ANALYSE D'IMAGES
Applicat à la métallographie

Métallographie au sens large : observat par lumière réfléchie des objets.

1 Struct d'1 image métallographique

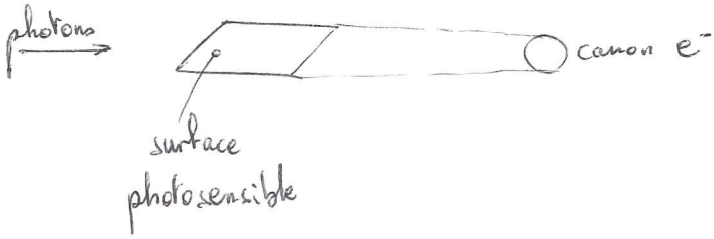
image en niveaux de gris ≡ photos noir et blanc.

Syst vidéo composite : mélange des couleurs (chrominance) et des intensités (luminance). → Syst PAL - CECAM

En métallographie : l'origine de l'image est dûe uniqu^t à la luminance.

2 Sources d'images métallographiques

Microscopie optique : capteur = caméra vidéo → à temps de vol

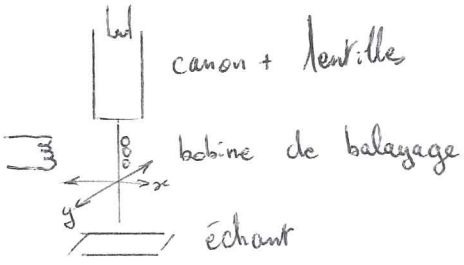


→ CCD

matrice de photo-diode se chargeant + ou - selon l'intensité lumineuse : analyse en luminance (courant électrique).

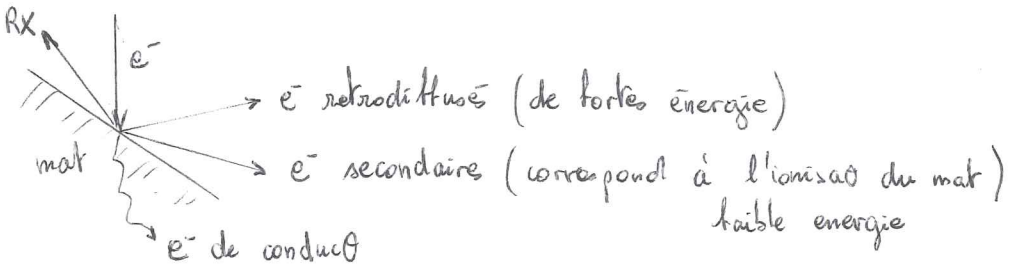
Microscopie électronique :

→ MEB :



le m^vt xy est synchronisé avec la récupérat du signal, retransmit sur 1 oscilloscope.

images obtenues :



la nature du contraste des images provient de la topographie et de la nature chimique.
Le capteur filtre les e⁻ secondaires. L'intensité du rayt réfléchi est fct de l'angle d'incidence → contraste révélateur de la topologie du mat.
Plus Z ↗, + le contraste est ↗ (+ d'électrons).
Les e⁻ secondaires sont proches de la surface (seuls ceux proches de celle-ci peuvent s'échapper) → ils sont + à nature topographique.
En analysant les RX : nature chimique de l'into essentiellemt.

→ MET : + raremt utilisé

contraste de l'image ∝ f(épaisseur de la lame mince, absorpt°, défauts cristallins).

3 But

Obtenir des paramètres pour quantifier l'image.

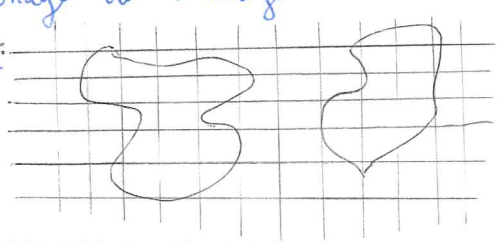
image : 512 x 512 x 8 = 256 kocters = taille de l'image
↓
256 niveaux de gris

si 4 paramètre → 16 octets. (4 octet / réel) si para = réel.

