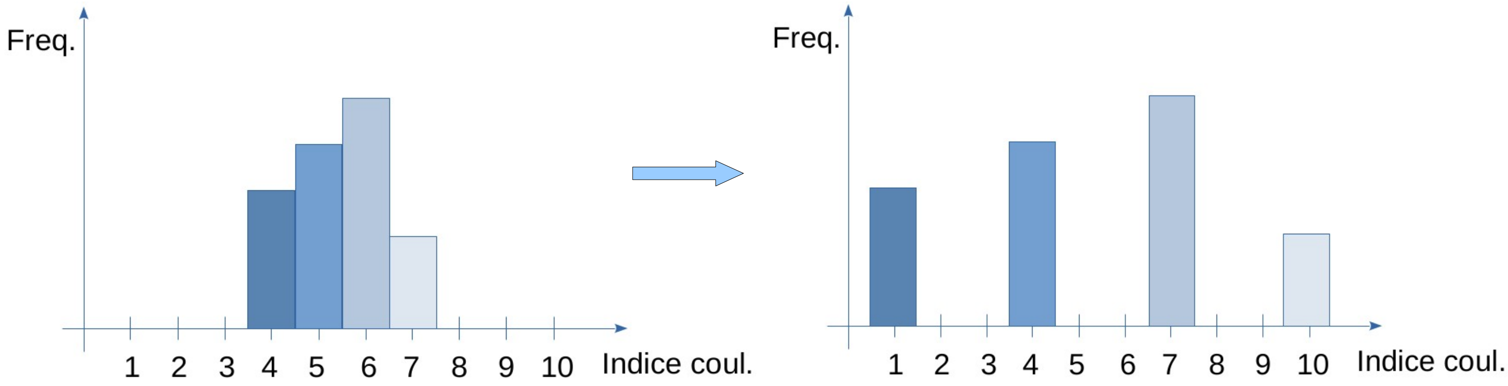
L'image d'entrée n'occupe qu'une partie de la gamme de tons de gris disponible (ici 256 niveaux). Donc image avec faible contraste.

Transformation de l'hist. pour couvrir une plus grande gamme de nuances.

$$hs(i) = (he(i) - he_{min}) \frac{hs_{max} - hs_{min}}{he_{max} - he_{min}} + hs_{min}$$



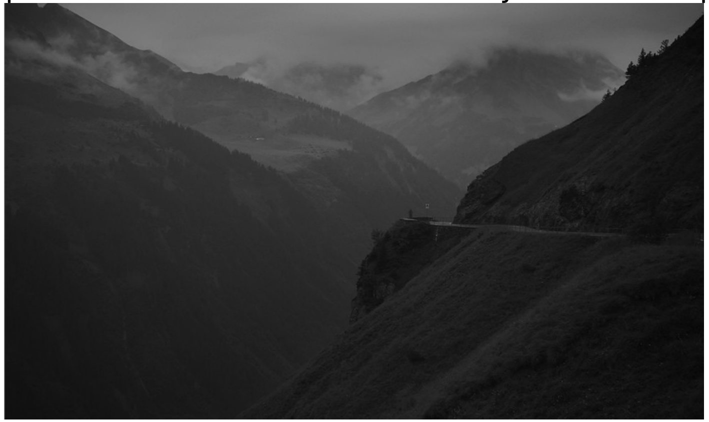
Caloz, Précis Télédétection vol.3, 2001

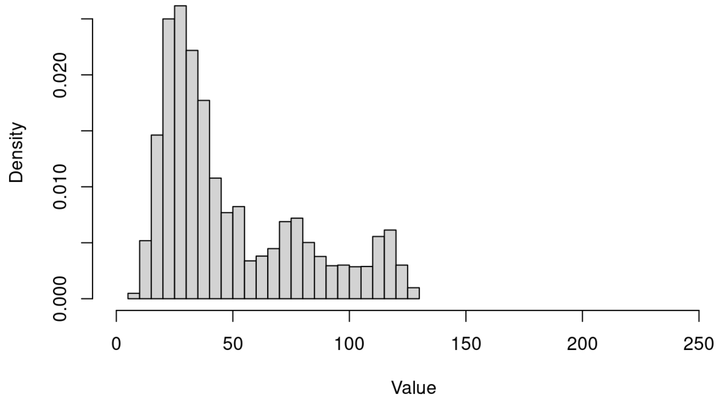


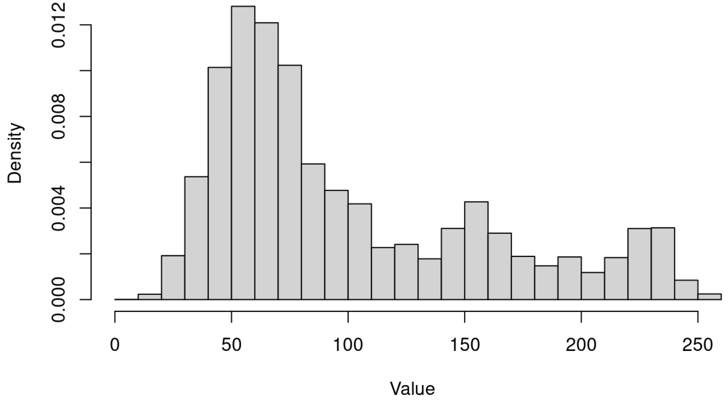
Anamorphose - rehaussement par dilatation linéaire d'histogramme

