

Plan du chapitre :

1. Transformations radiométriques et transformations géométriques

2. Rehaussement

3. Extraction d'information

Référence : Précis de télédétection, vol.3, Traitements numériques d'images de télédétection, 2001.

Image numérique formée d'un ensemble de pixels dont la valeur "code" la couleur.

Résolution "spatiale" (taille du pixel) et "signal" (nb de couleurs)

Pixel : 8 → 1



Couleurs : 256 → 4

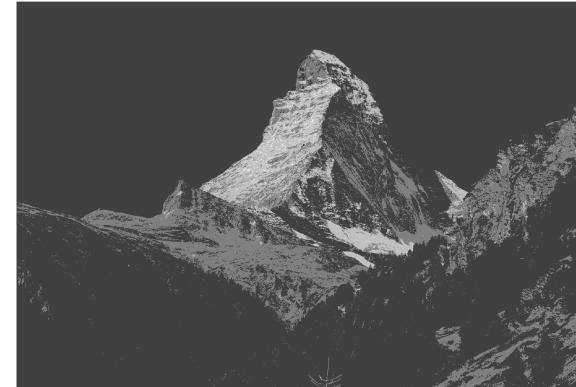


Histogramme d'une image = distribution de la valeur des pixels.

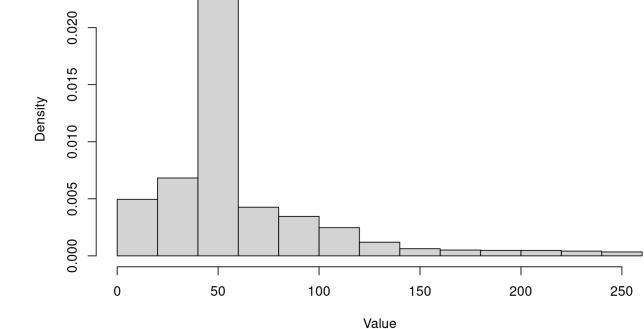
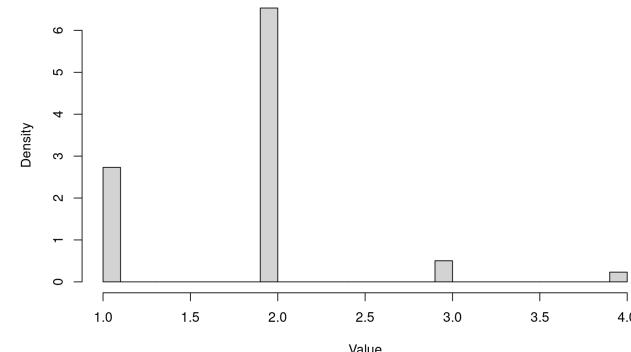
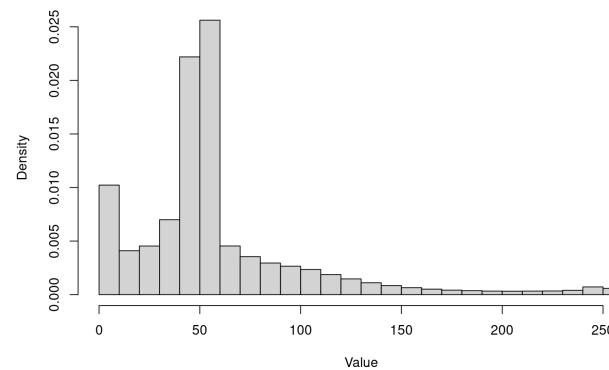
Pixel + petit, 256 couleurs



Pixel + petit, 4 couleurs



Pixel + grand, 256 couleurs



L'histogramme nous renseigne sur l'image...

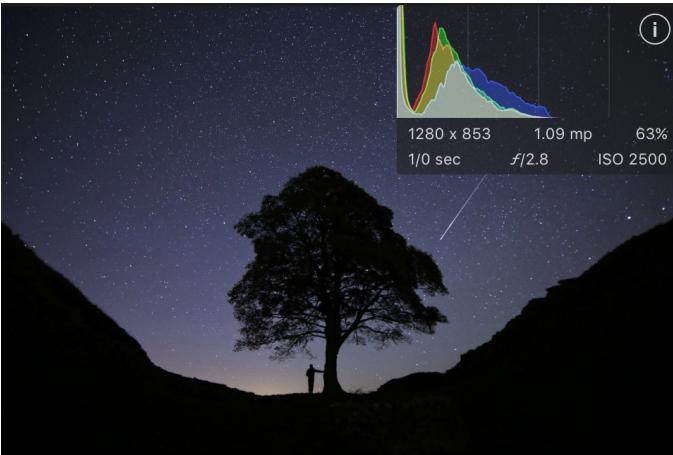


Image "sombre" → modes hist. vers gauche

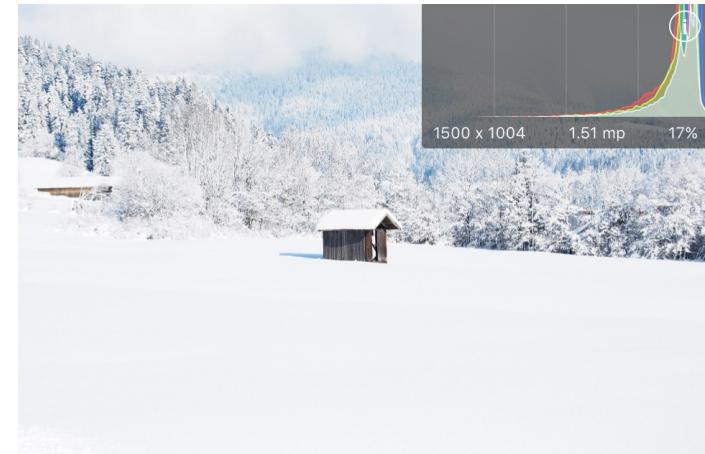


Image "claire" → modes hist. vers droite

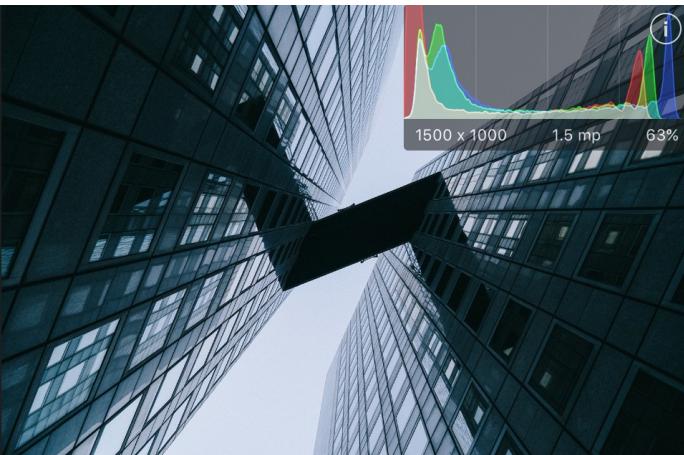


Image contrastée → modes hist. vers valeurs extrêmes

<https://medium.com/the-coffeelicious/a-photographers-guide-to-color-histogram-e31a5d92efb2>