Il y a donc 1 processus de simplificat° entre l'image et les paramètres désirés.

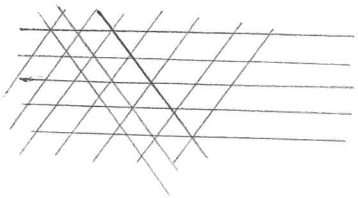
31 Echantillonage de l'image

Réseau carré :



A chq point de l'espace (noeud), on attribue 1 quantité de gris.
1 point élémentaire = 1 pixel.

Réseau hexagonal :



⚠ : ordinateur = réseau rectangulaire → conversion.

chq pt du réseau = addresse de l'ordinateur. A cette adresse : valeur de la luminance.

32 Processus type de l'AI

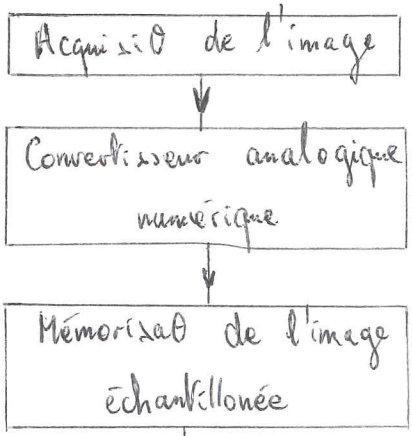


image = signal bidim, possé. dant 1 certain bruit.

le bruit a 1 fréquence ≠ de celle de l'image, généralement → filtrage de type passe-bas.

image = objets + fond → nécessité de relever les objets intéressants / fond
→ rehaussement d'image.
→ amélioration du contraste.

Pour faire ressortir les contours des objets : filtre passe haut ou seuillage.

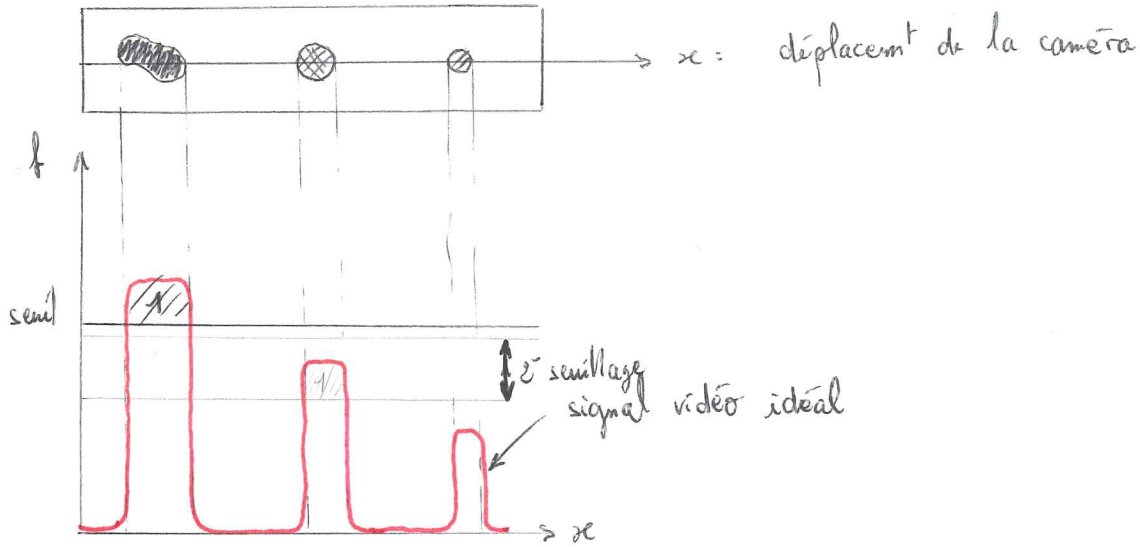
Seuillage : traduction d'1 image en niveaux de gris, en image binaire.

→ taille image divisée par 8.
→ 32 octets

car : image en niveau de gris : 256 niveaux : 1 pixel = 8 bits
image en binaire : 2 niveaux : 0 et 1 = 1 bit

On passe de 256 à 32 kocter.

Seuillage :



On met à 0 tous les pixels d'intensité I < seuil. 1 pour tous les autres.

