

Téledétection 2

Table des matières



I - Chapitre 1 : Notion de base de la télédétection	4
1. Qu'est ce que la télédétection ?	4
2. Principe de la télédétection :	4
3. Capteurs et satellites	5
3.1. Types de satellites	5
3.2. Types de capteurs	7
4. Quelques applications	8
5. Exercice	8
II - Chapitre 2 : Formation et structures des images satellitaires	9
1. De la scène physique au signal électrique	9
2. Du signal électrique à l'image numérique	10
3. Formation de la matrice image	10
4. Résolutions du capteur	12
4.1. Résolution spatiale	12
4.2. Résolution radiométrique	12
4.3. Résolution spectrale	13
4.4. Résolution temporelle	13
5. Structure de fichiers images multispectrales	15
6. Exercice	16
6.1. Exercice	16
6.2. Exercice	16
6.3. Exercice	16
III - Chapitre 3 : Correction géométrique des images satellitaires	17
1. Introduction	17
2. Types de déformations géométriques	17
2.1. Déformations géométriques systématiques (Modélisables) :	18
2.2. Déformations géométriques non-systématiques (Aléatoires) :	20
3. Principe de la correction géométrique	21
3.1. Choix du référentiel	22
3.2. Modélisation de la déformation géométrique	22
3.3. Rectification et rééchantillonnage de l'image	24
3.4. Orthoréctification	26

4. Exercice	26
IV - Chapitre 4 : Rehaussement et Filtrage des images satellitaires	27
1. Introduction	27
2. Rehaussement des images satellitaires (Traitement ponctuel)	27
2.1. L'histogramme et l'histogramme cumulé d'une image	28
2.2. Différents types de rehaussement des images satellitaires	29
3. Filtrage des images satellitaires (traitement local)	32
3.1. Introduction	32
3.2. Différents types de filtres	33
4. Exercice :	34
V - Chapitre 5 : Création des néo-canaux	35
1. Introduction	35
2. Composition colorée	35
3. Rapport de bandes	36
4. Les indices	37
5. Analyse en composante principale (ACP)	38
6. Exercice	39
7. Exercice	39
VI - Chapitre 6 : Classification des images satellitaires	40
1. Introduction	40
2. Classification non-supervisée	41
3. Classification supervisée	42
4. Évaluation Quantitative d'une classification	45
4.1. Signatures spectrales	45
4.2. Espace des caractéristiques	45
4.3. Matrice de confusion	45
5. Exercice	46
6. Exercice	47
7. Exercice	47
Solutions des exercices	48
Références	51

Chapitre 1 : Notion de base de la télédétection



Objectifs : a l'issue de cette partie, l'étudiant doit être capable de

- Comprendre les notions de base de la télédétection.
- Différencier entre les types de capteurs et satellites utilisés en télédétection.

1. Qu'est ce que la télédétection ?

Définition

La télédétection est définie par [1]* :

« L'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci ».

La télédétection 'Remote-sensing' est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. Elle englobe tout le processus qui consiste à :

- Capturer et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique

émis, réfléchi ou rétrodiffusé par la surface de la Terre,

- Traiter et analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information".

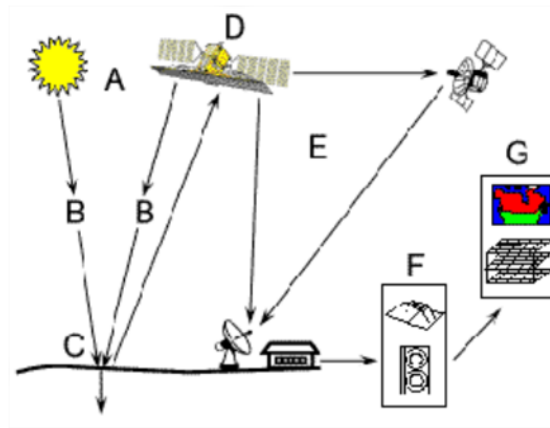
Elle implique une interaction entre l'énergie incidente et les cibles.

2. Principe de la télédétection :

Le processus de la télédétection suit généralement un enchaînement de sept étapes illustrées par la figure 1 :

1. Une source d'énergie ou d'illumination (*A*) :
En télédétection dite passive, le soleil constitue la principale source d'énergie. En télédétection dite active, la source est fabriquée par l'homme.
2. Interactions entre le rayonnement et l'atmosphère tout au long du trajet source-cible et cible-capteur (*B*).
3. Interactions avec la cible (*C*) :
Ces interactions sont de trois types : la transmission, la réflexion et l'absorption. L'émission est à considérer comme un phénomène à part.
4. Enregistrement du signal par le capteur (*D*) : Le capteur enregistre le signal reçu.

5. Transmission, Réception, et Traitement (*E*) : Le satellite transmet les signaux vers des stations de réception au sol ou à des satellites relais. Au niveau de ces stations, les informations sont décodées et enregistrées sous forme d'images ou de photographies.
6. Interprétation et analyse (*F*) - Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
7. Application (*G*) - La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.



Principe de la télédétection

3. Capteurs et satellites

Les capteurs (instruments de mesure de l'information) peuvent être placés sur différentes plates-formes. Bien que les plates-formes terrestres ou aéroportées soient utilisées, ce sont les satellites qui fournissent la majeure partie des données recueillies par télédétection.

Certaines caractéristiques propres aux satellites en font des instruments particulièrement utiles pour l'acquisition d'information sur la surface de la Terre, parmi les quels l'orbite. Elle est choisie par l'altitude (la hauteur du satellite au-dessus de la surface de la Terre), l'orientation et la rotation du satellite par rapport à la Terre (*Vidéo 1*).

3.1. Types de satellites

Selon les caractéristiques citées précédemment, on trouve deux types de satellites

3.1.1. Les satellites géostationnaires

Ce type de satellites couvrent la même surface terrestre, ils sont fixes par rapport au repère de la terre figure 2. Ils sont situés à des altitudes supérieures à 30.000 km.



Exemple

les satellites LANDSAT et SPOT

3.2. Types de capteurs

Par la principale caractéristique des données en télédétection, qui est la longueur d'onde du spectre électromagnétique (véhicule de l'information satellitaire) et le mode d'acquisition, on distingue deux types de capteurs en télédétection :

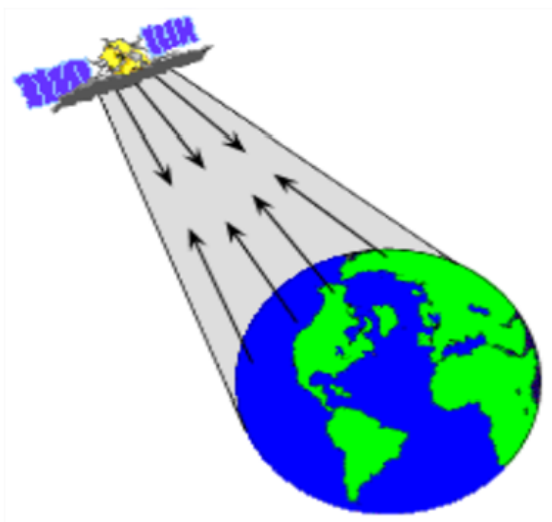
3.2.1. Capteurs actifs



Définition

Les capteurs actifs mesurent l'énergie rétrodiffusée, par la surface de la terre qui représente une partie ou la totalité de l'énergie incidente envoyée par une source active figure 4:

- Ces systèmes sont sensibles aux gammes des hyperfréquences (micro ondes).
- L'onde incidente est la même que l'onde réfléchi avec atténuation qui est due à la rugosité de la surface.



Capteur actif

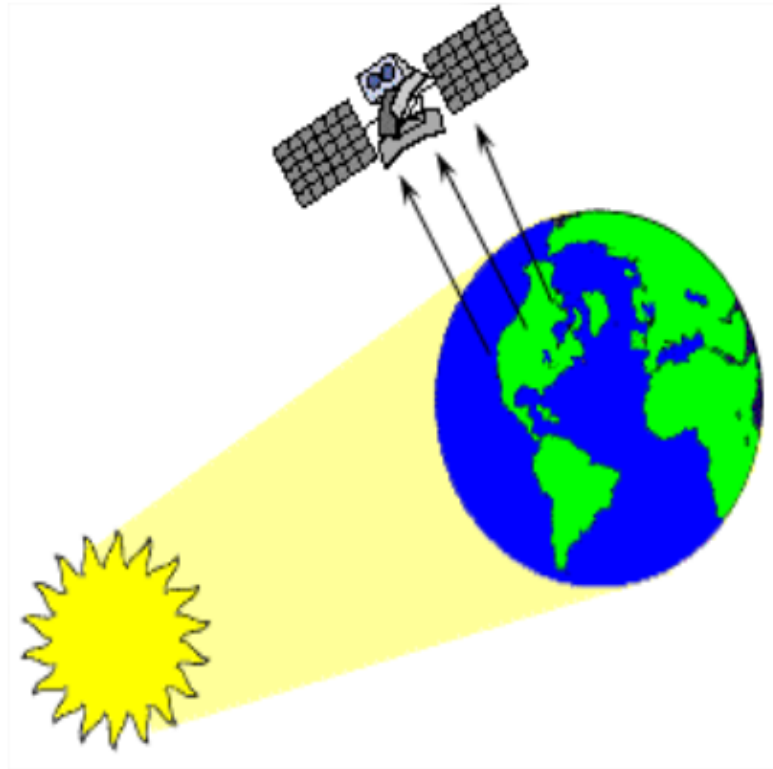
3.2.2. Capteurs passifs



Définition

Les capteurs passifs mesurent l'énergie réfléchi ou émise par la surface de la terre figure 5:

- La source d'éclairage est le soleil.
- Ces systèmes utilisent le spectre du visible, le proche et le moyen infrarouge ainsi que l'infrarouge thermique.
- L'information mesurée caractérise les propriétés physique-chimiques de la surface de la terre.



Capteurs passifs

4. Quelques applications

- *Agriculture* : rendements des cultures, réponses de la végétation à certaines contraintes environnementales activité photosynthétique,
- *Foresterie* : Cartographie forestière, estimation de certaines caractéristiques dendrométriques des peuplements forestiers, défoliation et état sanitaire, ...
- *Hydrologie* : spatialisation de l'intensité des pluies sur un BV (échos radar), couverture végétale, ...
- *Occupation du sol/zones humides/Topographie* : cartographie de l'occupation du sol, répartition des espèces, établissement des modèles numériques de terrain (cartes topographiques) à l'aide de la stéréoscopie satellitaire, ...
- *Météorologie et climat* : Suivi de l'évolution spatio-temporelle de la couverture nuageuse.
- *Océanographie, ressources marines* : dynamique et caractéristiques des mers et océans, phytomasse, ...
- *Changements globaux* : structure et productivité primaire des biomes terrestres, échanges énergétiques ...