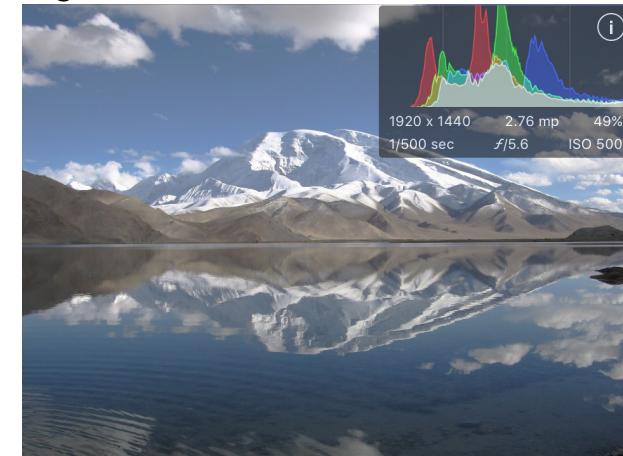


Image peu contrastée → modes hist. vers valeurs centrales

Transformations radiométriques :

- Restauration de l'image : attribution d'une luminance estimée aux pixels pour lesquels l'information radiométrique est erronée ou manquante (interruption de fonctionnement de courte durée du capteur, problème de transmission du signal satellite, etc...).
- Transformations radiométriques : luminance correctement enregistrée, mais ne correspond pas à la signature spectrale réelle de l'objet (ce qui serait mesuré par un capteur parfait sans effet perturbateur). Différences liées aux effets de pente, d'ombrage, d'atténuation ou d'émission atmosphérique, de dérive des instruments, etc...

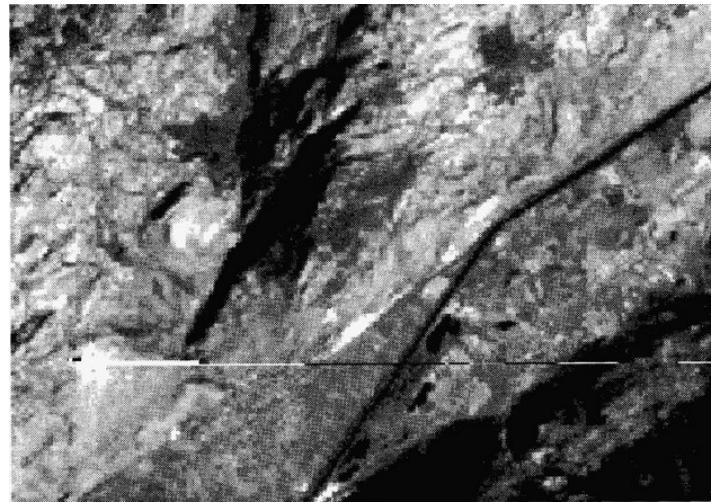
Le but des transformations radiométriques est de restituer, dans la mesure du possible, les propriétés spectrales des objets observés pour favoriser leur identification, numérique ou visuelle, et aider à l'observation de leur évolution.

Restauration d'images

Principaux facteurs de détérioration d'une image de télédétection sont :

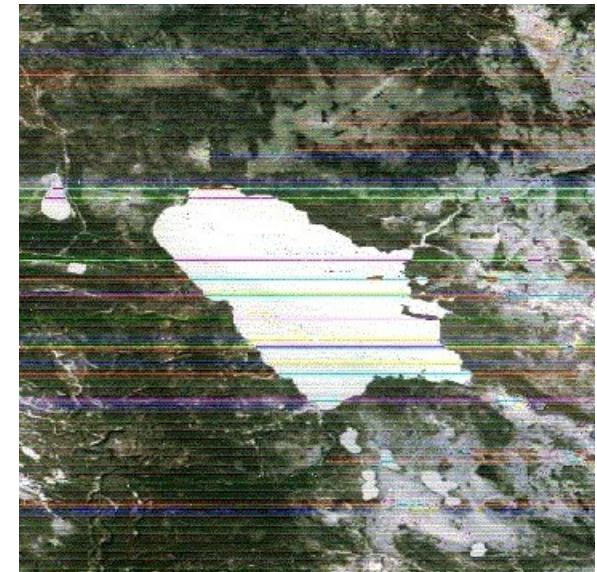
1. **Les parasites** dus à des défauts de mesure ou de transmission
Pbm de transmission (de + en + rares) ou dysfonctionnement des détecteurs.

Ex. saturation : Landsat 5 TM, 12/09/1985, région de Sion



Caloz, Précis Télédétection vol.3, 2001

Ex. transmission : Landsat 2 MSS, USA



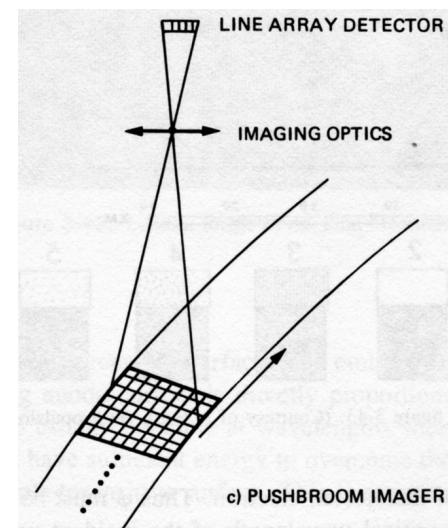
Restauration en interpolant les pixels voisins
et par un filtrage adapté.

<https://www.usgs.gov/media/images/example-transmission-striping-landsat-2-mss-rgb-image>

2. La dérive individuelle des capteurs appartenant la même barette pour système à balayage = effet de lignage.

Les détecteurs sont initialement étalonnés de manière identique, mais dérive au cours du temps et leurs réponses respectives diffèrent
→ motif géométrique formé de lignes plus sombres ou plus claires (lignage ou striping).