Pour séléctionner uniquement l'objet d'intensité moyenne : 2e seuillage.

Ce type de seuillage est suffisant en métallographie dans 90% des cas.

→ image binaire, parfois encore trop compliquée.

On peut alors traiter l'image binaire pour la simplifier, généralement par des méthodes de morphologie mathématique.

4 Mesures possibles sur 1 mat

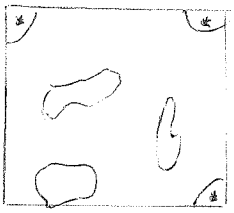
Les mesures doivent obéir à 1 certain nombre de contraintes :

image définie dans $\mathbb{R}^2$

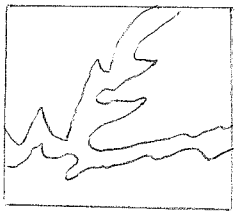
On a 1 coupe du mat, elle aussi définie dans $\mathbb{R}^2$. Cependant le mat est défini dans $\mathbb{R}^3$. Or on veut décrire des phénom physiques se passant en 3D.

→ 1er pbs

nature topologique de l'image : on distingue 2 catégories d'images :



objets séparés
phase dispersée



phases interconnectées
objets non séparés

car 1 seul objet : on peut passer d'1 objet à l'autre, sans quitter le réseau des objets → l'ens des objets forme 1 seul objet.

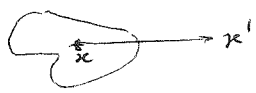
∃ bcp ⊖ de mesures possible ds le 2e cas. Ces 2 catégories sont des cas limites. → 2e pbs

On connait partiellemt la section : les objets * nous cachent leur surface complète.
→ 3e pbs

On va se placer ds le cas le + défavorable : 2e catégorie :

Hadwiger : 1952 : para bon pour l'analyse s'ils obéissent à 4 règles :

- l'invariance avec les translat° (ou les rotat° si pas anisotrope).



: en x et x' : m̂ mesure.

→ cdg n'est pas 1 mesure de l'objet.

- le para doit être homogène : 1 équat° aux dimensions : 1 surface, 1 volume ...
- Le para doit être additif : pour pouvoir moyenner.

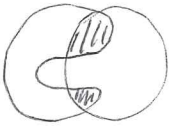
→ élimine par ex le para : taille maxi.

règle d'additivité : ensemble de X : Mesure (X)
ensemble de Y : Mesure (Y)

→ $\boxed{Me_s X + Me_s Y = me_s(X \cup Y) + me_s(X \cap Y)}$

vérifiant cette relation : surface, périmètre, et c'est tout de $\mathbb{R}^2$.

ex : si mesure = nb d'objets :



→ 1 + 1 = 1 + 2

→ nb d'objets n'est pas additif ! ennuyeux

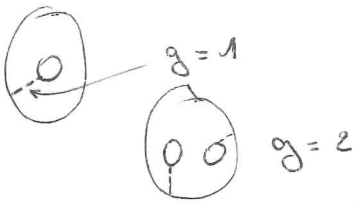
On remplace le nb d'objet par la caractéristique d'Euler-Poincaré : nb de connexités :

nb de connexités de $\mathbb{R}^2$ = nb de surfaces - Σgenre des surfaces.

$$\boxed{N_2(X) = \sum_{i=1}^{n}(1 - g_i)}$$

genre d'1 surface = nb de fois que l'on peut couper la surface sans perdre la connexité

ex : ← coupe → 2 objets → perte de connexité. → g = 0



si n trous → g = n

→ de $\mathbb{R}^2$: $\boxed{N_2(X) = \text{nb d'objets} - \text{nb trous}}$

de notre ex : 1 + 1 = 0 + 2

(X, Y, X∪Y, X∩Y)

Les paramètres stéréologiques :

ceux-ci vérifient 4 lois, dites lois de Hadwiger (1950) :

* Invariance avec les translations :

W = mesure de l'ens X

$X\vec{h}$: l'ens X translaté de $\vec{h}$

on a alors : $\boxed{W(X) = W(X\vec{h})}$

→ la mesure est indépendante de l'origine des coordonnées.