5. Exercice

[solution n°1 p.48]

Les satellites Géostationnaires sont placés à des altitudes

- allant jusqu'à 36000 Km
- allant jusqu'à 30000 Km
- entre 26000 km et 36000km

Chapitre 2 : Formation et structures des images satellitaires

II

Objectif : a la fin de cette partie, l'étudiant doit être capable de connaître les différents étapes de la formation d'une image satellitaire.

1. De la scène physique au signal électrique

L'énergie électromagnétique représentant la luminance réfléchie ou émise par des objets est premièrement focalisée par un dispositif optique (miroirs, lentilles, prismes..) ensuite convertie en un signal électrique par les capteurs (caméras à tube, caméras CCD, capteurs thermiques, etc..) embarqués par les satellites ou les avions.

L'amplitude de ce signal électrique correspond à l'énergie lumineuse réfléchie ou émise par une unité surfacique de scène, portée par une onde électromagnétique à une longueur d'onde dans le spectre du visible, de l'infrarouge, l'infrarouge thermique, et.. L'ensemble des unités surfaciques constituent une ligne de l'image. L'ensemble des lignes forment l'espace d'observation (domaine définissant la scène physique).

Dans le cas des systèmes satellitaires la ligne au sol est la largeur de la trace du satellite.

- La ligne au sol du satellite SPOT = 60 Km
- La ligne au sol du satellite LANDSAT = 185 Km.
- La ligne au sol du satellite ALSAT1 = 300 Km

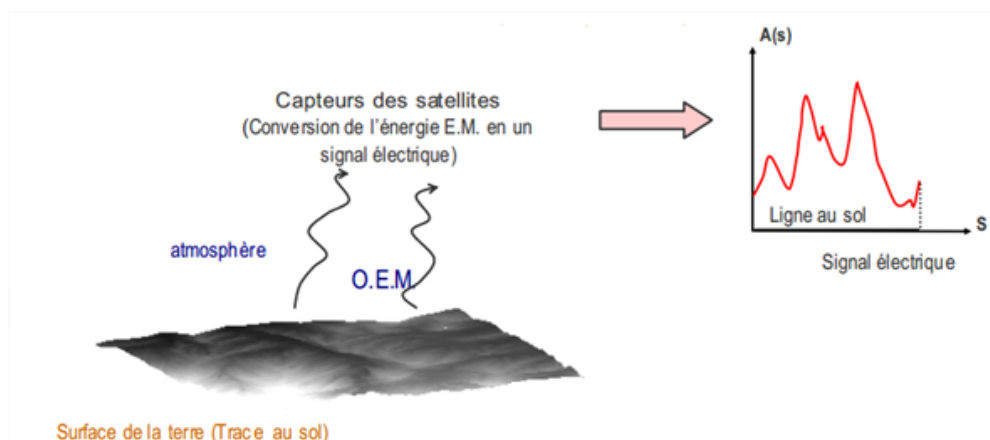


Figure 2.1. De la scène physique au signal électrique

2. Du signal électrique à l'image numérique

Le processus de conversion du signal électrique en une ligne numérique est constitué d'une électronique de conversion analogique numérique (fig2.2). Deux fonctions principales sont réalisées dans ce processus.

- L'échantillonnage qui donnera la résolution spatiale.
- La quantification qui donnera la résolution radiométrique.

L'échantillonnage spatial : du signal est la fonction qui donne la dimension du petit élément de la surface qu'il est possible de détecter. Cette opération définit la résolution spatiale, elle dépend principalement du champ de visé instantané (CVI ou IFOV) du capteur.

La quantification numérique : est une opération qui consiste à attribuer à chaque niveau de tension d'un échantillon un code numérique appartenant à la gamme

dynamique choisie à priori. Cette gamme définit la résolution radiométrique.

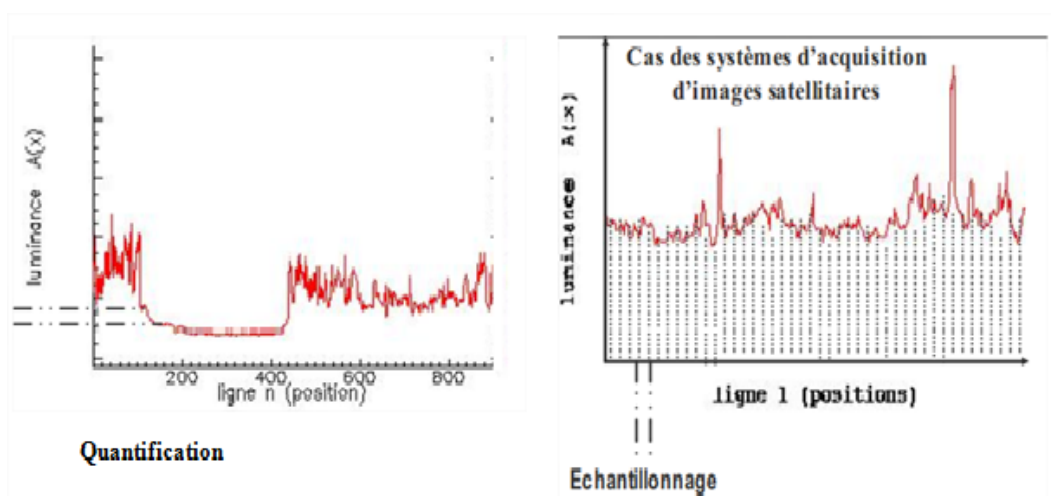


Figure 2.2. Échantillonnage et quantification du signal électrique

3. Formation de la matrice image

Après ces deux opérations d'échantillonnage (résolution spatiale) et de quantification (résolution radiométrique) le résultat est une matrice numérique représentant l'image en question. Cette matrice est définie par un nombre de points (pixels) par ligne et nombre de lignes par image.

Un pixel (picture element) est la plus petite unité de la surface prédéfinie par la résolution spatiale qui est représenté par le nœud de la matrice image. Il est repéré par ses coordonnées en horizontale et en verticale par rapport au premier point de la matrice image.

L'arrangement des pixels décrit les structures spatiales d'une image tandis que les caractéristiques radiométriques décrivent l'information contenue dans une image (fig2.3).

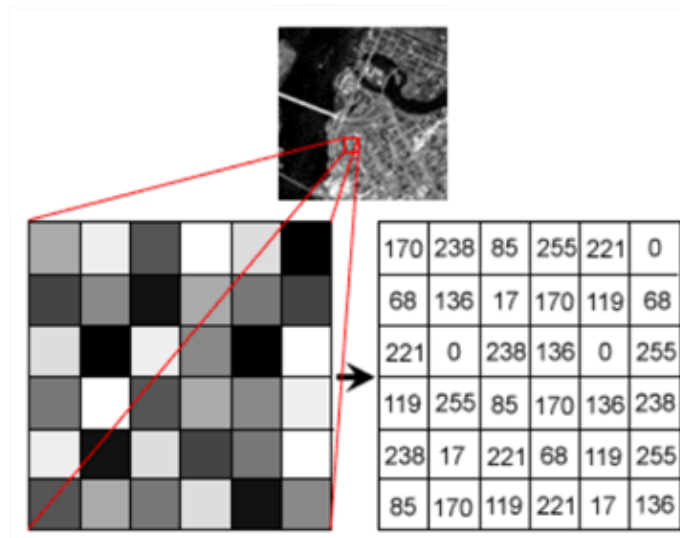


Figure. 2.3. Formation de la matrice image

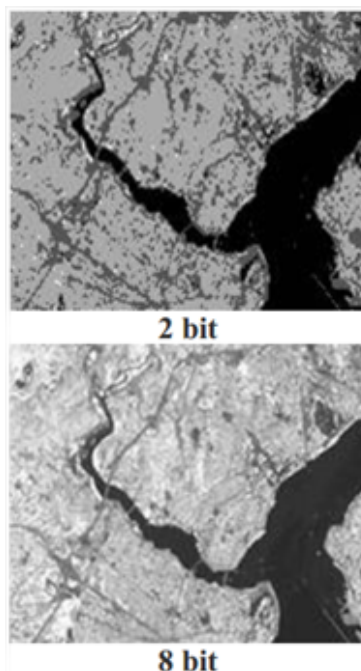


Figure. 2.5. Exemple de résolution radiométrique

4.3. Résolution spectrale

- La résolution spectrale décrit la capacité d'un capteur multispectral à utiliser de petites fenêtres de longueurs d'onde. Plus la résolution spectrale est fine, plus les fenêtres des différents canaux du capteur sont étroites.
- La réponse spectrale caractérise une cible ou une surface pour un ensemble de longueurs d'onde. Il est souvent possible de distinguer des classes de caractéristiques et de détails dans une image en comparant leurs réponses différentes sur un ensemble de longueurs d'onde.
- Pour certains thèmes de gamme de variation très larges, comme l'eau, la végétation et le sol nu, peuvent être séparées en utilisant un intervalle de longueurs d'onde assez grand (le visible et l'infrarouge par exemple).
- La signature spectrale est une courbe caractéristique d'un objet, elle décrit le comportement spectral de réflectivité ou d'émissivité de l'objet dans les différentes longueurs d'ondes du spectre du visible et de l'infrarouge (fig.2.6).



Figure.2.6. Résolution spectrale

4.4. Résolution temporelle

En plus de la résolution spatiale, spectrale et radiométrique, l'autre concept important en télédétection est celui de la résolution temporelle.

- Si on raisonne par rapport à un seul satellite, la résolution temporelle est liée à la période de passage au nadir d'un satellite, qui est le temps que prend un satellite pour effectuer un cycle orbital complet.
- Cette période est généralement de quelques jours (26 jours pour le satellite SPOT, 16 jours pour la série des satellites LANDSAT).
- Il faut donc quelques jours à un tel satellite pour qu'il puisse observer de nouveau exactement la même scène à partir du même point dans l'espace. La résolution temporelle absolue du système de télédétection est donc égale à cette période (fig.2.7).