Landsat 7 ETM+ , 1999, USA



<https://www.eoportal.org/satellite-missions/ssot>

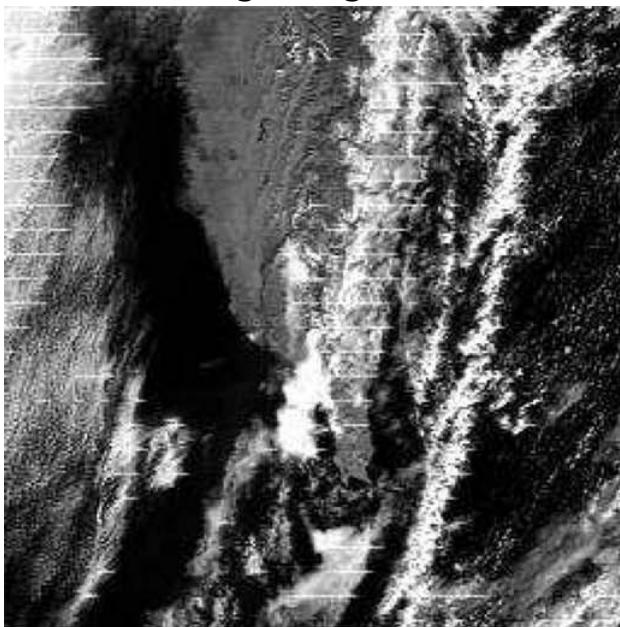
<https://www.usgs.gov/media/images/example-striping-landsat-7-etm-band-6-high-gain-data>

Correction de la dérive

Méthodes statistiques : identification des paramètres de dérive et de gain.
ex : analyse en composante principale, méthode de normalisation stat.

Méthodes de filtrage : FFT, identification du lignage + interpolation

image originale



(a)

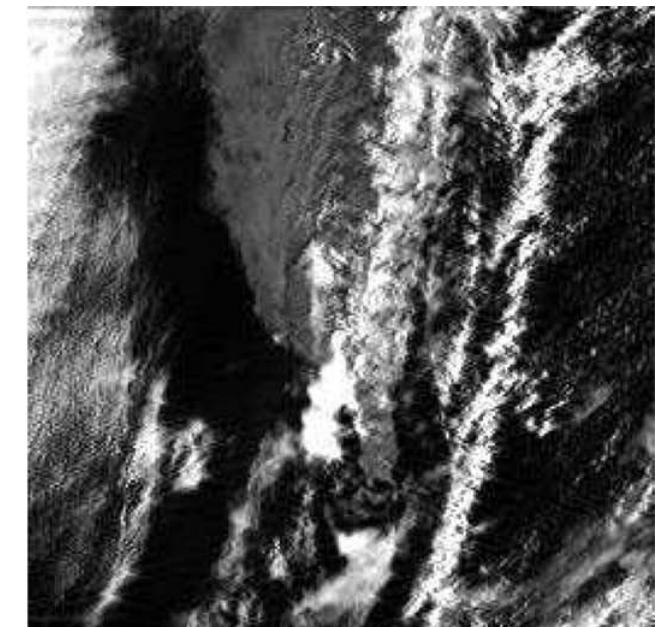
Tsai and Chen, IEEE TGRS, 2008

correction interp.



(b)

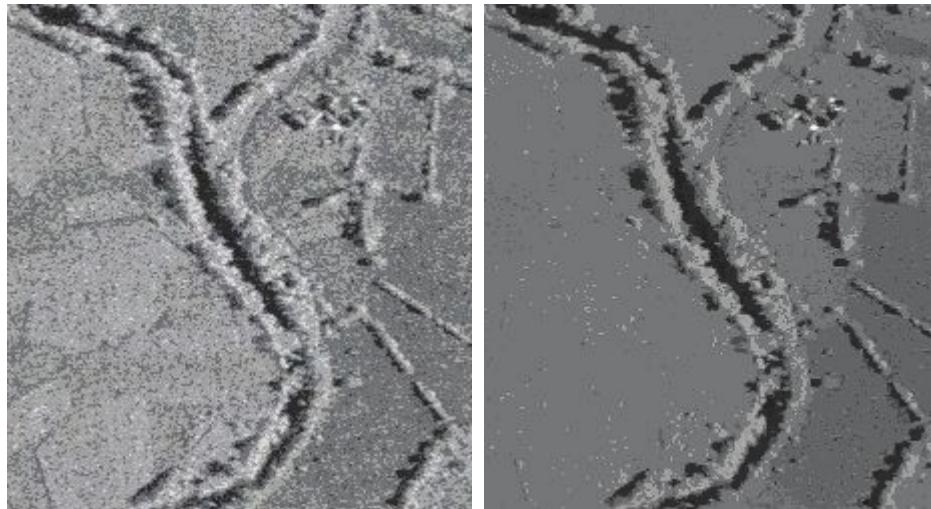
correction FFT



(c)

3. Le chatoiement dans les images radar.

Chatoiement lié aux interférences des réflexions multiples dans zone illuminée (voir chap.3).



https://www.researchgate.net/figure/Speckle-reduction-in-SAR-images_fig2_221786304

Exemple : filtre adaptatif utilisant les ondelettes.

Étalonnage

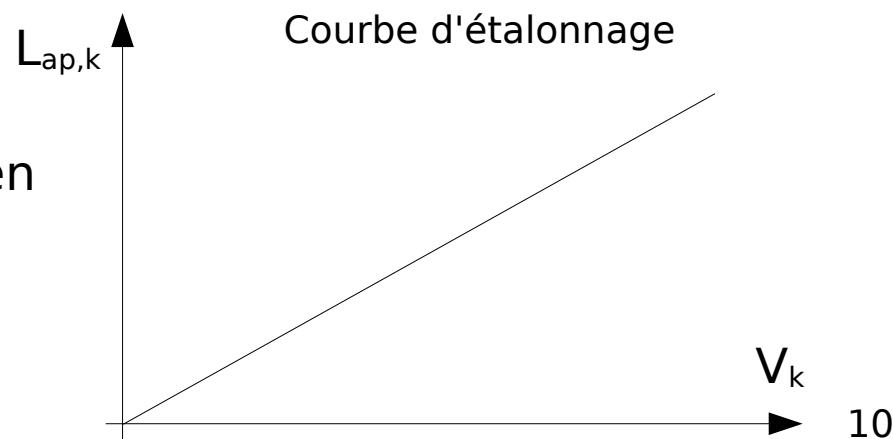
Pour une interprétation quantitative des valeurs numériques de l'image, il est nécessaire d'étailler celle-ci.

1. Étalonnage absolu

Luminance apparente à partir valeur pixel. On suppose relation linéaire entre valeur numérique du pixel et luminance : $L_{ap,k} = a_k V_k$

Valeurs a_k sont données avec chaque image.