* Compatibilité avec les homothéties :

soit X : ensemble et λX : ens homothétique

l'homothétie est relative au grandissement des objets

Si X est 1 union finie de connexes :

$$\boxed{W(\lambda X) = \frac{1}{\lambda^n}\left(W(X)\right)} \qquad n \in \mathbb{N}$$

Par ex, les objets fractals ne satisfont pas cette relat° :

→ cette courbe n'admet pas de dérivées,

sa dimension est ∞ : $D = \frac{\ln 4}{\ln 3}$

cet objet possède 1 dimension > à sa dimension typologique ($D=1$)

* Additif :

Soient deux ens X et Y :

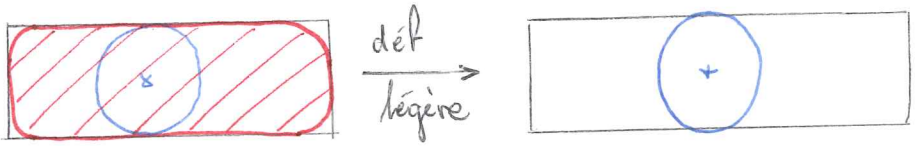
$$\boxed{W(X) + W(Y) = W(X \cup Y) + W(X \cap Y)}$$

cette règle est la + contraignante pour les paramètres.

* Le param doit être continu (ou ½ continu) :

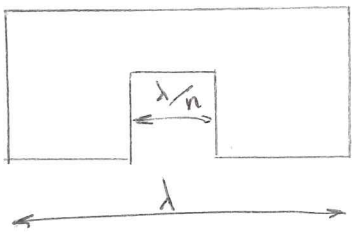
petite fluctuat° sur le para → petite fluctuat° sur la mesure.

Par ex, la surface d'1 objet n'est pas continue :



→ la surface va varier énormément $1/\lambda$ à la faible déf° du rectangle.
→ paramètre non-continu.

Le périmètre d'1 objet n'est pas continu, mais $1/2$-continu :

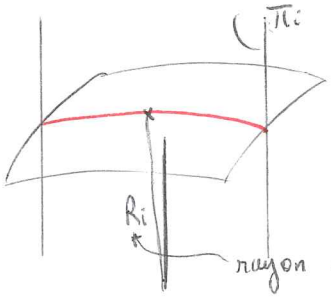


En analyse d'image, certains paramètres seront meilleurs que d'autres : la surface est 1 excellent paramètre d'analyse d'image.

□ Dans $\mathbb{R}^3$:

les 4 paramètres stéréologique sont :

le volume $V(x)$
la surface $S(x)$
l'intégrale de courbure moyenne $M_3(x)$
l'intégrale ——— totale $G(x)$



rayons de courbures principaux :

$\min R_i = R_1$
$\max R_i = R_2$

=> courbure au pt du plan π_i : $H_i = \frac{1}{R_i}$

courbure moyenne : $H(\Delta) = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$

courbure totale : $K(\Delta) = \frac{1}{R_1 R_2}$

→

$$M_3(x) = \iint_\Delta H(\Delta)\, d\Delta$$

$$G(x) = \iint_\Delta K(\Delta)\, d\Delta$$

pour 1 sphère, ∀ soit son rayon : $G(x) = 4\pi$

pour tout objet plein (pas de trou interne) : $G(x) = 4\pi$ ∀ sa forme

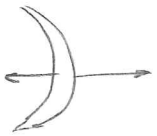
$G(x)$ ne dépend pas de la taille de l'objet, mais de sa topologie.

$V(x)$, $S(x)$, $M_3(X)$ sont des param métriques (ils possèdent tous 1 équat aux dimensions).

Formes limites pour des objets :

- sphère : $G = 4\pi$
- sphère creuse :

rq : $R > 0$ si la normale est est à l'objet :

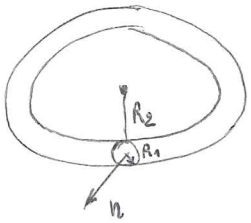


partie concave : $R < 0$

— convexe : $R > 0$

$$G = 2 \times 4\pi = 8\pi \qquad R_1 R_2 > 0$$

- tore



$$G = 4\pi \times K - 4\pi \times K = 0$$

Tout objet peut être assimilé à 1 union entre sphère, sphère creuse, tore.