Exemple

https://www.aroundtheworldin800days.com/the-alps.html

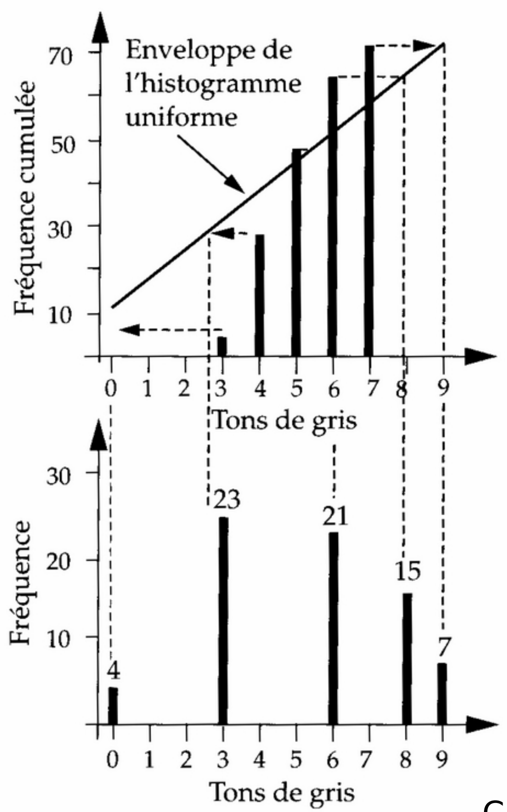


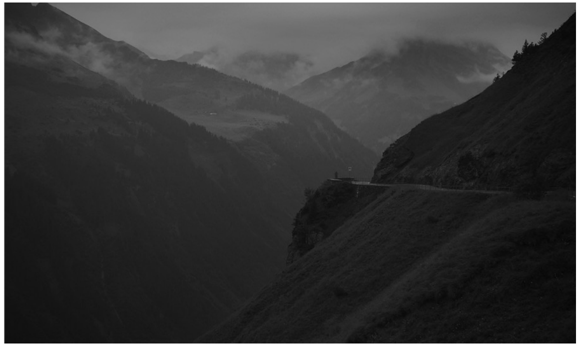


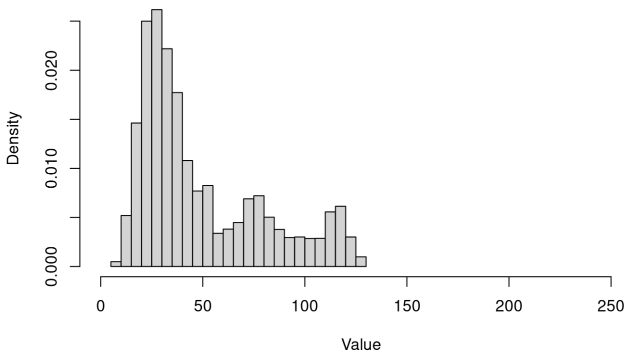


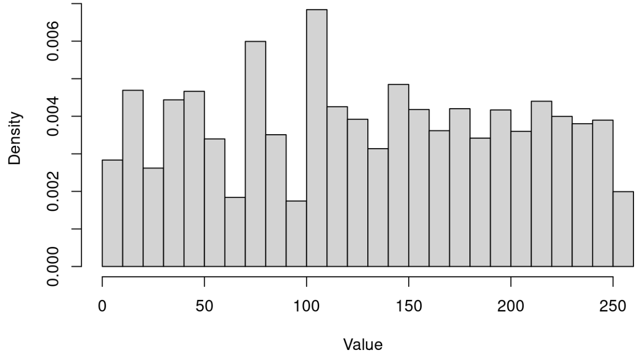
Anamorphose - rehaussement par égalisation d'histogramme

Objectif = utiliser toute l'échelle des gris avec même probabilité
→ augmentation du contraste.





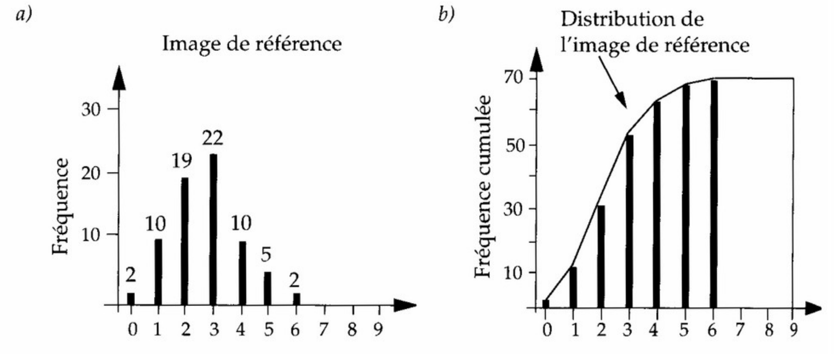




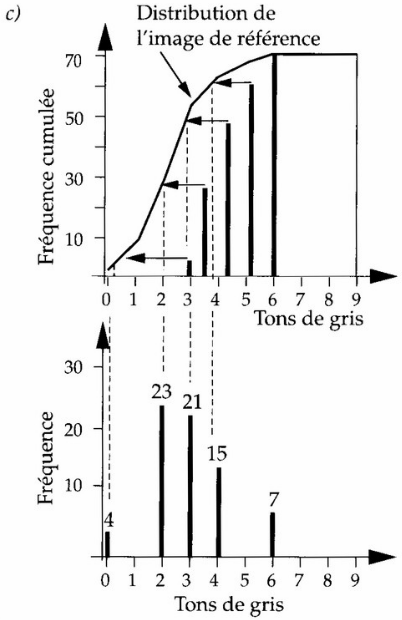
Caloz, Précis Télédétection vol.3, 2001

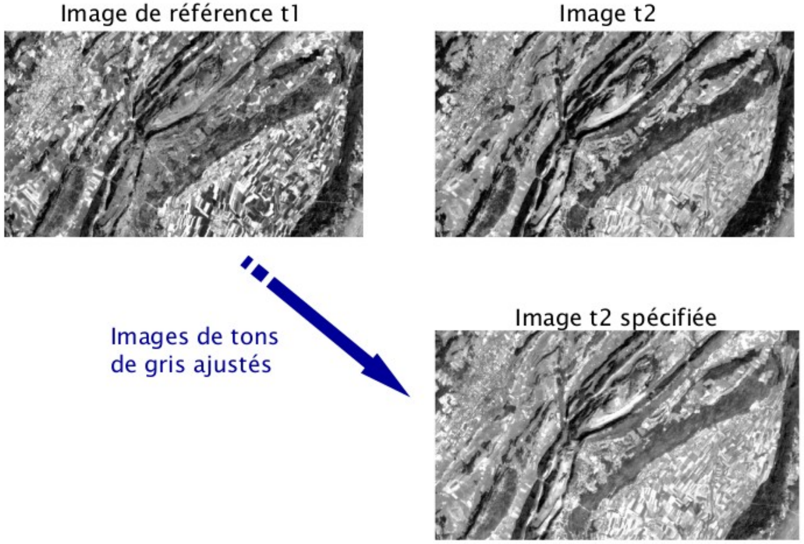
Anamorphose - rehaussement par spécification d'histogramme

Effets atm et angle de prise de vue influent sur la dynamique de l'image.
→ histogrammes d'une même zone peuvent être différents alors que les occupations du sol sont identiques.
→ on choisit l'histogramme d'une image comme référence et on adapte les autres de manière à ce que leurs distributions soient similaires.



Caloz, Précis Télédétection vol.3, 2001





Ex D. Tuia

Notion de traitement du signal – produit de convolution (1)

Signal f et opérateur (ex : filtre électronique, bassin versant,...) dont comportement est décrit par h.

Produit de convolution = intégrale/somme de f(x')h(x-x') sur l'espace où elles sont définies = la part de f se comportant comme h.