Courbe d'étalonnage établie au sol avant mise en orbite + suivi régulier avec cibles de référence.



2. Transformation en réflectance apparente

Luminance dépend (entre autres) de l'éclairement solaire au niveau du satellite. Pour pouvoir comparer des images prises à des dates ou des positions différentes, on peut utiliser la **réflectance** (rapport rayonnement réfléchi/incident).

$$\text{Réflectance apparente : } \rho_{ap,k} = \frac{\pi u_t^2}{\cos \theta_s} \frac{L_{ap,k}}{E_{ap,k}}$$

θ_s angle zénithal solaire.

u_t facteur de correction pour la distance Terre-Soleil.

$E_{ap,k}$ éclairement solaire au niveau du satellite.

Valeurs d'angle et d'éclairement sont données avec chaque image.

$$u_t = \frac{1}{[1 - e \cos(\eta(t - t_0))]^2}$$

t nb de jours depuis 1/1/1950.

e excentricité de l'orbite (0.01673).

η angle de rotation moyen (0.0172 rad/j)

Transformations radiométriques réduisant les effets de l'atmosphère

Effets perturbateurs de l'atmosphère : principalement diffusion et absorption.

Dépendent des conditions atmosphériques au moment de la prise de vue.

Pour correction, il faut les connaître assez précisément, mais

- Mesures de l'état de l'atmosphère sont peu denses (à l'échelle du globe).
- Forte variabilité spatiale et temporelle des conditions atm.
- Difficile de "retrouver" information sur conditions atm pour des prises de vue anciennes.
- Atmosphère est un milieu complexe et difficile à modéliser.

→ La correction des effets atmosphériques sur une image de télédétection est une tâche ardue...

1. Transformations empiriques

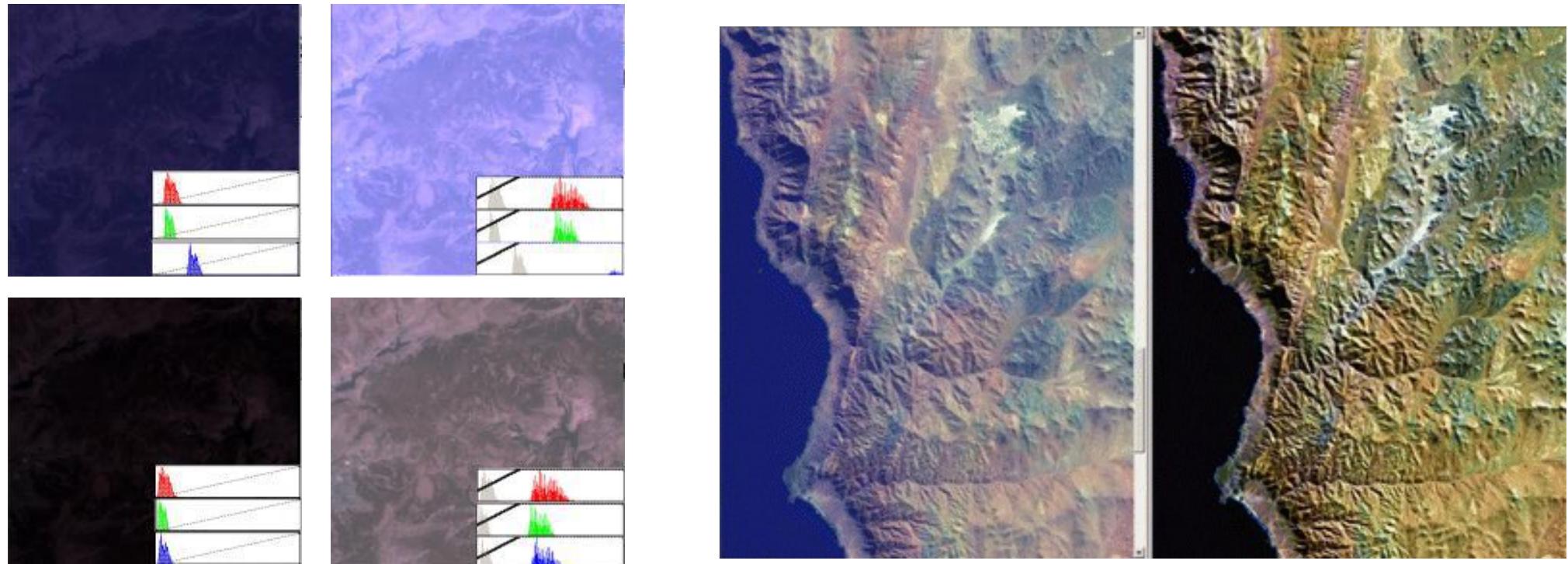
Histogram Minimum Method (HMM)

On suppose que les minima de toutes les bandes coïncident (même point sur image). Le déplacement des histogrammes est lié aux effets atm. En “compensant” ce déplacement, on corrige les effets atm.

Dark Object Subtraction (DOS)

Un objet avec une très faible réflectance est présent dans l'image (artificial ou naturel : eau profonde par ex). Ses variations de réflectance sont dues aux effets atm → on peut alors les quantifier précisément (et les corriger).

Correction constante et globale. Mais les effets atm ne sont pas forcément identiques suivant fréquence, donc correction imparfaite...



<http://erdas.wordpress.com/2007/12/30/6-geometric-and-radiometric-corrections/>

<http://geosphere.gsapubs.org/content/2/4/236/F3.expansion.html>

2. Transformations par modélisation des conditions atmosphériques

Diffusion et absorption par l'atmosphère des EOM dépendent de la fréquence et de son contenu en eau, de la concentration en aérosols, etc...

Si on peut reproduire les conditions atm et les interactions avec OEM, alors on peut corriger l'image.

Ex : modèle 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, Vermote et al., 1997). Il prend en compte :

1. Conditions géométriques de la prise de vue.
2. Modèle atmosphérique (en particulier H₂O, O₃ et température).
3. Caractéristiques des aérosols.
4. Bande spectrale concernée.
5. Réflectance terrain.

Certaine complexité et nécessite des valeurs de paramètres pas toujours simples à évaluer...