Le facteur temps est important en télédétection lorsque :

- L'on veut surveiller des phénomènes de courte durée (inondations, déversements d'hydrocarbures, etc.);
- L'on a besoin d'images multi-temporelles (par exemple, pour étudier d'une année à l'autre, l'étendue d'une maladie s'attaquant aux forêts);
- Les changements temporels dans l'apparence d'une caractéristique sont utilisés pour différencier celle-ci d'une autre caractéristique similaire (par exemple, pour faire la différence entre les cultures de blé et de maïs).

L'un des grands avantages de la télédétection satellitaire est sa capacité à acquérir périodiquement de l'information d'une même région de la Terre.

- Les caractéristiques spectrales de la région observée peuvent changer avec le temps.
- La comparaison d'images multi-temporelles permet de détecter ces changements.
- Cette acquisition de données périodiquement et de façon continue, permet le suivi des changements qui surviennent à la surface de la Terre, qu'ils soient naturels (comme le développement de la végétation ou l'évolution d'une inondation) ou de source humaine (comme le développement des milieux urbains ou la déforestation).

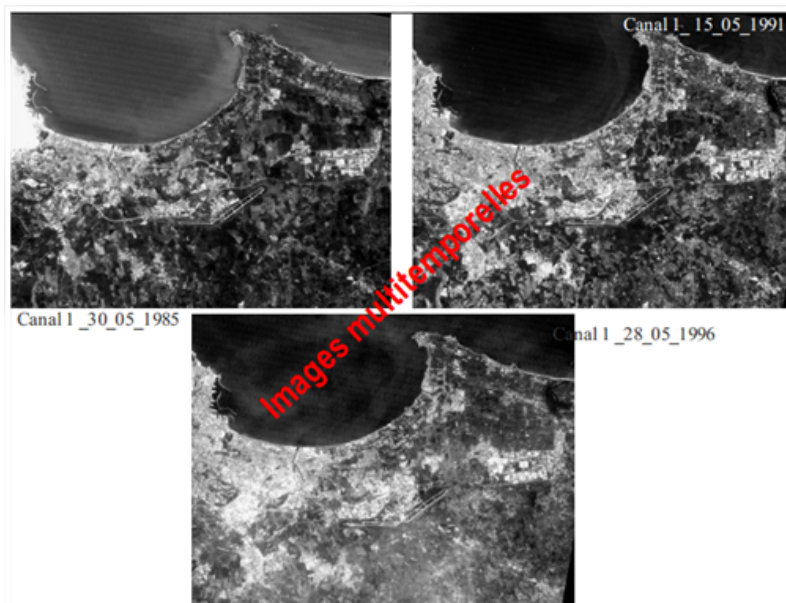


Figure.2.7. Exemple de résolution temporelle

5. Structure de fichiers images multispectrales

Les fichiers images, en format binaire multispectrales sont structurés sous trois formes:

- Structure séquentielle (BSQ) (Binary Stream seQuential), pour cette structure les images multispectrales sont stockées l'une après l'autre dans le fichier image. L'enregistrement se fait séquentiellement (+ fichier header). Ce format offre un accès facile aux coordonnées spatiales (X, Y).

Exemple les images *TM5* et *TM7+*

- Structure par pixels intercalés (BIP) (Band Interleaved Pixel), pour cette structure les images multispectrales sont stockées par pixels intercalés. Le premier pixel correspond à la première image, le deuxième pixel à la deuxième image, etc... (+ fichier header). Ce format permet l'accès optimal à l'information spectrale Z du pixel.

Exemple les images *SLCI* de *ERS1* et *ERS2*.

- Structure par lignes intercalées (BIL) (Band Interleaved Line), pour cette structure les images multispectrales sont stockées par lignes intercalées. La première ligne correspond à la première image la deuxième ligne à la deuxième image, etc... (+ fichier header). Le format BIL permet d'obtenir un compromis entre les deux précédents formats.

Exemple les images *SPOT*.

Remarque

La taille du fichier = nbre de lignes * nbre de colonnes * nbre d'octets * nbre de canaux(n)(en octets).

6. Exercice

[solution n°2 p.48]

6.1. Exercice

Pour une image LANDSAT 7 1200*800 codée sur 8 bits. Quelle est la taille de cette image en pixels ?

- 960000 pixels
- 690000 pixels
- 958001 pixels

6.2. Exercice

Pour la même image, quelle est la taille de l'image en octet ?

- 480000 octet
- 960000 octet
- 345000 octet

6.3. Exercice

Quelle est la taille de la zone observée par la même image précédente ?

- 432 km²
- 864 km²
- 684 km²

Chapitre 3 : Correction géométrique des images satellitaires



Objectif : a la fin de cette partie, l'étudiant sera capable de connaître les différents types de déformations géométriques ainsi que leurs corrections.

1. Introduction

Une image brute est une image acquise directement par un capteur et qui n'a subi aucun prétraitement. Elle contient des erreurs (déformations) *géométriques* et *radiométriques*.

On ne peut pas avoir une information précise (radiométrique ou spatiale) avant la correction de ces deux déformations. Ces erreurs doivent être corrigées avec une précision dépendant du type d'application.

Les déformations radiométriques qui affectent les images satellitaires sont :

- Les effets atmosphériques,
- Les bruits du capteur,
- les variations dues au vieillissement des capteurs ou à leur dérèglement ,

aux défauts de conception des instruments.

effet de la topographie de la zone observée

Les corrections radiométriques sont appliquées sur les images pour réaffecter à chaque pixel une valeur radiométrique la plus proche possible de celle mesurée sur le terrain[4] *.

Les images satellitaires brutes présentent aussi des déformations géométriques et elles ne peuvent pas être :

- Superposables à aucune carte topographique ou à une autre image déjà géoréférencées.
- Utilisées pour aucun traitement de type mosaïquage ou fusion.

Le but des corrections géométriques est de corriger ces déformations et placer l'image dans une géométrie compatible avec des applications cartographiques sans changement substantiel du contenu des données.

Les corrections géométriques sont appliquées sur les images pour réduire les déformations géométriques intervenues lors de l'enregistrement de la scène[3] * [6] *.

2. Types de déformations géométriques

Les déformations géométriques qui affectent les images satellitaires sont regroupées en deux types:

2.1. Déformations géométriques systématiques (Modélisables) :

leur modélisation nécessite la connaissance des conditions de prise de vue.

2.1.1. Effet de rotation de la Terre

Les capteurs ont besoin d'un certain temps pour enregistrer une scène. Durant ce laps de temps, le mouvement de rotation de la Terre d'Ouest en Est entraîne un effet de décalage des lignes de l'image vers la gauche ce qui induit un déplacement relatif en longitude dans l'image.

La modélisation de ce décalage est faite de la manière suivante :

- Soit w_s la vitesse angulaire du satellite, R_t le rayon de la Terre, λ la latitude du lieu.
- La trame nominale L (185 km pour LANDSAT) au sol est donc scannée en un temps t_s égal à:

$$t_s = \frac{L}{R_t * W_s}$$

Or la vitesse de rotation d'une surface de la Terre est donnée par :

$$V_t = W_t * R_t * \cos(\lambda)$$

Où W_t est la vitesse angulaire de la terre

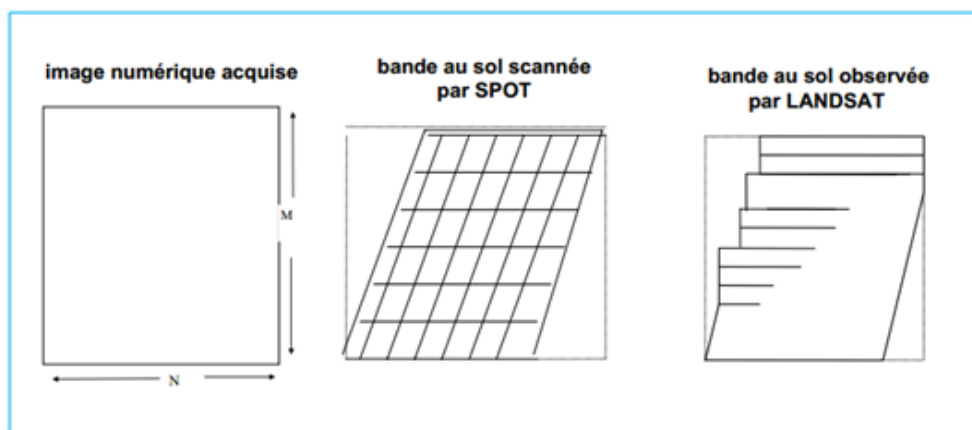


Figure 3.1. Effet de rotation de la terre

2.1.2. Effet de l'inclinaison Nord-Sud des satellites

l'orbite des satellites d'observation de la Terre n'est pas orientée Nord - Sud mais il ya un angle d'inclinaison pour assurer l'héliosynchronisme (orbite héliosynchrone) qui se traduit par une rotation effective de la Terre.

Bien qu'il ne s'agisse pas strictement d'une distorsion géométrique, mais il est désagréable d'avoir une image corrigée pour la plupart des effets majeurs mais qui n'est pas orientée verticalement dans une direction nord-sud. On se rappellera par exemple que les orbites de Landsat en particulier sont inclinées d'environ 9° vers la ligne nord-sud. Pour modéliser de ce décalage on fait pivoter l'image de l'angle d'inclinaison dans le sens inverse.

2.1.3. Effet Panoramique

L'effet panoramique se traduit par une augmentation de la taille du pixel aux extrémités de la prise de vue. Ce phénomène de distorsion est accentué en visée latérale. En visée verticale, les miroirs des systèmes d'acquisition ont des angles de visée θ variant de 7° à 8° selon le type de capteur.

En considérant que la courbure de la Terre est négligeable, c'est à dire que la surface de projection est plane et que l'altitude du satellite est très petite devant le rayon de la Terre, la taille du point réel au sol est donnée par l'expression suivante:

$$P_\theta = \beta h / \cos^2(\theta)$$

Où β est l'angle d'ouverture du détecteur (IFOV). h est l'altitude du satellite. Le rapport de la taille du pixel au nadir sur la taille en visée latérale est :

$$P_\theta = P / \cos^2(\theta)$$

Nous remarquons que la déformation a lieu suivant x , la direction perpendiculaire à la trace et que les positions (p, l) dans l'image initiale et (x, y) dans l'image corrigée sont données en fonction de l'altitude h du satellite et de l'angle de visée.