Notation : C(x) = (f * h)(x) (h est aussi appelé noyau de convolution)

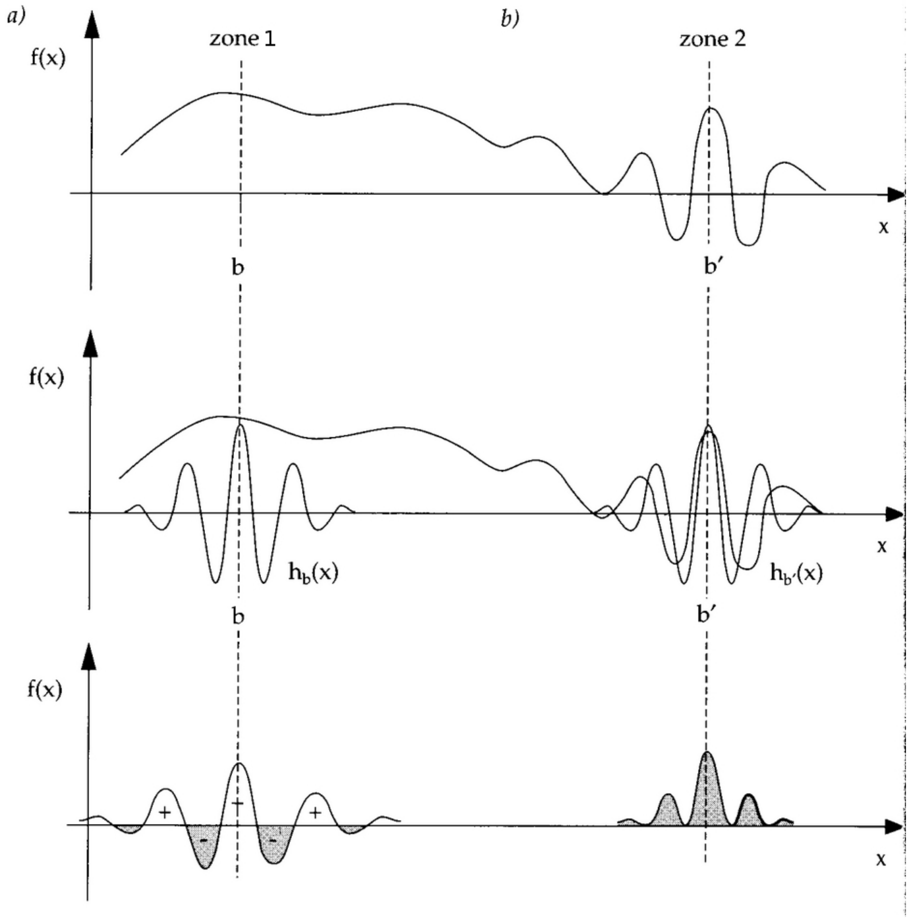
Fonctions continues :

$$c(x) = \int_{x' \in D} f(x')h(x-x')\,dx'$$

Fonctions discrètes :

$$c(k) = \sum_{k' \in N_D} f(k')h(k-k')$$

Notion de traitement du signal – produit de convolution (2)

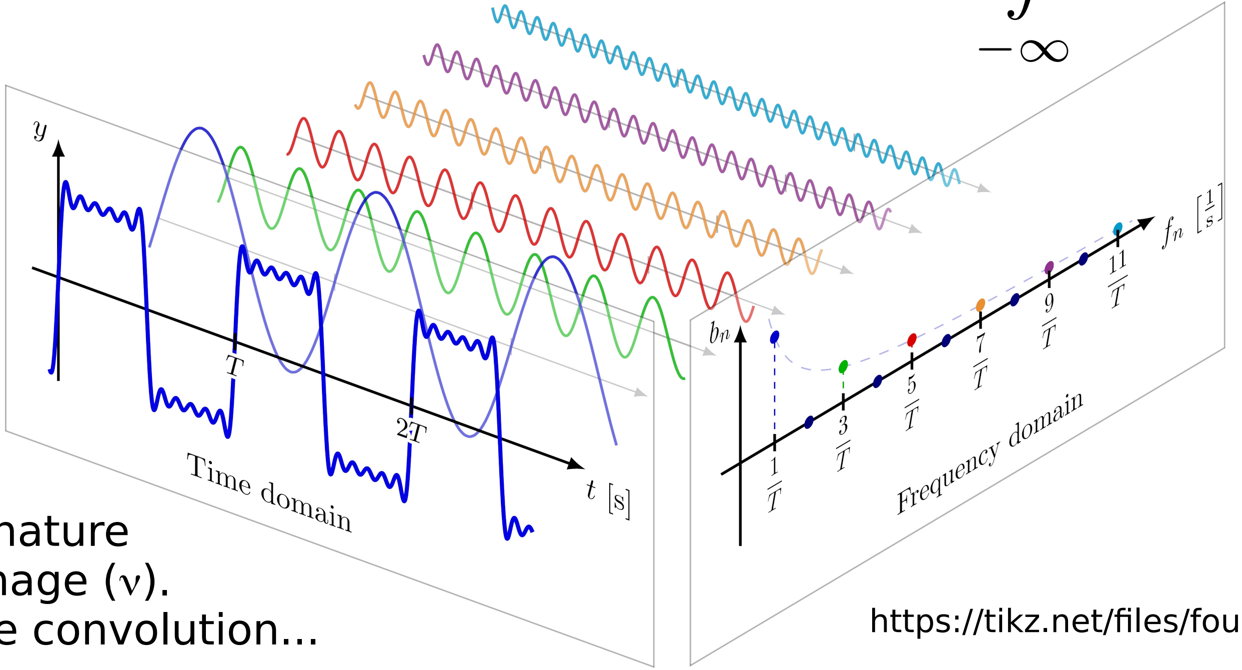


Caloz, Précis Télédétection vol.3, 2001

Transformée de Fourier (TF)

Transformée de Fourier $$F_f(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{-i2\pi\nu x}\, dx$$

Transformée inverse $$f(x) = F_f^{-1}\left[F_f(\nu)\right] = \int_{-\infty}^{+\infty} F_f(\nu) e^{i2\pi\nu x}\, d\nu$$