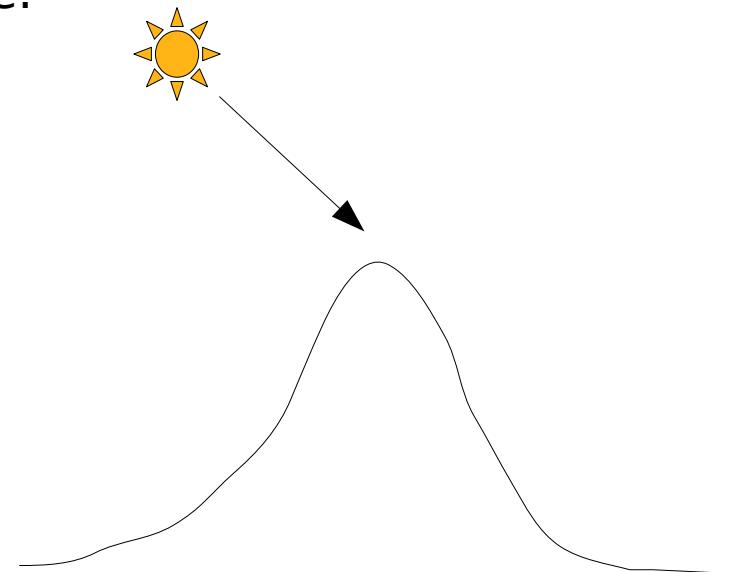
Compensation des effets de l'éclairement et du relief sur les luminances (1)

Relief accidenté → versants reçoivent illuminations différentes + ombres.

Pour corriger effets d'illumination et d'ombrage, il faut d'abord identifier les **zones d'ombres** :

- zones d'orientation pente > angle d'incidence;
- zones d'ombre projetée.

Utilisation d'un modèle numérique de terrain (MNT) pour déterminer zones d'ombre et d'ombre projetée.



Compensation des effets de l'éclairement et du relief sur les luminances (2)

Une fois zones d'ombre déterminées, il faut compenser la luminance pour limiter le biais dans comparaison et classification de l'image.

Modèle isotrope

Luminance corrigée ne dépend que de l'angle d'incidence du soleil par rapport au pixel (et pas de l'angle de réflexion).

Modèle anisotrope

Isotropie peu réaliste → modèle plus complexe qui prend en compte anisotropie.

Nécessité d'un MNT précis (résol. MNT ~ résol. image / 4).

Transformations radiométriques - résumé

Les transformations radiométriques (ainsi que le rehaussement) visent à améliorer la qualité visuelle de l'image et à favoriser son interprétation.

Cependant, ces méthodes sont plus ou moins aisées à mettre en oeuvre et ne permettent pas une correction parfaite (surtout pour les effets atm).

L'application de ces transformations radiométriques se fait donc en fonction des objectifs visés.

Questions

1. Quels sont les facteurs externes aux propriétés de l'objet mesuré au sol qui influencent la mesure de télédétection satellitaire ?
 2. Quelle est la différence entre la restauration et la transformation radiométrique d'une image ?
 3. Qu'est-ce qui rend difficile la compensation des effets atmosphériques présents dans une image de télédétection ?

Utilisation conjointe de l'information obtenue par télédétection avec d'autres sources de données de type cartographique n'est possible que si :

- la géométrie de l'ensemble des documents est identique;
- les pixels de chaque grille se superposent parfaitement.

La géométrie des images de télédétection est implicite (mécanismes de prise de vue) et souvent différente de la géométrie cartographique.

Transformations géométriques ont pour but cette "harmonisation". On peut distinguer 2 étapes dans les transformations géométriques :

- Établissement des coordonnées dans système de référence.
- Calcul des luminances correspondantes.

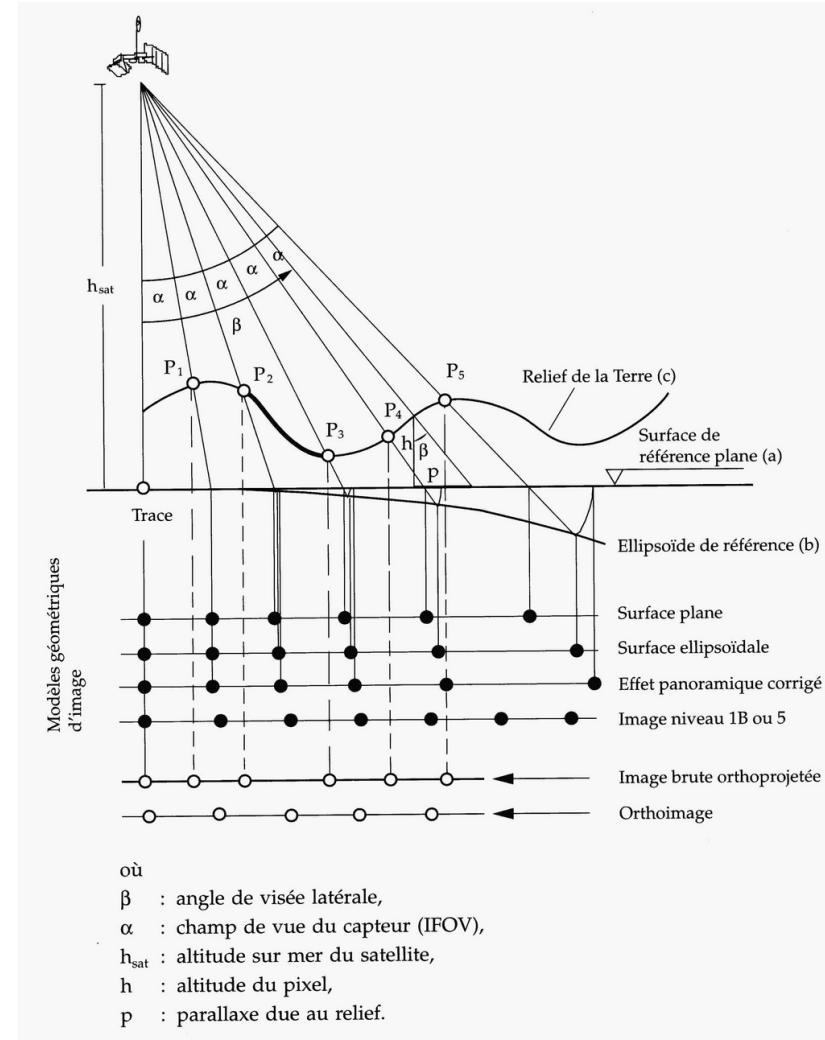
Approche globale : s'applique sur l'ensemble de l'image (absence MNT).

Approche locale : prend en compte variations de relief (MNT) → orthoimage.