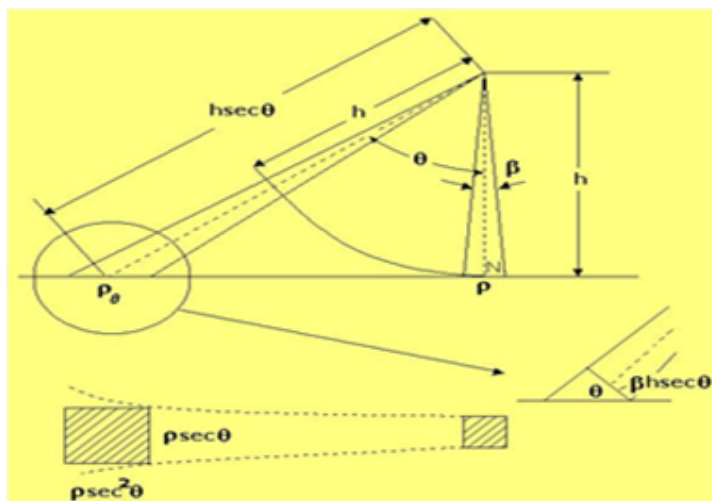


Figure. 3.2. Effet panoramique

2.1.4. Effet de courbure de la terre

La largeur de la trace au sol des satellites d'observation de la Terre est variable (de 60 km pour SPOT à 185 km pour LANDSAT).

La scène réelle de la trace est une projection de celle-ci sur un plan. Par conséquent, les pixels qui se trouvent aux extrémités de la scène présentent une distorsion géométrique, généralement une délocalisation combinée avec l'effet panoramique.

La taille effective du pixel sur une surface inclinée de la terre est donnée par l'expression suivante:

Déformations géométriques non-systématiques (Aléatoires) :

$$P_c = \beta [h + R_T (1 - \cos(\varphi))] * \sec(\theta) * \sec(\theta + \varphi)$$

où φ exprime la courbure de la Terre, βh est la taille du pixel au nadir.

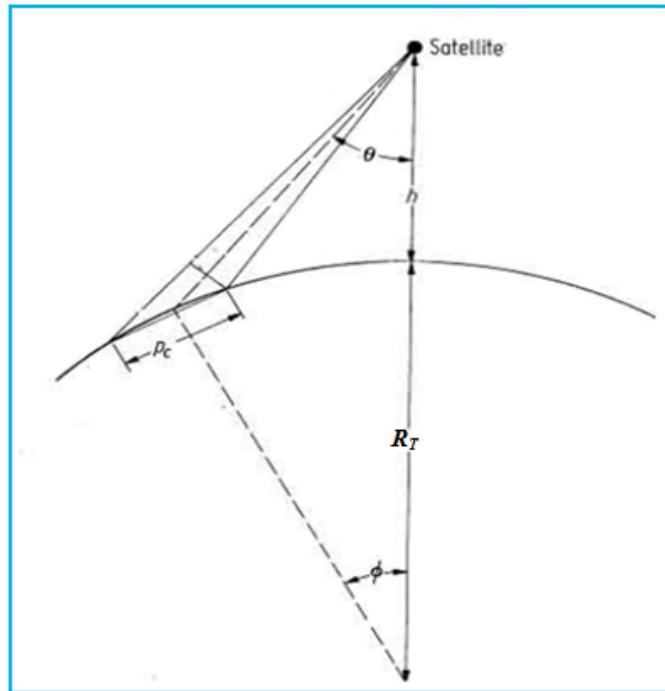


Figure. 3.3. Effet de courbure de la terre

2.2. Déformations géométriques non-systématiques (Aléatoires) :

leurs corrections font appel à des approches mathématiques basées sur des points de repère localisés dans l'image satellitaire et dans un référentiel choisi.

2.2.1. Effet des variations d'attitude et d'altitude du satellite

- Une variation d'attitude, c'est à dire une variation de la trajectoire du satellite suivant ses trois axes : tangage, roulis et lacet, provoque une délocalisation et une distorsion.
- Une variation de la vitesse du satellite crée une dilatation de l'image le long du déplacement du satellite.
- Une variation d'altitude du satellite engendre des variations d'échelle en ligne.

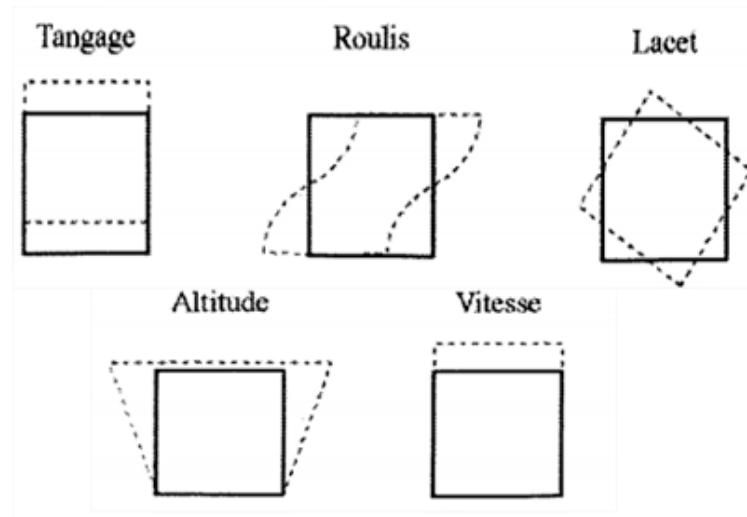


Figure. 3.4. Effet d'attitude et d'altitude du satellite.

2.2.2. Effet de la topographie (relief)

- Les distorsions géométriques ne sont pas dues seulement au capteur et à la géométrie de prise de vue mais aussi à la topographie de la zone. Les points de l'image correspondant à une zone montagneuse sont décalés par rapport à leurs positions réelles.
- La topographie des terrains très accidentés ou montagneux a un impact majeur sur la distorsion géométrique.
- La modélisation de cette distorsion utilise comme donnée auxiliaire les altitudes moyennes de chaque point de l'image. Ces altitudes sont données par la grille du modèle numérique de terrain (MNT) superposable à l'image corrigée en planimétrie.

3. Principe de la correction géométrique

A toutes ces causes de déformations géométriques, *déterministes* ou *aléatoires*, la correction des images satellitaires doit être effectuée afin de pouvoir les exploiter dans un repère lié à une projection cartographique conventionnelle.

De manière générale, la correction géométrique comprend les étapes suivantes:

- Choix d'un référentiel.
- Modélisation des déformations.
- Rectification de l'image par application du modèle en tout point et rééchantillonnage (interpolation) radiométrique de l'image obtenue.
- Orthrectification.

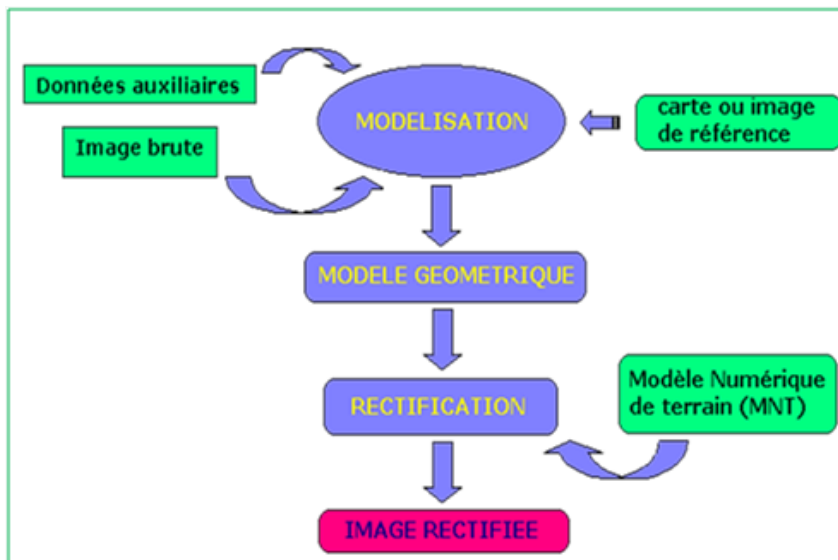


Figure. 3.5. Principe de la correction géométrique.

3.1. Choix du référentiel

La correction de l'image doit être effectuée par rapport à une référence, il est donc nécessaire de définir celle-ci.

Pour cela, trois possibilités sont envisagées :

1. L'image est corrigée par rapport à une référence liée à la Terre. Cette démarche, longue et fiable, nécessite des points de repère localisés sur le terrain ; donc la correction est dite Image - Terrain.
2. Elle est corrigée par rapport à une référence carte. L'image rectifiée est restituée dans un système de représentation cartographique. La correction est dite Image - Carte.
3. L'image est corrigée par rapport à une autre image prise comme référence. Dans ce cas là, la procédure de correction permet le recalage et la superposition des images multisources. La correction est appelée Image -Image.

3.2. Modélisation de la déformation géométrique

En pratique, la non disponibilité de tous les paramètres de prise de vue fait que la modélisation peut être réalisée selon deux approches:

- l'approche déterministe ou analytique.
- L'approche globale (polynomiale).

3.2.1. l'approche analytique

Elle consiste à modéliser la nature des causes de déformations et utilise ces modèles pour établir les formules de correction. Ceci concerne les déformations modélisables (systématiques).

- Rotation de la terre [2]^{*}

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \alpha \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

- inclinaison Nord-Sud [2]*

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \zeta & \sin \zeta \\ -\sin \zeta & \cos \zeta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

- Effet panoramique [3]*

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sec^2 \theta & 0 \\ 0 & \sec \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

- Courbure de la terre [3]*

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sec \theta * \sec(\theta + \varphi) & 0 \\ 0 & \sec \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

3.2.2. L'approche globale

Cette approche consiste à modéliser globalement les déformations géométriques de l'image sans connaître leurs causes. Un modèle mathématique est établi entre les coordonnées des pixels de l'image distordue et de leurs correspondants sur la référence.

Le principe de base de la modélisation des déformations par cette approche est de déterminer, à partir d'un ensemble de points d'appui localisés dans l'image distordue et la référence, une fonction qui permet de représenter toutes les erreurs géométriques présentes dans l'image et de prédire les valeurs des points.

1. Extraction des points d'appui :

La première étape consiste à trouver des points d'appui (dits aussi de calage ou d'amer) communs entre la source de référence et l'image à corriger. La source de référence peut être un ensemble de points connus et référencés (points géodésiques, relevés GPS...), une carte topographique ou encore une image satellitaire géoréférencée. Un point d'appui est un point remarquable sur l'image.

- Cet ensemble de points d'appui doit être choisi selon les critères de validité suivantes :

La précision : elle est définie par une mesure exacte de déplacement.