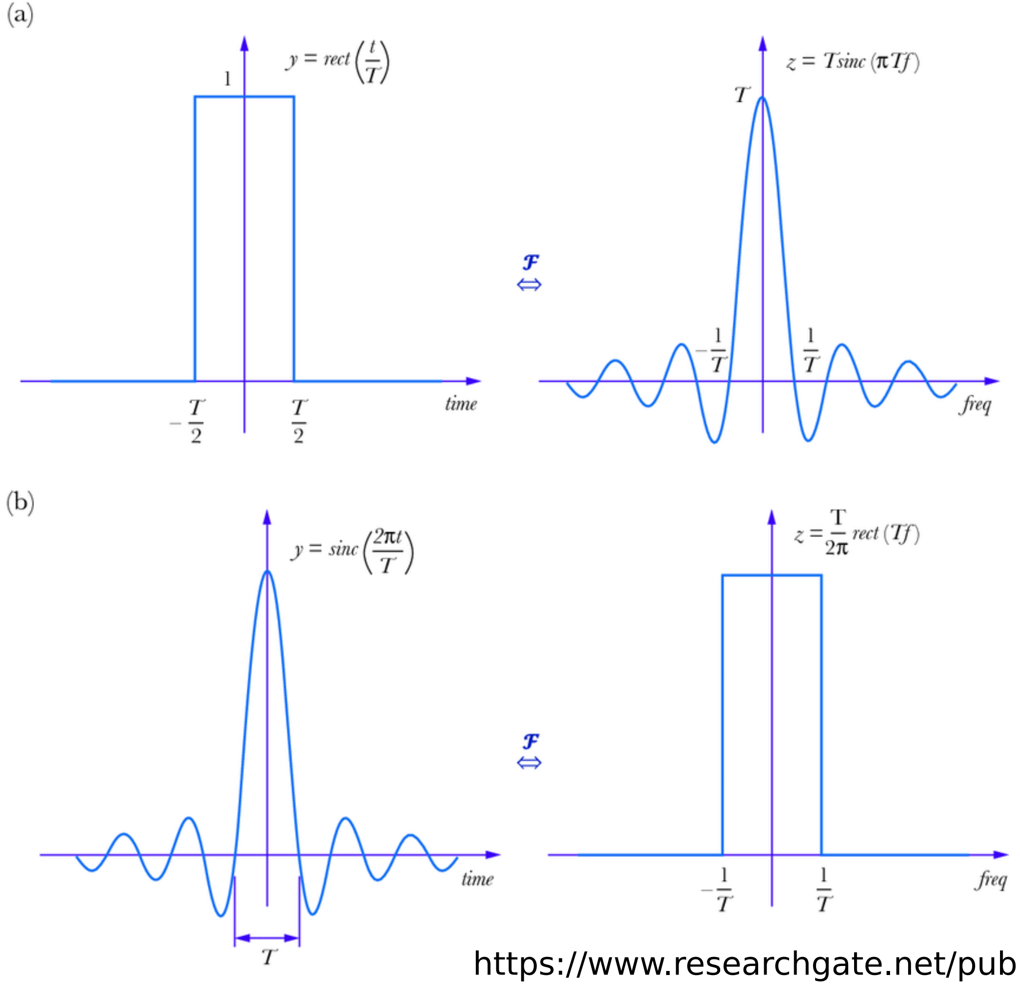


On s'intéresse à la nature fréquentielle de l'image (ν).
Lien avec produit de convolution...

https://tikz.net/files/fourier_series-011.png

Transformée de Fourier (TF)

représentation spatiale/temporelle



représentation fréquentielle

https://www.researchgate.net/publication/321716019/

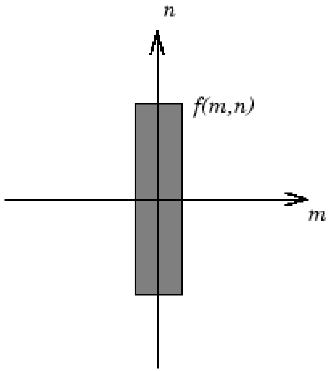
Transformée de Fourier d'une image

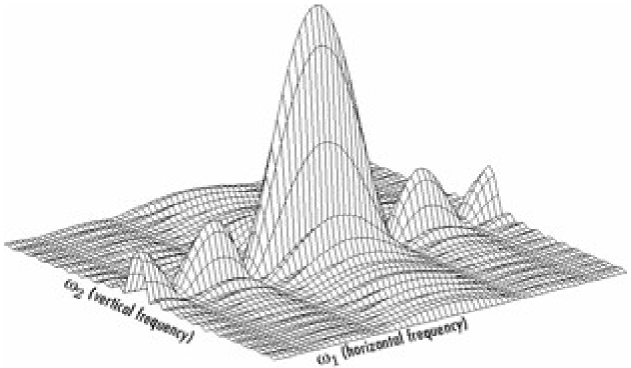
Signal discret en 2D

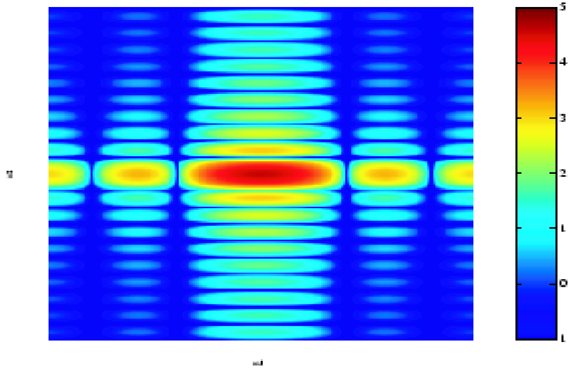
$$F_f(\nu_1,\nu_2) = \frac{1}{NM}\sum_{k=0}^{N-1}\sum_{l=0}^{M-1} f(k,l)e^{-i2\pi\left(\frac{\nu_1 k}{N}+\frac{\nu_2 l}{M}\right)}$$

$$F^{-1}(F_f(\nu_1,\nu_2)) = \frac{1}{NM}\sum_{k=0}^{N-1}\sum_{l=0}^{M-1} F_f(\nu_1,\nu_2)e^{i2\pi\left(\frac{\nu_1 k}{N}+\frac{\nu_2 l}{M}\right)}$$

Spectrogramme = Log[(Amplitude de la TF)²]