Propriétés géométriques implicites de l'image

On se limite à une image obtenue avec un système à balayage + résolution angulaire constante (IFOV = Instantaneous Field Of View)

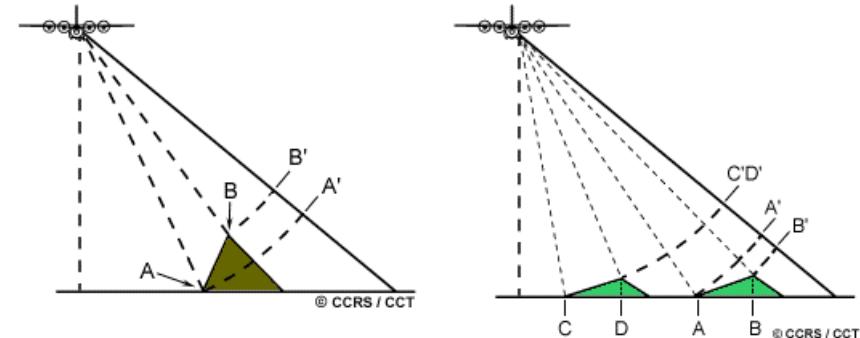
Point image = centre pixel
 = intersection axe IFOV et
 surface terrestre.



Effets du relief sur la géométrie de l'image

Relief influence la géométrie par (1) altitude et (2) pente + orientation.

1. Déplacement apparent (ou parallaxe).
2. Effet de la pente et de l'orientation.



Correction par une approche globale locale



Transformations globales

Identification de points de contrôle ou amers : points caractéristiques facilement identifiables dans 2 systèmes (non-géoréférencé=image ; géoréférencé=carte).

Ensemble de points dans 2 systèmes : $X' = (x'1, \dots, x'n)$ $Y' = (y'1, \dots, y'n)$
 $X = (x1, \dots, xn)$ $Y = (y1, \dots, yn)$

Ajustement d'une relation polynomiale (ordre 1 ou 2) sur ces points, puis application à l'ensemble des points de l'image (\rightarrow approche globale).

Cette approche ne donne pas de bons résultats en zone de relief accidenté car une relation unique ne peut corriger les déplacements apparents qui varient en fonction de l'altitude.

1er degré



2e degré



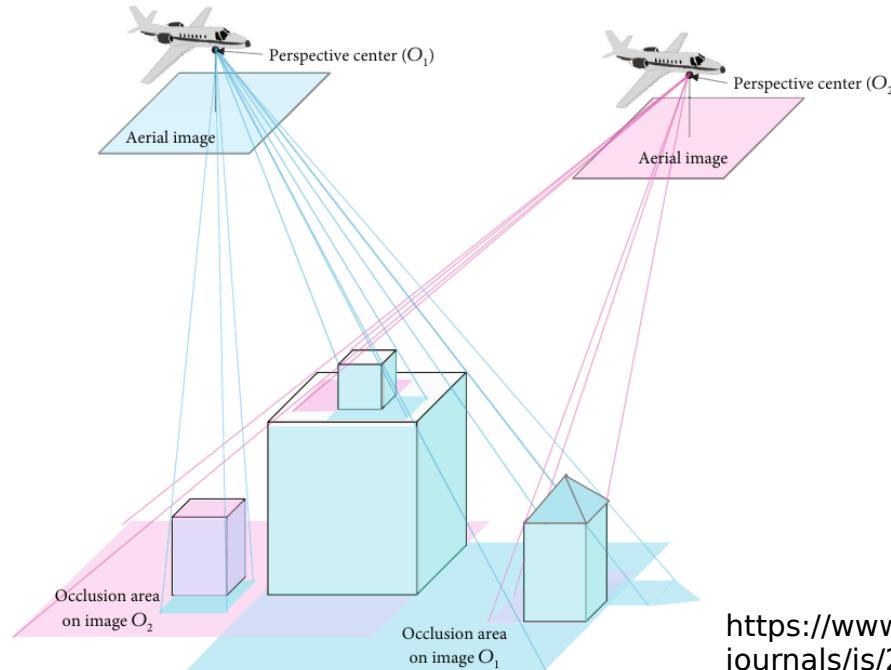
orthoimage



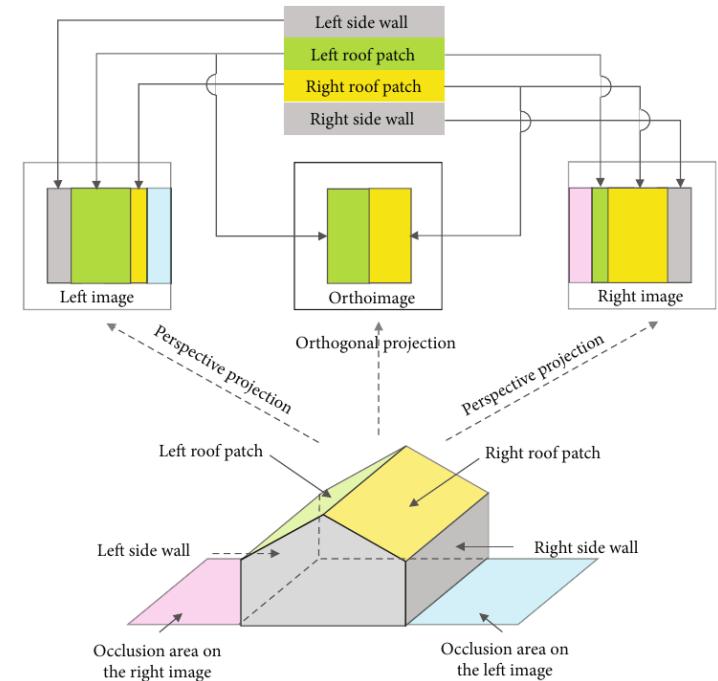
Transformations locales

Prise en compte de la géométrie de la prise de vue et du relief
Objectif = création d'une orthoimage.

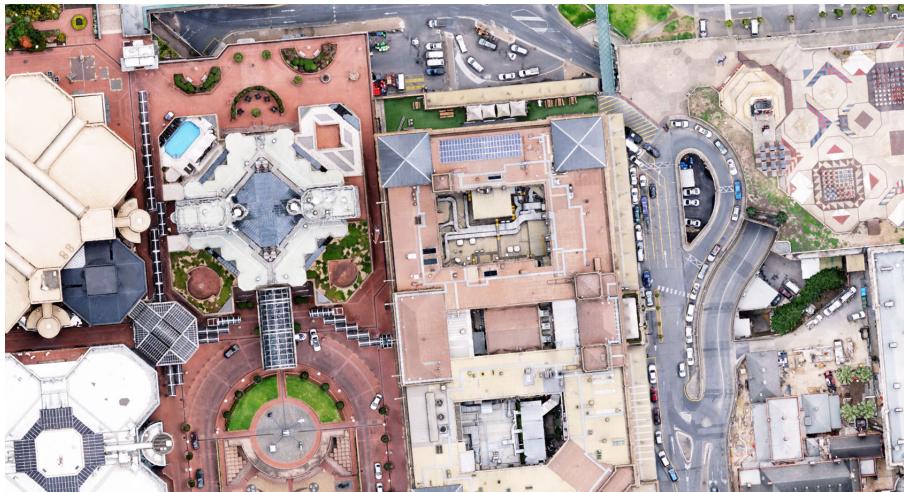
Orthoimage = image projetée sur un plan géoréférencé. Elle bénéficie des mêmes propriétés géométriques qu'une carte topographique.