La densité : elle est définie par un nombre de points d'appui suffisant pour assurer la correction locale de la déformation.

La répartition : la population des points d'appui doit être répartie de façon régulière sur l'image afin que la modélisation de la déformation soit homogène.

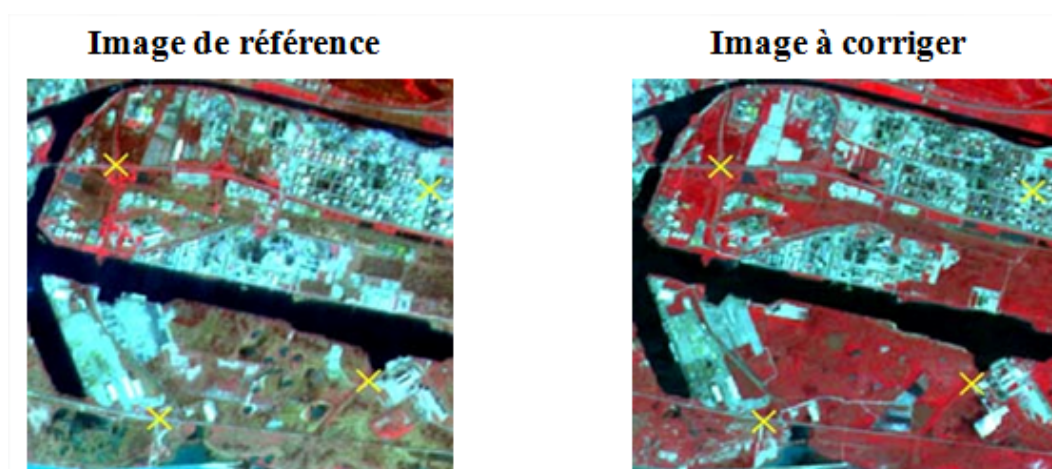


Figure. 3.6. Extraction des points d'appui

2. Détermination du modèle de déformation

La seconde étape de la phase de modélisation consiste à trouver une relation (les coefficients d'un polynôme de degré n) entre points source et points de référence.

Plus il y a de déformations et plus il faut utiliser un modèle de déformation de degré élevé et plus le nombre de points d'appui nécessaire est élevé.

Le nombre minimal de points d'appui peut être calculé à l'aide de la formule suivante :

$$N = \frac{(n+1)(n+2)}{2}$$

Où N est le nombre minimal de points d'appui.

- Un polynôme du 1^{er} ordre est donné par :

$$\begin{aligned}x' &= a_0 + a_1 x + a_2 y \\y' &= b_0 + b_1 x + b_2 y\end{aligned}$$

- Un polynôme du 2^{eme} ordre est donné par :

$$\begin{aligned}x' &= a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 xy + a_4 x^2 + a_5 y^2 \\y' &= b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 xy + b_4 x^2 + b_5 y^2\end{aligned}$$

3.3. Rectification et rééchantillonnage de l'image

La troisième phase du processus de correction géométrique consiste à appliquer le modèle de déformation obtenu sur l'image à corriger pour créer une nouvelle image dans le référentiel choisi.

Ensuite, il est nécessaire d'appliquer un algorithme de ré-échantillonnage pour affecter à chaque nouveau pixel de l'image créée, une valeur la plus proche possible de l'ancienne image. Trois méthodes sont possibles :

1. la méthode du Plus Proche Voisin (1 pixel voisin);
2. l'interpolation Bilinéaire (4 pixels voisins);
3. l'interpolation Cubique (16 pixels voisins).

3.3.1. Méthode de Plus Proche Voisin (Filtre PPV)

Le principe de ce filtre revient à affecter le niveau de gris du plus proche nœud au plus proche voisin de la valeur de (x', y')

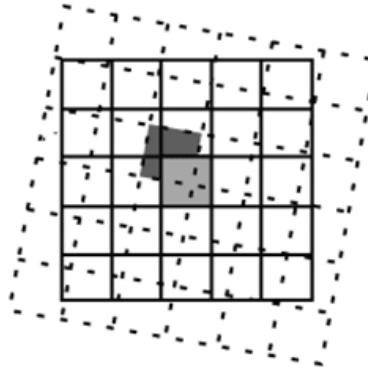


Figure. 3.9. Principe du filtre PPV.

3.3.2. Méthode Bilinéaire (Filtre Bilinéaire)

Le principe de ce filtre revient à affecter le niveau de gris trouvé par interpolation dans deux (2) direction orthogonales dans l'image originale au plus proche voisin de la valeur de (x', y')

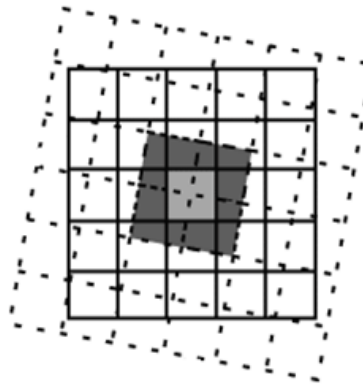


Figure. 3.10. Principe du filtre Bilinéaire.

3.3.3. Méthode Cubique (Filtre Cubique)

Le principe de ce filtre revient à affecter le niveau de gris trouvé par interpolation dans quatres (4) direction orthogonales dans l'image originale au plus proche voisin de la valeur de (x', y')

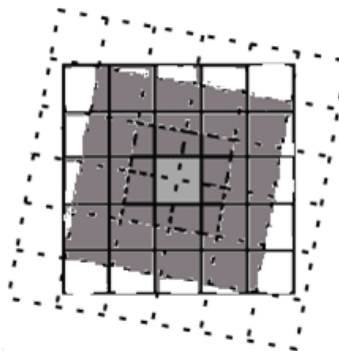


Figure. 3.11. Principe du filtre Cubique.

Chapitre 4 : Rehaussement et Filtrage des images satellitaires

IV

Objectif : a l'issue de cette partie, l'étudiant doit être capable de comprendre et différencier entre les méthodes utilisées pour le rehaussement et celles utilisées pour le filtrage des images satellitaires.

1. Introduction

L'image satellitaire est une représentation plane d'objets à 03 dimensions. Une image numérique est un tableau à deux dimensions de mesures radiométriques, composé d'unités élémentaires appelés pixels.

L'image numérique est une fonction $f(x,y)$ avec :

x, y : Les coordonnées spatiales (ligne, colonne) du point (x,y) .

$f(x,y)$: Valeur entière représentant l'intensité lumineuse (le niveau de gris) du point (x,y) .

Le traitement d'image consiste en l'exploitation des informations contenues dans l'image par l'application d'une ou de plusieurs opérations de traitement dépend de l'information à extraire et de l'utilisation ultérieure du résultat.

Ces traitements (transformations), qui ont pour but de rendre les images plus aptes à l'interprétation humaine, sont regroupés en trois classes: ponctuels, locaux et globaux.

1. *Transformations ponctuelles* : $f'(i, j) = T(f(i, j))$

- Modification de la brillance ou amélioration du contraste d'une image.
- L'arrangement spatial (position) des pixels n'intervient pas : aucune relation de voisinage étudiée.
- Utilisation des *histogrammes*.

2. *Transformations locales* : $f'(i, j) = T(f(V))$, où V est un voisinage du pixels (i, j)

- Utilisation des *filtres*.

3. *Transformations globales*: $f'(i, j) = T(f)$

- Utilisation de la transformée de Fourier (domaine fréquentiel)

2. Rehaussement des images satellitaires (Traitement ponctuel)

2.2. Différents types de rehaussement des images satellitaires

2.2.1. Rehaussement logarithmique de contraste

Ce type de rehaussement est utilisé pour traiter des images trop sombres.

- L'intervalle des intensités claires est augmenté (éclaircissement global de l'image).

formule : $I_s = \text{Log}(I_e)$.

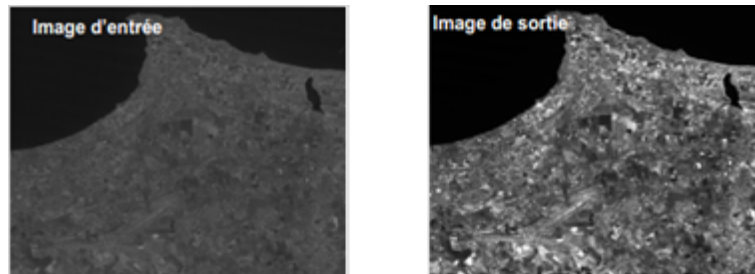


Figure. 4.1 : Rehaussement logarithmique de contraste

2.2.2. Rehaussement exponentiel de contraste

Ce type de rehaussement est utilisé pour traiter des images trop claires.

- L'intervalle des intensités sombres est augmenté (assombrissement global de l'image).

formule : $I_s = \text{Exp}(I_e)$.



Figure. 4.2 : Rehaussement exponentiel de contraste

2.2.3. Étalement du dynamique (étirement d'histogramme - stretching)

C'est une transformation affine (linéaire) dans le cas où l'intervalle de variation des niveaux de gris est réduit : on le remet entre 0 et $(L - 1)$.

- Si les niveaux de gris de I_e appartiennent à $[I_{emin}; I_{emax}]$, et qu'on l'étire à l'intervalle $[0; L - 1]$, par la fonction de transfert (LUT) donnée par la formule suivante :

$$I_s = \frac{L-1}{I_{emax} - I_{emin}} (I_e - I_{emin})$$

L'histogramme de l'image de sortie sera étiré comme il est illustré sur la figure 4.3.

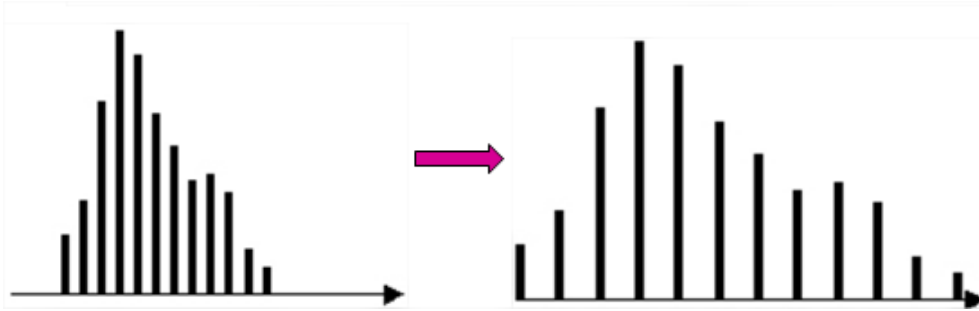


Figure. 4.3 : Étirement de l'histogramme

2.2.4. Égalisation de l'histogramme

Cette transformation utilise l'histogramme cumulé. Le but de cette transformation est d'obtenir une image résultat dont son histogramme $H_s(I_s)$ est uniforme.