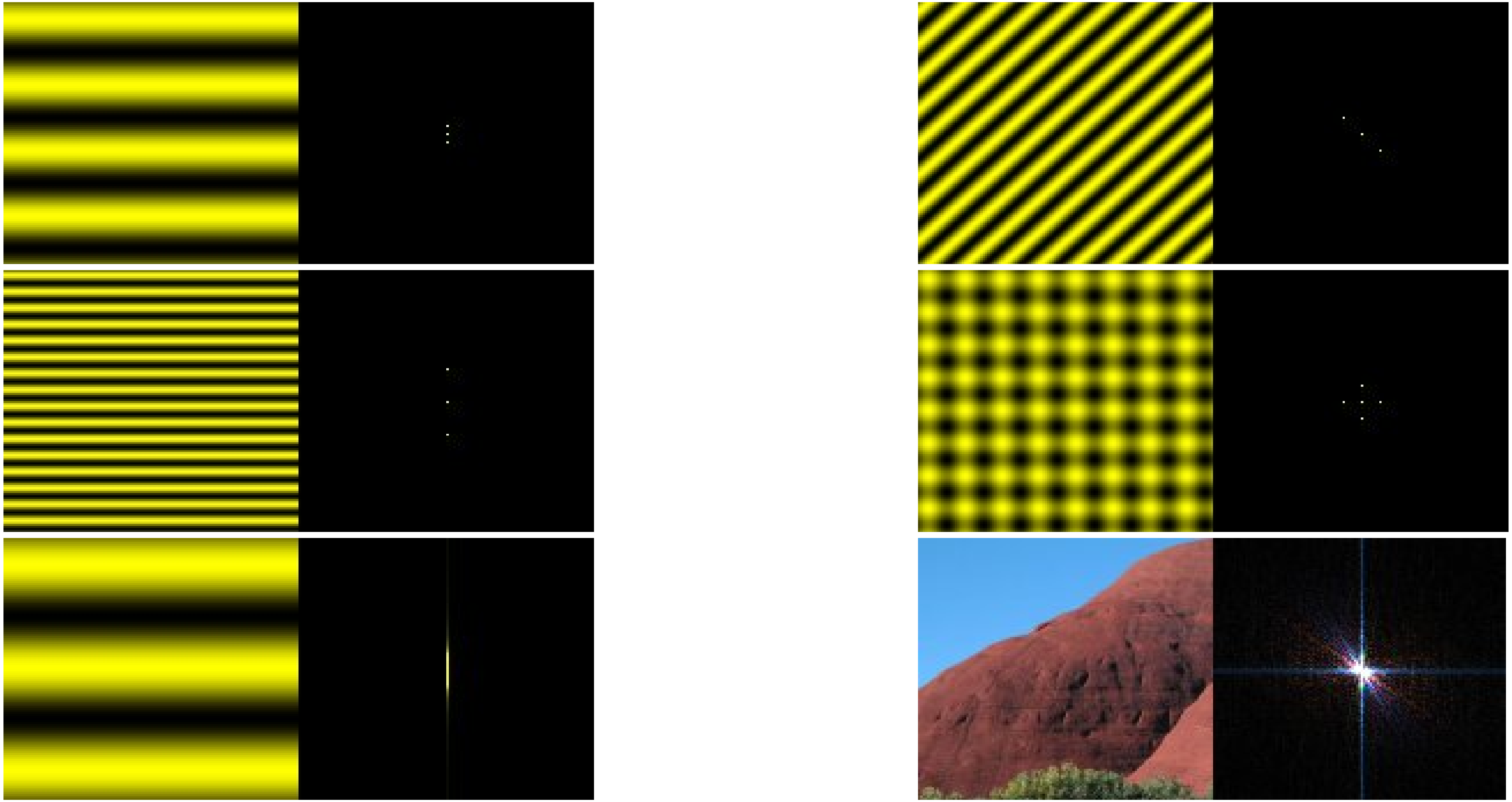






https://ch.mathworks.com/help/images/fourier-transform.html

Ex. de transformée de Fourier d'images simples

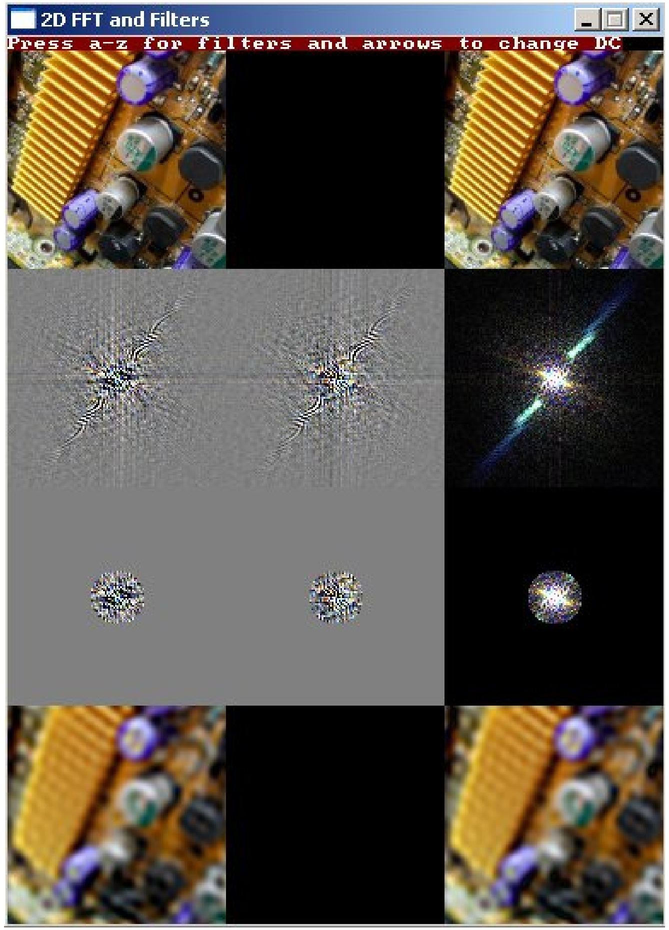


http://www.academictutorials.com/graphics/graphics-2d-fourier-transform.asp

Rehaussement avec la transformée de Fourier (1)

1. Calculer transformée de Fourier de l'image.
2. Analyser fréquences des phénomènes à filtrer.
3. Les supprimer (avec masque construit à cet effet).
4. Utiliser transformée inverse pour reconstruire image filtrée.

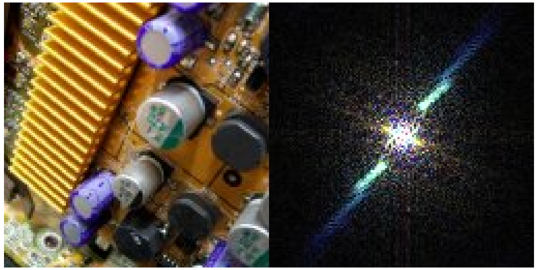
Re(image) Im(image) Am(image)



http://www.academictutorials.com/graphics/graphics-2d-fourier-transform.asp

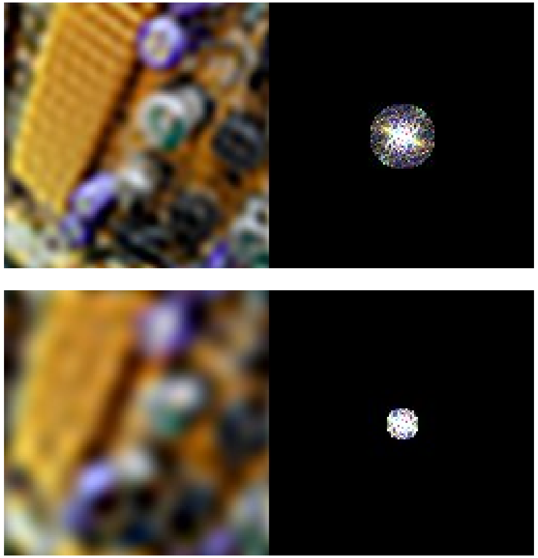
Rehaussement avec la transformée de Fourier (2)