□ dans $\mathbb{R}^2$:

les 3 para stéréol sont : surface $A(x)$

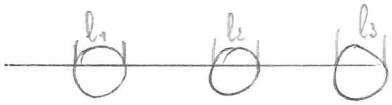
périmètre $L_2(x)$

intégrale de courbure $M_2(x) = \frac{1}{R}$

□ dans $\mathbb{R}^1$:

les 2 par stéré sont : longueur $L_1(x) = l_1 + l_2 + l_3$

nombre d'objets $N_1(x)$ (tous les objets interceptés par 1 droite sont comptés)



$N_1(x) = 3$

- dans $\mathbb{R}^0$:

le seul ps est le nombre de points $N_0(X)$ (nb de pixel à 1)

Tous les par stés peuvent être ramenés à l'unité d'espace d'analyse :

$\mathbb{R}^3$: $V_V(X) = \dfrac{V(X)}{\text{vol unitaire}}$

$S_V(X) = \dfrac{S(X)}{\text{v.u.}}$

$M_V(X) = \dfrac{M_3(X)}{\text{v.u.}}$

$G_V(X) = \dfrac{G(X)}{\text{v.u.}}$

$\mathbb{R}^2$: $A_A(X) = \dfrac{A(X)}{\text{surf unitaire}}$ $\quad L_A(X) = \dfrac{L_2(X)}{\text{s.u.}}$ $\quad M_A(X) = \dfrac{M_2(X)}{\text{s.u.}}$

$\mathbb{R}^1$: $L_L(X) = \dfrac{L_1(X)}{\text{long. unitaire}}$ $\quad N_L(X) = \dfrac{N_1(X)}{\text{l.u.}}$

$\mathbb{R}^0$: $P_P(X) = \dfrac{N_0(X)}{\text{nombre de points}}$

Relations stéréologiques :

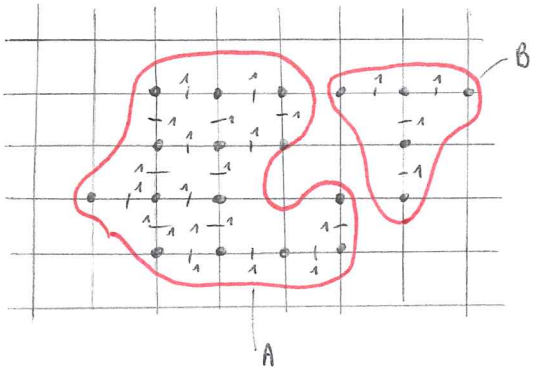
- $L_L(X) = P_P(X) = A_A(X) = V_V(X)$
- $S_V(X) = 4\ N_L(X)$
- $L_A(X) = \pi\ N_L(X)$
- $M_V(X) = M_A(X)$

Tout para topologique n'est accessible que dans son propre espace.

5 Techniques de mesure sur 1 A d'I.

$$P_P(X) = \frac{\text{nombre de points}}{\text{nombre total}}$$

N_L : nb d'objets / u de longueur (on compte les segments)



par filtrage
↓
segmentation
X : pixel à 1
X^c : " à 0
X^c = complémentaire de X

$2\pi N_2$ = (nb de parties connexes - nb de trous) $\times 2\pi$
↑
nb de connexités (déterminé grâce à la formule d'Euler).
= $M_3(X)$

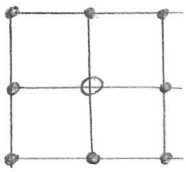
Relat d'Euler :

On considère 1 surface que l'on divise en polygones élémentaires :
carré, arête, sommets

6 sommets - 6 arêtes + 1 surface = 1 = nb de connexités

de notre ex A : nb de carré = 4
nb d'arête = 17
nb de sommets = 14
} 14 - 17 + 4 = 1
nb de connexités = 1

autre ex :



8 - 8 + 0 = 0

ex B : 5 - 4 + 0 = 1