Soit N le nombre total des pixels et L le nombre de niveaux de gris de l'image à traiter.

Le nombre de pixels dans l'intervalle $(I_e + dI_e)$ égale au nombre de pixels dans l'intervalle $(I_s + dI_s)$, donc:

$$H_e(I_e) * dI_e = H_s(I_s) * dI_s$$

$$dI_s = \text{constant} * H_e(I_e) * dI_e \quad (\text{L'histogramme de } I_s \text{ est uniforme})$$

Par intégration :

$$I_s = \text{constant} * H_{ce}(I_e) \quad (\text{Hce L'histogramme cumulé de } I_e)$$

I_s Prend ses valeurs entre 0 et $L-1$, la valeur max de H_{ce} est N ce qui implique :

$$I_s = \frac{L-1}{N} * H_{ce}(I_e)$$

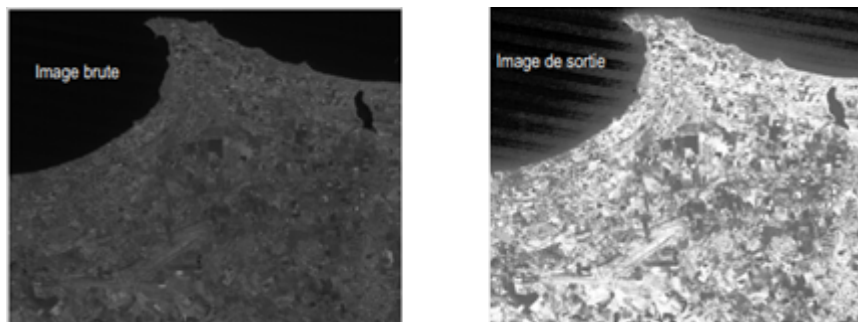


Figure. 4.4 : Égalisation de l'histogramme

Remarque : Étirement / Égalisation de l'histogramme

- L'étirement va changer la répartition spatiale des bâtons de l'histogramme, mais pas leurs tailles.
- L'égalisation va changer la répartition spatiale des bâtons de l'histogramme, et leurs tailles.

2.2.5. Calibration radiométrique de deux images

C'est une opération de Mise en correspondance de deux histogrammes (Histogram Matching).

Le but de cette transformation est de rapprocher le contraste d'une image à une autre prise comme référence. Cette opération est très utilisée dans le mosaïquage des images.

Soit $H_2(I_2)$ l'histogramme de l'image à calibrer et $H_1(I_1)$ l'histogramme de l'image de référence ayant le même nombre de pixels.

La première étape est l'égalisation des 2 histogrammes, on obtient les histogrammes cumulés des 2 images où la fonction de transfert pour l'image I_1 est $z=f(I_1)$ et $z=g(I_2)$ pour l'image I_2 ce qui implique :

$$I_2 = g^{-1}\{f(I_1)\}$$

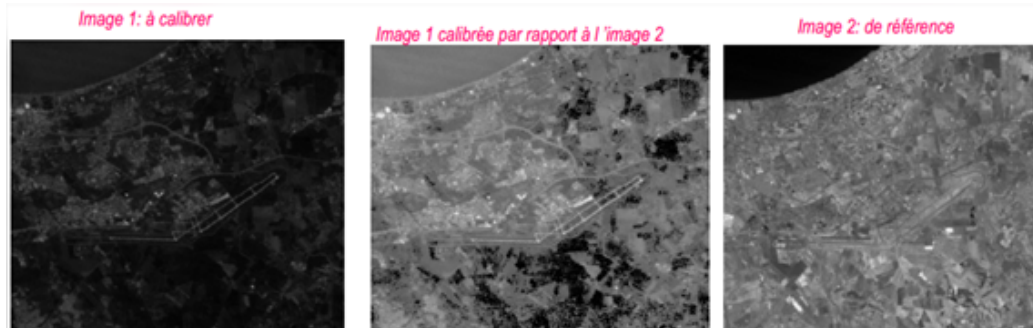


Figure. 4.5 : Calibration radiométrique de deux images

Remarque

- Si les deux images n'ont pas le même nombre de pixels :

$$I_2 = (N_2/N_1) * g^{-1}\{f(I_1)\}$$

3. Filtrage des images satellitaires (traitement local)

3.1. Introduction

Dans le traitement local, le nouveau NG en un point est fonction du NG du pixel considéré et de son voisinage. L'opération de voisinage fait appel à un domaine associé à un point $p(x, y)$, limité par un masque de taille fixe appelé voisinage du point p .

Le résultat (niveau de gris) est calculé en considérant l'ensemble des niveaux de gris inclus dans le voisinage; ce résultat est affecté au point de coordonnées (x, y) de l'image résultat.

Définition : Filtrage d'image

Le Filtrage d'image est une opération de réduire le bruit et de détecter les contours dans l'image par une convolution spatiale (traitement local).

3.2. Différents types de filtres

3.2.1. Filtres linéaires

Le filtre local est dit linéaire si la valeur du nouveau pixel est une combinaison linéaire des valeurs des pixels du voisinage.

☞ *Exemple : Filtre Moyenne*

Filtres Moyennes de 3*3 et 5*5

$$\frac{1}{9} \cdot \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} \quad \frac{1}{25} \cdot \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array}$$

☞ *Exemple : Filtre Gaussien*

Ce filtre est donné par la formule suivante :

$$G(x,y) = (1/2\pi\sigma^2) \exp(-(x^2+y^2)/2\sigma^2)$$

$G(-1,-1)$	$G(0,-1)$	$G(1,-1)$
$G(-1,0)$	$G(0,0)$	$G(1,0)$
$G(-1,1)$	$G(0,1)$	$G(1,1)$

Filtres Gaussiens 3*3 (avec $\sigma=0.8$) et 5*5 (avec $\sigma=1$)

$$\frac{1}{16} \cdot \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline 2 & 4 & 2 \\ \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline \end{array} \quad \frac{1}{300} \cdot \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ \hline 4 & 18 & 30 & 18 & 4 \\ \hline 6 & 30 & 48 & 30 & 6 \\ \hline 4 & 18 & 30 & 18 & 4 \\ \hline 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ \hline \end{array}$$

L'effet de ce filtre est assez similaire au filtre moyenne, mais la moyenne est pondérée en ce sens où les pixels près du centre ont un "poids" plus important que ceux qui sont situés plus loin.

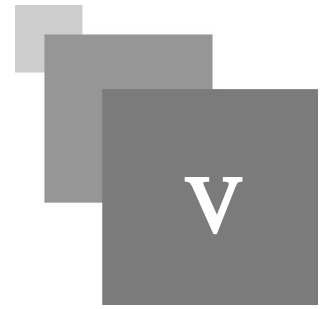
3.2.2. Filtres non-linéaires

Dans ce type de filtre la valeur du pixel central est remplacée par une valeur qui existe déjà dans l'image et n'est pas une combinaison du voisinage.

Plusieurs filtres non-linéaires sont utilisés pour le filtrage des images satellitaires tels que :

- *Filtre Médiane* : la valeur du pixel central est remplacée par la valeur *Médiane* du voisinage.
- *Filtre Max* : la valeur du pixel central est remplacée par le *Max* du voisinage.
- *Filtre Min* : la valeur du pixel central est remplacée par le *Min* du voisinage.
- *Filtre Max – Min* : la valeur du pixel central est remplacée par la *différence* entre le *Max* et le *Min* du voisinage.

Chapitre 5 : Création des néo-canaux



Objectif : a la fin de cette partie, l'étudiant sera capable de générer des nouvelles images (Néo-canaux) à partir des images originales.

1. Introduction

Une image satellitaire contient plusieurs canaux, correspondant chacune à une région du spectre électromagnétique (panchromatique). Dans certains cas ces canaux correspondent à des sous-régions du spectre visible (bleu, vert et rouge).

La transformation des images est un procédé qui combine plusieurs bandes spectrales basée sur des opérations arithmétiques (addition, soustraction, multiplication, division) pour créer de nouveaux canaux (néo-canaux) afin d'extraire et de rehausser certains éléments moins évidents dans les images originales.

Par exemple: la soustraction de deux images multi-dates permet de voir le changement des cultures entre les différentes dates.

Cette transformation peut être aussi utile pour identifier les zones où le développement urbain a changé la surface ou pour identifier des zones de déforestation.

La plus simple transformation qui fait améliorer l'aspect visuel et facilite l'interprétation des images satellitaire en combinant des images multi-spectrales est : *la composition colorée*.

2. Composition colorée

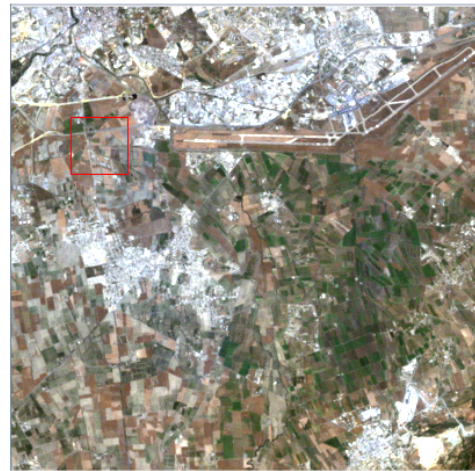
Suivant les thématique désirée, les canaux combinées peuvent être trois bandes multi-spectrales d'une même scène, trois canaux de la même bande spectrale mais acquis à trois dates différentes (suivi des changements).

Le choix de la composition colorée adaptée à l'étude dépend de la scène à étudier (comportement des objets dans les différentes bandes spectrales) et de ce que l'en désire mettre en évidence.



Exemple 1 :

Bandes 3, 2, 1 de Landsat 7 (4, 3, 2 pour Landsat 8) dans rouge, vert et bleu. Cette image est appelée composition en couleurs naturelles ou vraies couleurs. Elle est utilisée habituellement comme première image pour l'analyse et comme image de fond pour les utilisateurs « non-experts » dans les données satellitaires.



Exemple 2

Bandes 7, 5, 3 de Landsat 7 (7, 6, 4 pour Landsat 8) dans le rouge, le vert et le bleu. Cette image est appelée image en couleurs pseudo-naturelles.