Image originale

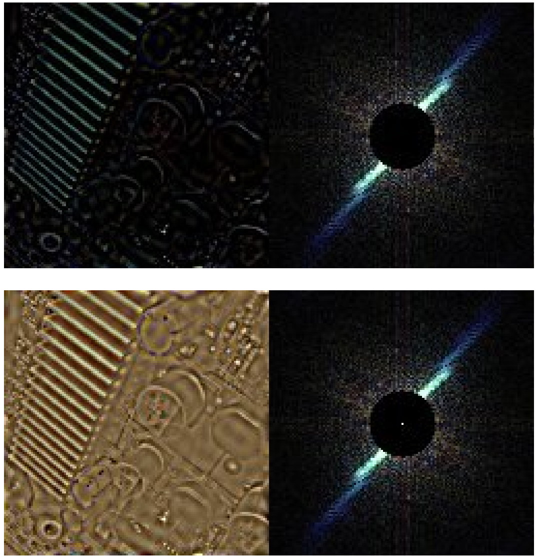


2D TF

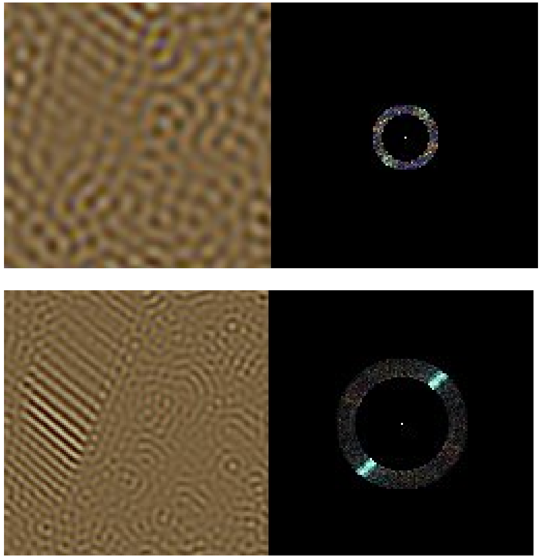
Filtre passe-bas



Filtre passe-haut



Filtre passe-bande



http://www.academictutorials.com/graphics/graphics-2d-fourier-transform.asp

Rehaussement avec la transformée de Fourier (3)

Limitations :

- Rehaussement global : filtrage sur fréquence uniquement, les propriétés locales de l'image ne sont pas prises en compte.

- La fréquence fondamentale dépend de la taille de l'image et de la résolution de l'image.

- Transformée de Fourier est une représentation purement fréquentielle. Nécessite va-et-vient entre domaine spatial et domaine fréquentiel.

Questions

1. Quelle est la spécificité de chaque type d'anamorphose ?

2. Rehaussement avec FFT : comment construire un filtre passe-haut ? À quoi cela sert-il ?

3. Même questions pour un filtre passe-bas.

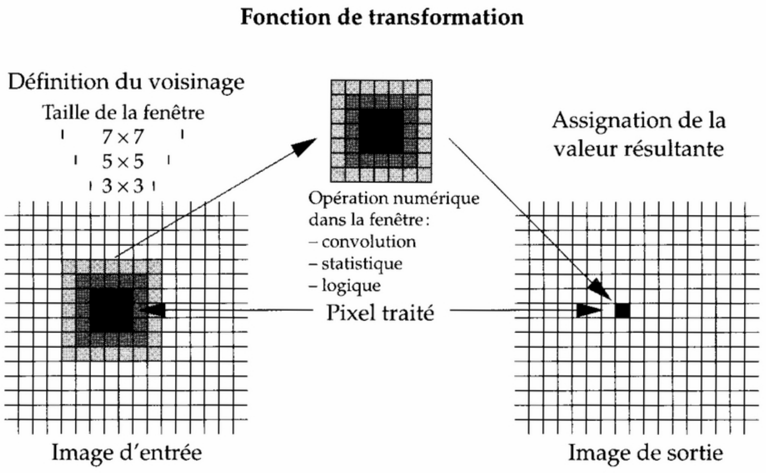
Rehaussement avec filtres spatiaux

Filtre = produit de convolution dont le noyau est une fenêtre glissante.
Les filtres spatiaux prennent en compte le voisinage du pixel considéré pour accentuer, atténuer ou extraire une propriété locale (gradient, moyenne, etc)

2 principales actions :

- Lissage
réduction des variations spatiales de l'image
→ image “adoucie” au contraste lissé.
Importance des basses fréq. → filtres passe-bas.

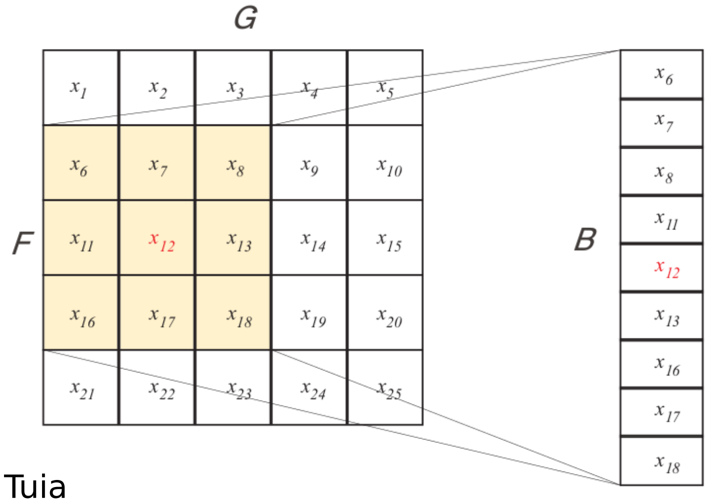
- Rehaussement local
amplification des variations entre pixels voisins (gradient).
Importance hautes fréqu. → filtres passe-haut.



Caloz, Précis Télédétection vol.3, 2001

Lien avec la convolution

On veut filtrer le pixel x_{12} de l'image G, avec le filtre F sur une fenêtre 3x3



D. Tuia

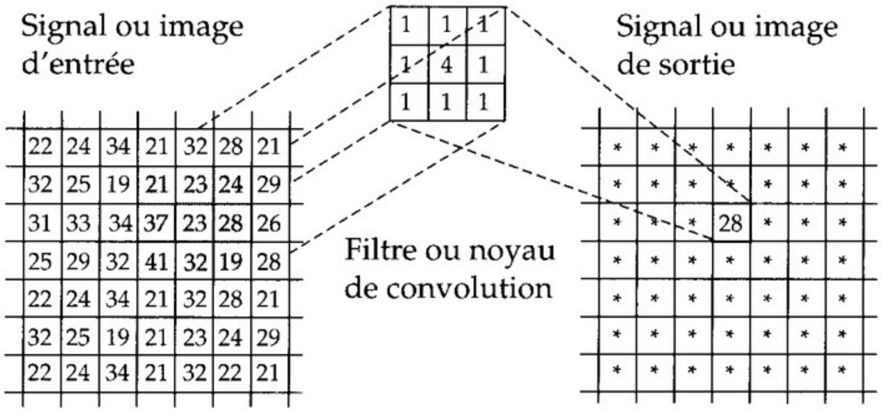
On définit F :

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 1 & 4 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow F = [1, 2, 1, 1, 4, 1, 1, 2, 1]^T$$