<https://www.hindawi.com/journals/js/2021/4304548/>



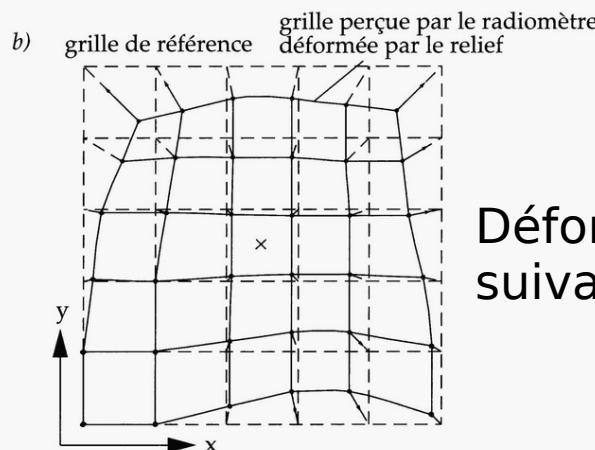
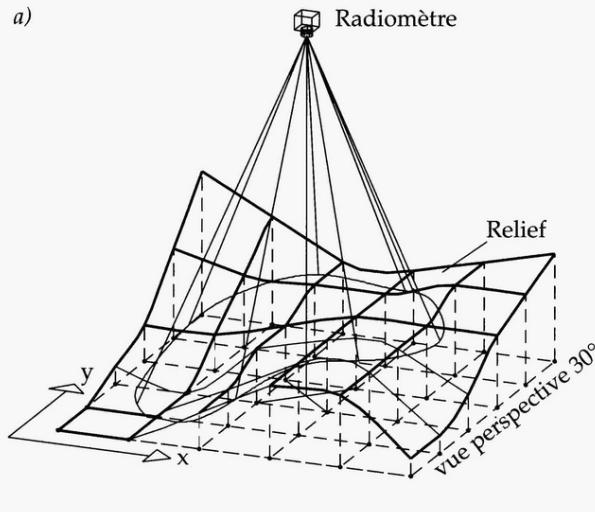
Exemples



[http://www.leuropevueduciel.com/
orthophoto-orthophotographie.php](http://www.leuropevueduciel.com/orthophoto-orthophotographie.php)

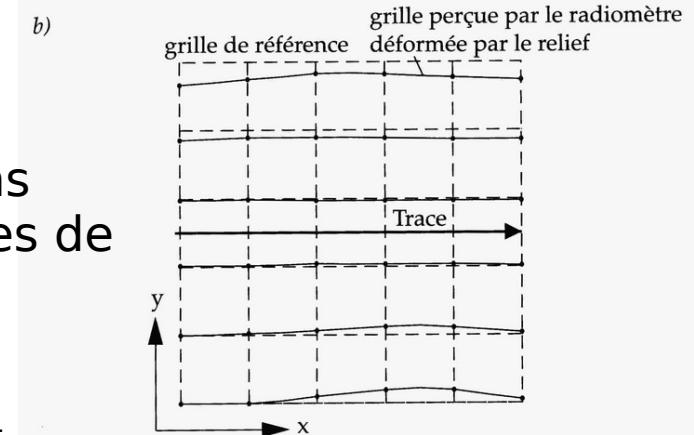
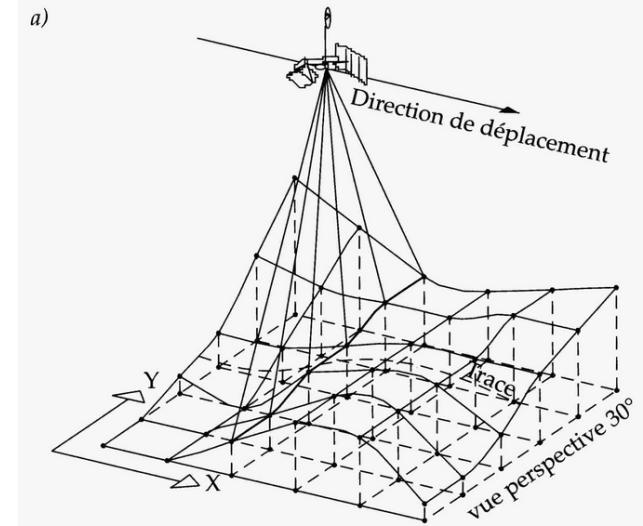
<http://aerometrex.com.au>

Capteur à projection centrale (ex : photo)