Exemple 3

Bandes 4, 3, 2 de Landsat 7 (5, 4, 3 pour Landsat 8) dans le rouge, le vert et le bleu. Cette image est plus utilisée aussi, la végétation apparaît en rouge.



3. Rapport de bandes

Les rapports de bandes sont utilisés aussi pour la discrimination des différentes thématiques existant dans la zone de l'image. Le tableau suivant donne quelques exemples de rapports de bandes et leurs utilisations :

Rapport de bandes	Description
5/7	Bonne discrimination pour les roches qui riches en AL-OH.
3/1, 3/2	Bonne discrimination pour les roches ayant subies une altération hydrothermale et pour les oxydes de fer.
1/2, 2/1	Bonne discrimination pour les roches riches en oxydes de fer.
3/1, 3/2	Bonne discrimination pour pour la végétation et l'eau.
3/4	Utiliser pour l'étude des terres arides et les régions urbaines.
7/5	Bonne discrimination des argiles.

Ces rapports sont utilisés par la suite en composition colorée.

L'une des combinaison possibles (TM4/TM5) bleu, (TM3/TM2) vert et (TM5/TM7) rouge.

Cette combinaison mis en évidence les zones riches en oxyde de fer et les zones argileuses.

4. Les indices

Les indices sont des analyses ou transformations ponctuelles d'images multi-variés c'est à dire des traitements élaborés à partir de plusieurs canaux, dont le résultat est une seule image en sortie.

Il s'agit souvent d'opérations mathématiques plus ou moins simples visant soit à réduire la somme d'informations ou bien la mise en évidence de thèmes particuliers (végétation, sols...).

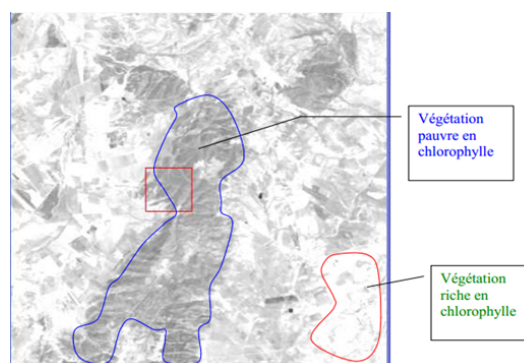
- Indice de végétation NDVI

L'indice de végétation normalisé (Normalized Difference Vegetation Index). Cet indice est donné par la formule suivante :

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

Le néo-canal résultant présente un gradient croissant d'activité végétale allant du noir signifiant absence de couverture, au blanc qui rend compte d'une activité chlorophyllienne très élevée.

Plus les pixels sont blanc plus la végétation est riche en chlorophylle et vice-versa.



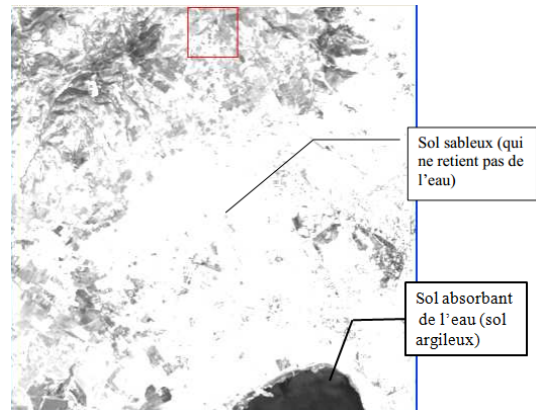
- Indice de clarté IC

Cet indice est appliqué en pédologie. Il permet de discriminer les couvertures végétalisées des étendues minérales. Cet indice est donné par la formule suivante :

$$IC = \frac{R - V}{R + V}$$

Plus un sol est noirâtre plus il absorbe de l'eau. C'est la principale caractéristique d'un sol argileux qui retient de l'eau.

Au contraire, plus un sol est moins noirâtre (du gris au blanc) plus il n'absorbe pas de l'eau. Il s'agit dans ce cas d'un sol sableux.



- *Indice de brillance IB*

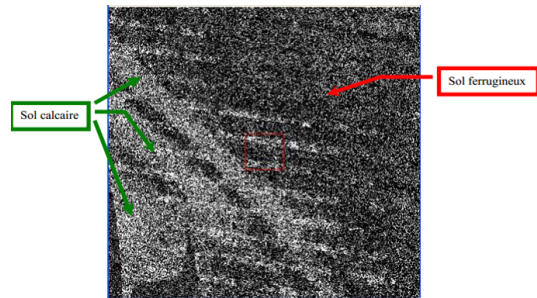
L'indice de brillance (IB) met en évidence les minéraux dans le sol. Il est donné par la formule suivante :

$$IB = \sqrt{PIR^2 + R^2}$$

Selon cet indice, plus un sol est noirâtre plus il contient du fer (sol ferrugineux).

Au contraire, plus il est blanc plus il contient du calcaire (sol calcaire).

Pratiquement nous voyons les deux types de sol.



5. Analyse en composante principale (ACP)

Les données de bandes multispectrales différentes ont souvent une corrélation très élevée (information similaire ou redondance)

L'Analyse en composantes principales (ACP) est une transformation ponctuelle qui utilisent plusieurs images en entrée, et plusieurs images en sortie.

Cette transformation a pour but de :

- réduire le nombre de dimensions (nombre de bandes).
- produire une compression de l'information de plusieurs bandes dans un nombre plus restreint de bandes.

Les "nouvelles" bandes qui résultent sont appelées composantes.

L'ACP Maximise la quantité d'information des données originales dans un nombre restreint de composantes.

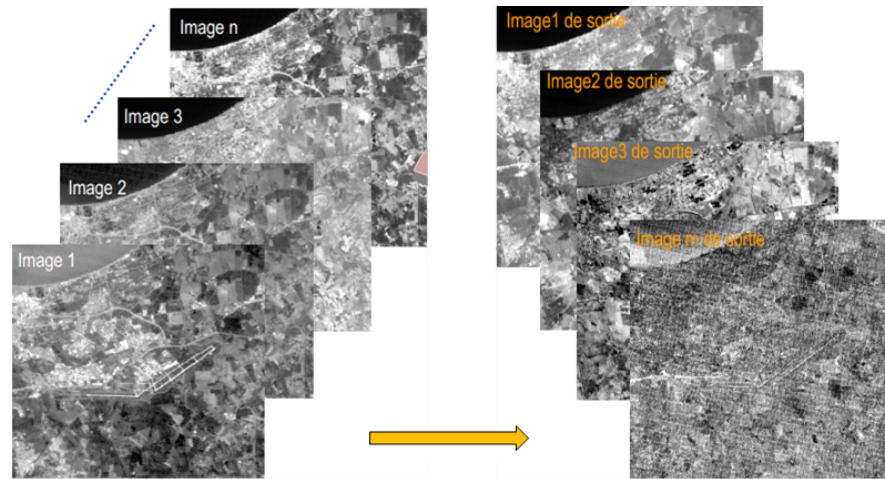


Figure. 5.1 : Analyse en composante principale.

Exemple : Capteur Landsat-TM

Pour ce capteur, l'ACP permet de transformer les données des six bandes en trois principales composantes représentant plus de 90% de l'information.

Les images des trois premières composantes sont très nettes et contrastées et riches en information.

Les images des trois dernières composantes sont très bruitées et pauvre en information.

L'interprétation et l'analyse de ces trois composantes, en les combinant visuellement ou numériquement, est plus simple et plus efficace que l'utilisation des six bandes initiales.

6. Exercice

[solution n°4 p.49]

- Les indices sont des transformations d'images multi-variés c'est à dire des traitements élaborés à partir de plusieurs canaux, dont le résultat est en sortie.
- L'ACP est une transformation qui utilisent plusieurs images en entrée, et en sortie. Les "nouvelles" bandes qui résultent sont appelées .

7. Exercice

[solution n°5 p.49]

Une bonne discrimination des roches riches en oxydes de fer se fait par :

- Le rapport des bandes 5 et 7
- Le rapport des bandes 3 et 1
- Le rapport des bandes 1 et 2

Chapitre 6 : Classification des images satellites

VI

Objectif : La classification d'images est un processus de traitement qui sert à diviser l'espace image en des régions homogènes. A la fin de cette partie, l'étudiant sera capable de distinguer entre les différentes méthodes de classification et ses principes utilisées pour les images satellitaires ainsi que les méthodes d'évaluation quantitative d'une classification.

1. Introduction

La classification d'images satellitaires est une transformation ponctuelle qui utilisent plusieurs images en entrée, pour avoir une seule image en sortie décrivant les différents thèmes existents dans la zone observée.

Définition : Classification d'images satellitaires

La classification d'images est un processus de décomposition de l'espace images en régions étiquetées sur la base d'une ressemblance de propriétés (radiométriques, dérivées).

Cette transformation permet de regrouper en des classes homogènes les pixels en fonction de critères radiométriques dans une image multibande (Multispectrale, Néo-canaux).

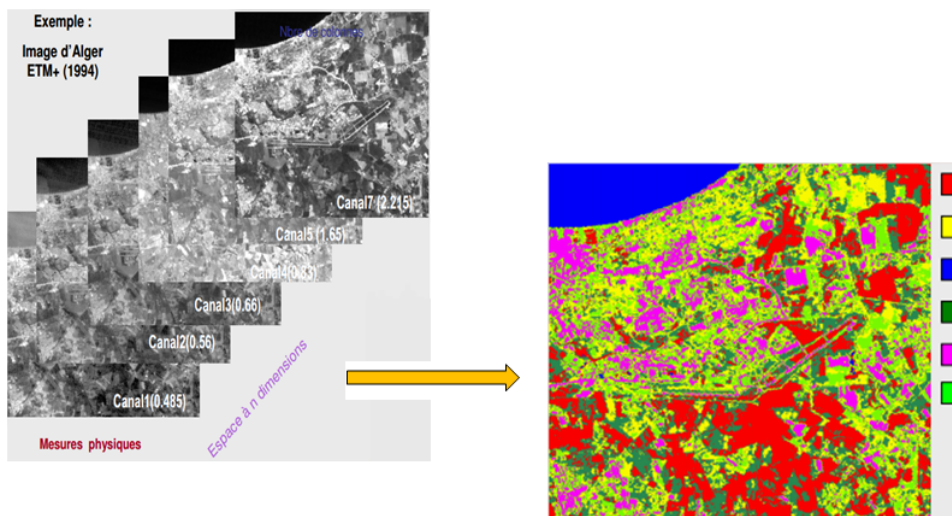


Figure 6.1 : Processus de Classification d'images satellitaires.