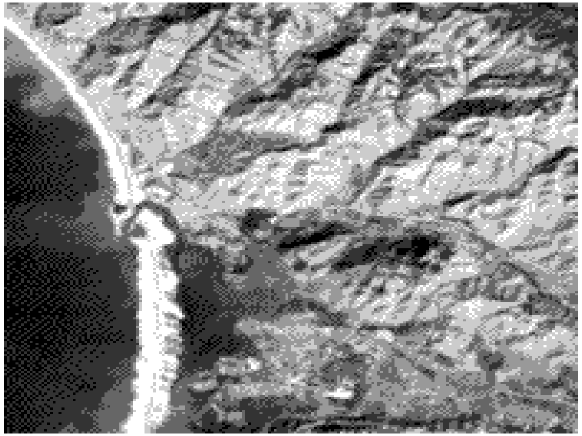
Le filtre spatial correspond au produit de convolution de F et B :

$$x'_{12} = \frac{1}{M} F^T B = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{m^2} F_i B_i \qquad \text{où} \quad M = \sum_{i=1}^{m^2} F_i$$

Rehaussement avec filtre spatial linéaire passe-bas

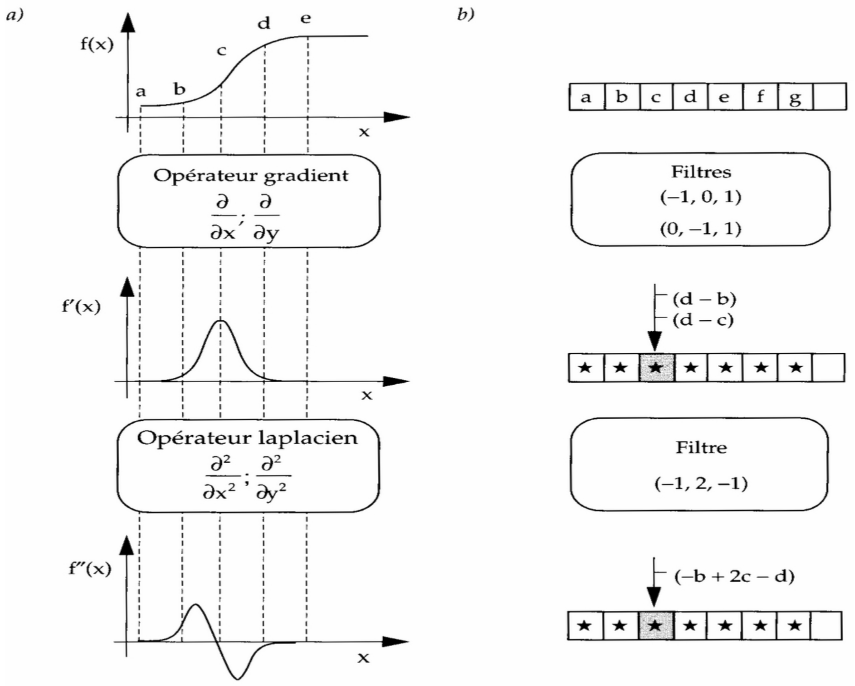


Caloz, Précis Télédétection vol.3, 2001

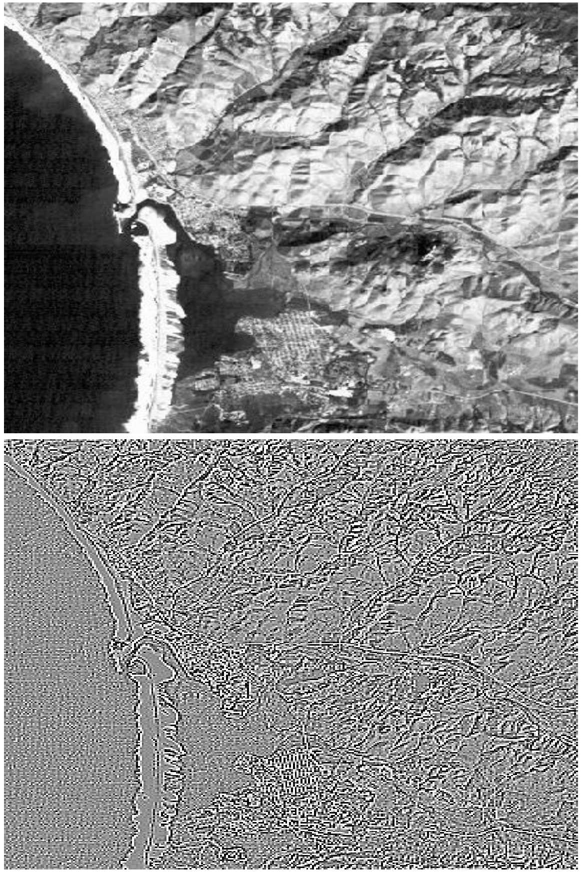


http://rst.gsfc.nasa.gov/
Sect1/Sect1_13.html

Rehaussement avec filtre spatial linéaire passe-haut



Caloz, Précis Télédétection vol.3, 2001



Somme coef = 0 pour avoir 0 dans les zones homogènes

http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect1/Sect1_13.html

Rehaussement avec filtres spatiaux statistiques

a) Image originale

b) Filtre moyenne 5x5

c) Filtre médiane 5x5

d) Filtre écart-type 5x5

e) Filtre interquantile 5x5

Ondelettes

Pour éviter les limitations de la transformée de Fourier, des outils d'analyses ont été développés, et en particulier les ondelettes.

Principe : fenêtre d'analyse glissante dont la taille varie en fonction de la fréquence → domaine fréquentiel ET spatial.

Ondelette = fonction qui “délimite” une fenêtre à un endroit donné et pour une échelle donnée, issue d'une ondelette mère par translation et dilatation.

Une ondelette mère doit être de moyenne nulle et de carré sommable :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(x)\, dx = 0 \qquad \int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(x)|^2\, dx \text{ existe}$$

Ondelettes

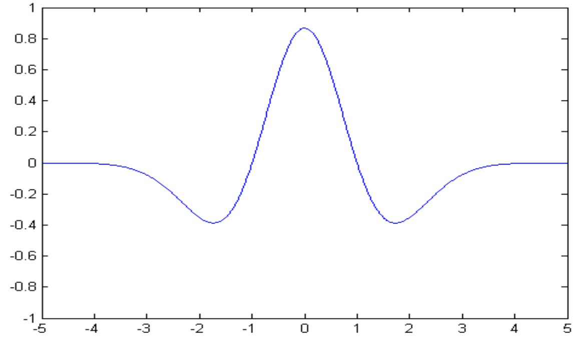
L'ondelette fille se déduit de l'ondelette mère : $\psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$

a : paramètre d'échelle
b : paramètre de translation

Exemples d'ondelettes

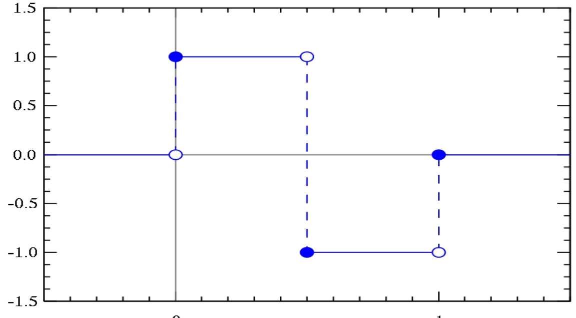
Ondelette de Ricker ou "Mexican hat" :

$$\psi_\sigma(t) = \frac{2}{\sqrt{3\sigma}\pi^{1/4}}\left(1 - \frac{t^2}{2\sigma^2}\right)e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$$