Déformations suivant x et y

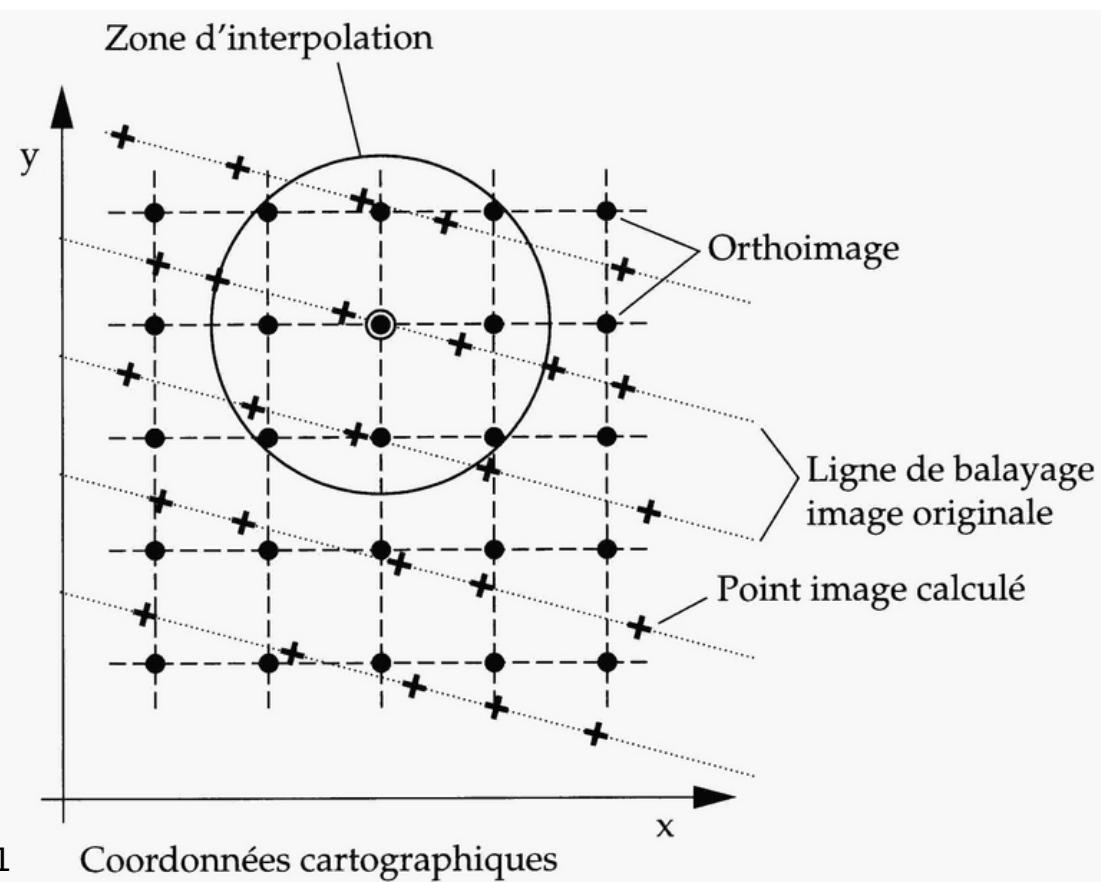
Capteur à projection axiale



Déformations suivant lignes de balayage

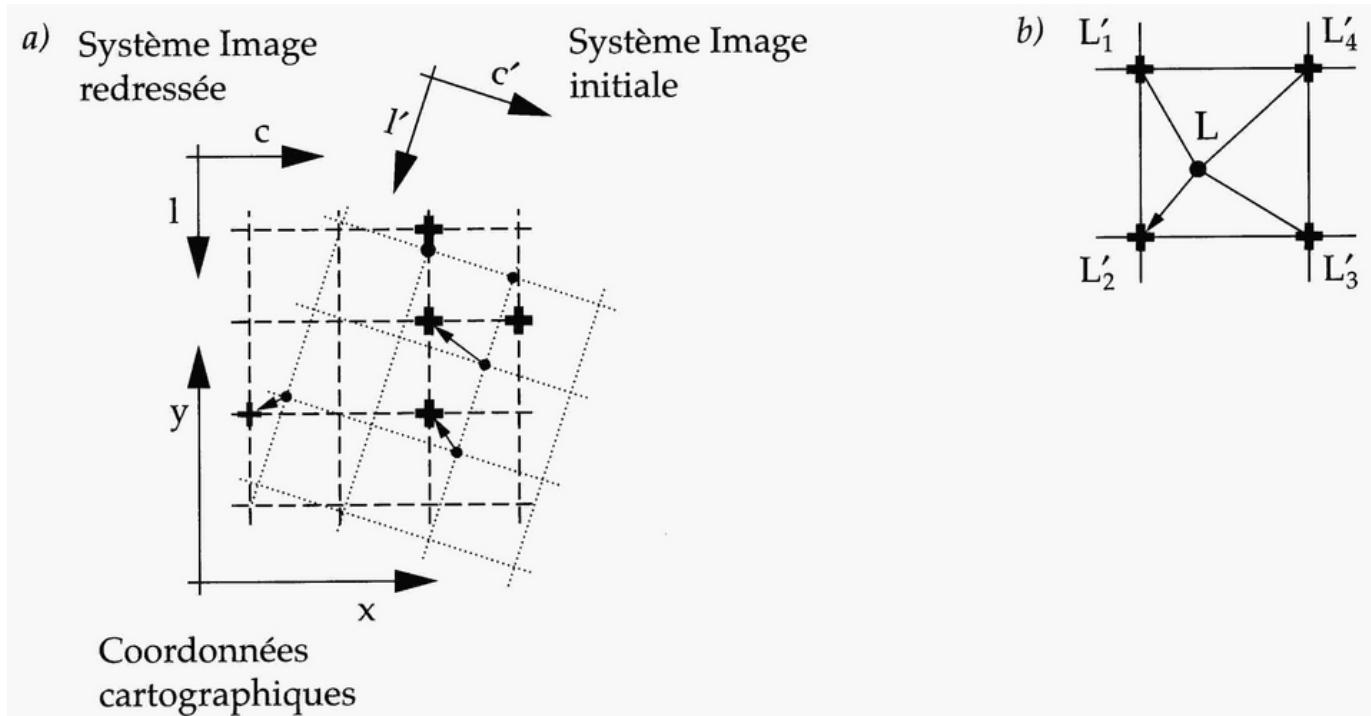
Création de l'orthoimage

Rééchantillonnage = interpolation des valeurs de luminance sur les points de la grille régulière.

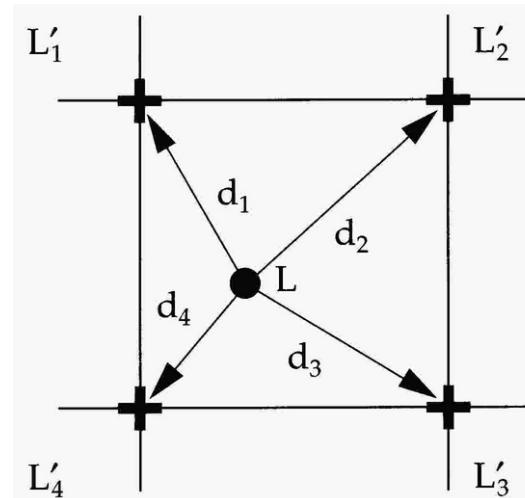


Rééchantillonnage par assignation de la luminance au point le plus proche

On affecte au point la luminance du plus proche voisin. Aucun lissage.



Rééchantillonnage par interpolation bilinéaire



Moyenne pondérée par distance au point

Donc effet de lissage...

$$L = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \lambda_i L'_i \quad \lambda_i = 1/d_i$$

Rééchantillonnage par interpolation bicubique : principe similaire reposant sur des polynômes du 3e degré.

Questions

1. Que signifie “géoréférencer une image” ?
 2. Quels sont les éléments externes au système de télédétection qui influent sur la géométrie des pixels ?
 3. Quelles sont les différences fondamentales entre l'approche de transformation globale et celle de transformation locale ?