Ondelette de Haar :

$$\psi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \le t < 0.5 \\ -1 & 0.5 \le t < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

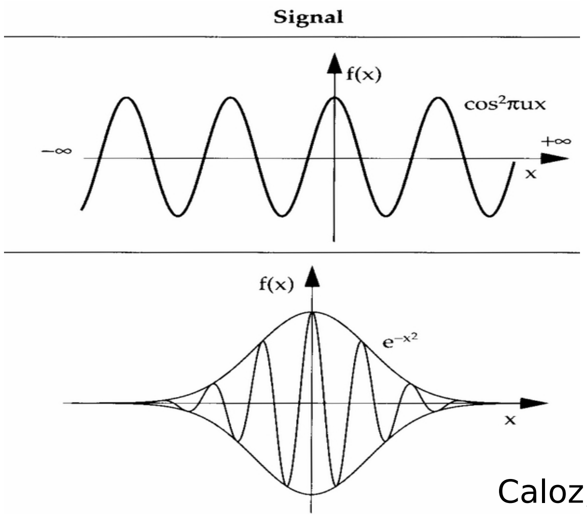


Transformée en ondelettes (wavelet transform)

On définit la transformée en ondelettes W d'une fonction f par

$$W_f(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\psi_{a,b}(x)\,dx$$

Transformée de Fourier



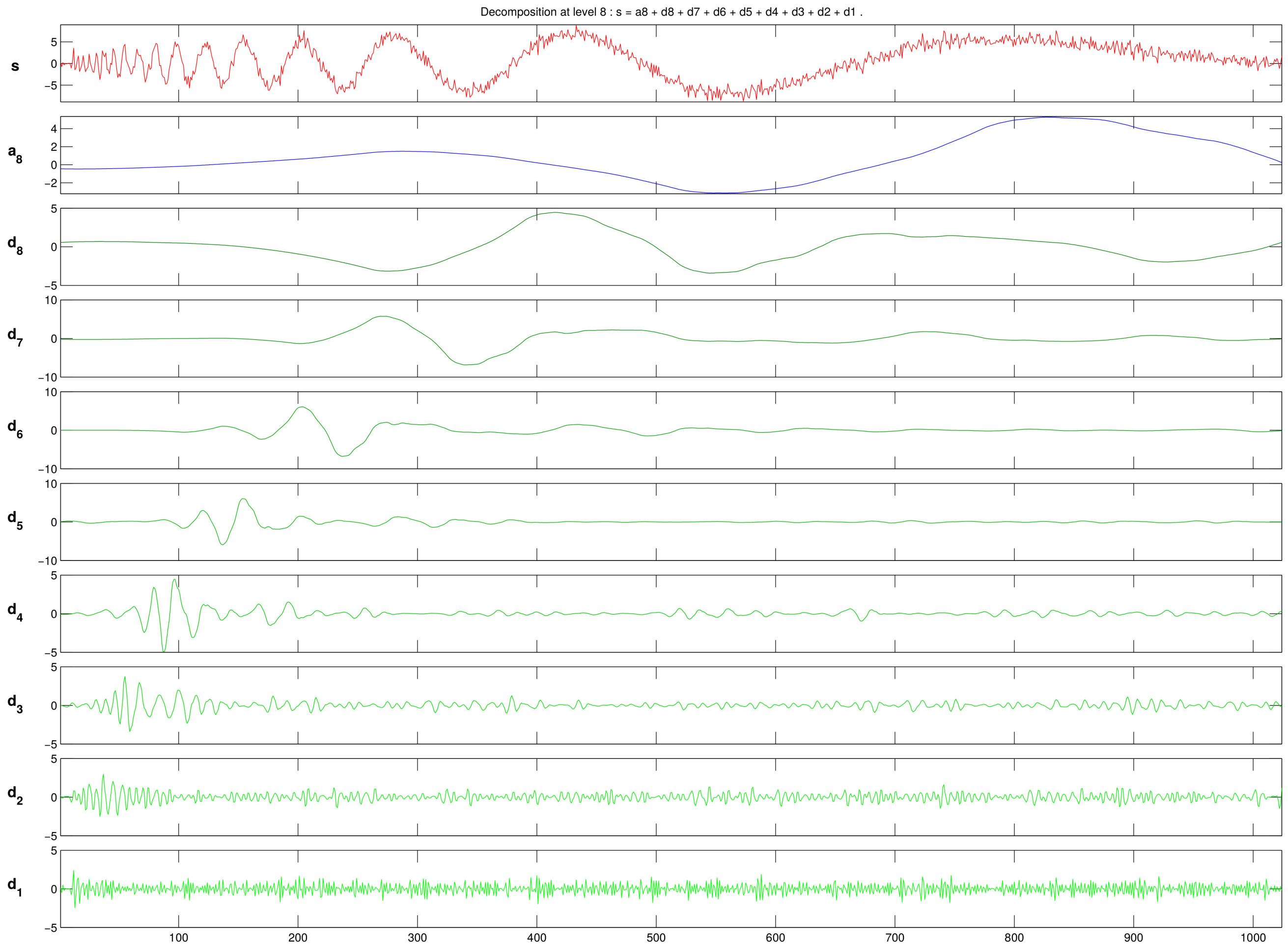
Transformée en ondelettes

Caloz, Précis Télédétection vol.3, 2001

Lien avec produit de convolution.

Transformée en ondelettes **continue (CWT) ou discrète (DWT)**

Décomposition de données 1D avec la transformée en ondelettes



Exemple tiré du paquet Wavemenu de Matlab (Doppler – 8 levels - db4)

Décomposition d'une image avec la transformée en ondelettes

Transformée en ondelettes permet de décomposer une image en une succession de sous-images de résolution moindre et de conserver (sous forme appropriée) les informations perdues à chaque étape pour pouvoir reconstruire l'image initiale. Concept de représentation multirésolution.

Histoire de l'image de Lena en traitement d'image : http://ndevilla.free.fr/lena/

Résumé des différents types de rehaussement et leurs applications

Type de traitement	Opérations	Produits
Action globale		
Type fréquentielle	Transformée de Fourier	Correction radiométrique Image avec rehaussement de contours
Type spatial	Anamorphose	Image lissée
Action locale		
Type fréquentiel	Transformée en ondelettes	Image en multirésolution Fusion d'images
Type spatial	Filtres passe-haut	Détection, renforcement de contours
	Filtres passe-bas	Lissage, réduction du bruit

Questions

1. Donnez un exemple de filtre linéaire passe-bas.

2. Donnez un exemple de filtre statistique passe-haut.

3. Qu'apporte au traitement d'image la transformée en ondelettes par rapport à la transformée de Fourier ?