Selon les règles de ressemblance qui définissent le formalisme de base de la méthode de classification, on

distingue deux types de classification [5] :

- Classification non-supervisée.
- Classification supervisée.

2. Classification non-supervisée

Définition

La classification automatique ou non supervisée est une technique qui effectue sans aucune connaissance a priori la structure des classes recherchées.

Le groupement des individus est réalisé sur la base de similarité et il est conditionné par le choix du nombre de classes et d'une configuration initiale liée au tirage des noyaux (pixels représentant les noyaux des classes initiales).

Exemple : Méthode des K-Means (centres mobiles)

Le processus de classification par cette méthode suit les étapes suivantes :

- Choisir k centres provisoires de classes.
- Construire les k classes initiales: un pixel appartient à une classe s'il est plus proche à son centre (distance radiométrique: euclidienne, ...) que les autres.
- Détermine k nouveaux centres de classes à partir des classes construites.
- Le processus se poursuit sur le même principe en alternant les étapes de calcul de nouveaux centres et d'affectation des pixels P_i dans les nouvelles répartition des classes.
- L'algorithme s'arrêtera dans l'un des cas suivants :
 1. Le nombre maximum d'itérations, fixé au début, est atteint.
 2. Deux itérations successives ont conduit à la même partition (stabilité).
 3. Un critère convenablement choisi (variance intra classe à minimiser).

Deux inconvénients majeurs influent sur les performances de cette approche :

- Le nombre de classes fixé au début.
- La partition finale dépend du choix de la partition initiale.

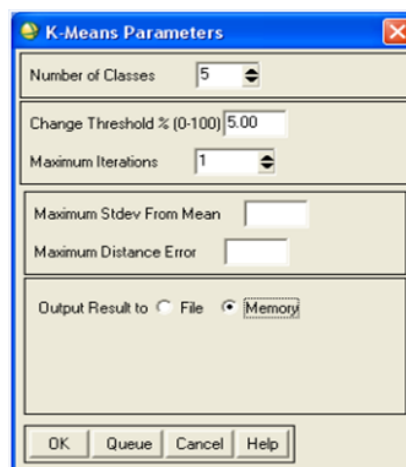


Figure 6.2 : Classification K-Means par ENVI

Exemple : Méthode ISODATA

Cette méthode est une variante du K-Means introduisant les modifications suivantes pour remédier aux inconvénients du K-Means :

- une classe peut être détruite si elle ne comporte pas suffisamment d'objets.
- deux classes peuvent être agglomérées si la distance entre leurs centres est inférieure à un seuil donné.
- une classe peut être scindée en deux si la dispersion des objets la constituant est supérieure à un seuil donné.

La principale difficulté rencontrée avec la classification ISODATA est qu'il faut déjà avoir une certaine connaissance des données pour fixer les paramètres.

En particulier, le paramètre fixant l'éclatement d'une classe en deux ainsi que le paramètre fixant le rapprochement de deux classes.

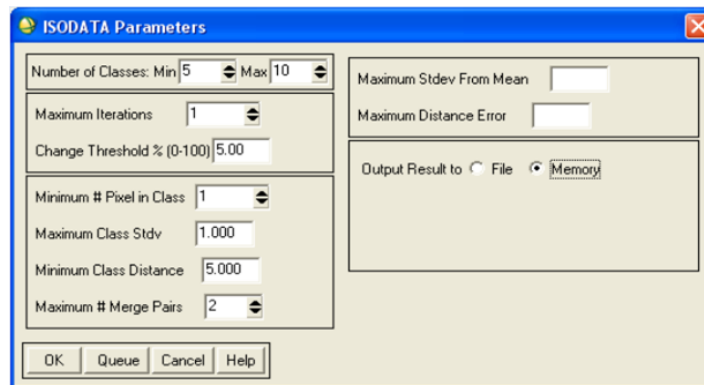


Figure 6.3 : Classification ISODATA par ENVI.

L'avantage de la classification non supervisée est l'obtention d'une partition ou d'une classification grossière sans avoir une connaissance du moins précise sur l'état de surface représenté par l'image à classifier.

Remarque

Souvent, dans les applications thématiques, on réalise une classification non supervisée et le résultat est utilisé, ensuite pour définir les échantillons des classes pour un processus de classification supervisée.

3. Classification supervisée

Définition

Pour ce type de classification, on dispose d'une connaissance a priori des caractéristiques des objets qui doivent être discriminés sur la zone d'étude.

A cet effet, la première étape dans un processus de classification supervisée est la localisation et l'identification des échantillons représentatifs des thèmes sur la base de cette connaissance.

Ces échantillons doivent respecter certains critères : la répartition sur l'image, le nombre de pixels par partie d'une classe et la représentativité.

Cette phase est très importante dans le processus de classification supervisée et la précision des résultats de la classification est conditionnée principalement par cette étape.

Généralement, la base d'entraînement extraite est divisée en deux parties. Une partie des échantillons sont utilisés pour établir *le modèle de décision* (règle de décision) et la deuxième partie dite « base de contrôle » est utilisée pour contrôler et valider les résultats de la classification.

Méthode : Classification supervisée

Généralement ce type de classification suit les étapes suivantes:

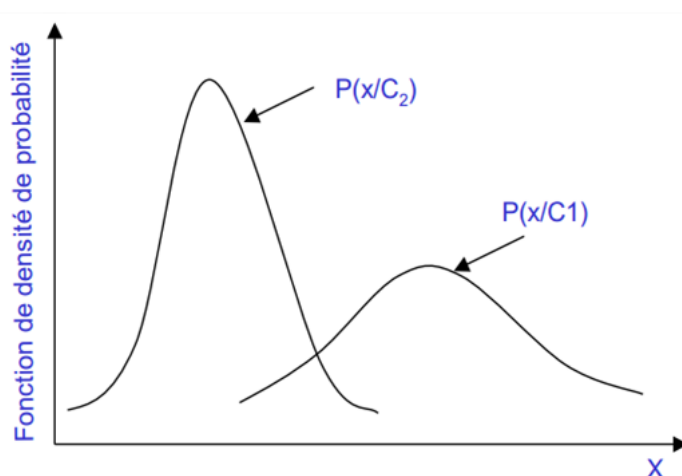
1. Choix des classes thématiques à rechercher dans l'image.
2. Choix d'un algorithme de classification (méthode).
3. Sélection d'échantillons pour :
 - L'entraînement (Apprentissage) : Ce sont les différents échantillons sélectionnés pour l'initialisation de l'algorithme.
 - La validation : qui vont servir à la vérification de la classification.
4. Lancement de la classification.
5. Évaluation de la précision de la classification : En comparant les résultats obtenus avec les informations de références. Cette comparaison est généralement basée sur une matrice de confusion.
6. Si la classification n'est pas satisfaisante (mauvaise qualité), on revient à l'étape d'apprentissage, sinon la classification sera généralisée sur la totalité de l'image, afin d'avoir un document interprétable (carte d'occupation du sol).

Les modèles de décision sont divisés en deux catégories essentielles : Les modèles ou règles de décision paramétriques (paramètres statistiques des classes) et les règles de décision non paramétriques.

Exemple : Méthode de Maximum de vraisemblance

C'est une méthode statistique basée sur les probabilités (*paramétrique*): un pixel est affecté à une classe si la probabilité d'appartenance $P(x/C_i)$ à cette classe est plus grande que celles des autres classes.

Cette distribution est supposée gaussienne pour toutes les classes dans la condition d'un nombre de pixels suffisamment grand.



Comme le processus de classification est initié par un certain nombre de classes, il y a donc toujours une des probabilités du pixel associées aux classes qui est supérieure.

De ce fait certains pixels qui ne correspondent à aucune classe seront malgré tout affectés à une des classes.

Pour pallier ce problème, on introduit un seuil de rejet. La valeur la plus forte de $P(x/C_i)$ trouvée doit être supérieure à une valeur minimale pour que le pixel soit affecté à une classe, dans le cas où cette condition n'est pas vérifiée, le pixel est affecté à une classe de rejet.

le choix de ce seuil entraîne deux situations possibles :

1. Si le seuil est grand, il y a le risque d'éliminer des pixels appartenant réellement à une classe.
2. S'il est trop petit, on aura une fausse affectation.

A partir de ces situations et pour un choix optimal, les règles de décision ont été définies en se basant sur la théorie de Bayes.

- La règle de décision est alors la suivante :

Un pixel est affecté à la classe C_i si et seulement si :

$$x \in C_i \text{ si } P(C_i) * P(x/C_i) > P(C_j) * P(x/C_j) \text{ pour tout } i \neq j$$

Cette règle est appelée la règle du maximum de vraisemblance. Plus $P(x/C_i) * P(C_i)$ est grande plus le pixel x aura la chance d'être affecté à la classe C_i

Exemple : Méthode de Distance Minimum

C'est une méthode de classification non-paramétrique; elle n'utilise aucune connaissance a priori des statistiques des classes considérées.

Un pixel est affecté à une classe si et seulement la distance au centre de gravité de cette classe est la minimale.

Les centres de gravités des classes sont calculés à partir des pixels d'apprentissage.

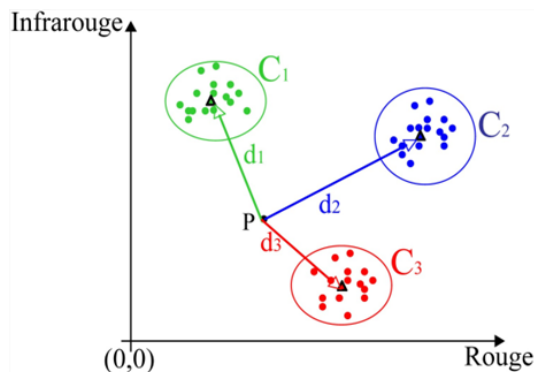
G1 : Centre de gravité de C1.

G2 : Centre de gravité de C2.

G3 : Centre de gravité de C3.

le pixel P appartient à la classe C3

car $d3 = \min (d1,d2,d3)$



4. Évaluation Quantitative d'une classification

4.1. Signatures spectrales

Pour vérifier la nature thématique d'une classe on doit :

- Tracer la signature spectrale de certains pixels de cette classe.
- Comparer cette signature avec les signatures spectrales connues (Eau, Végétation, Sol,...)

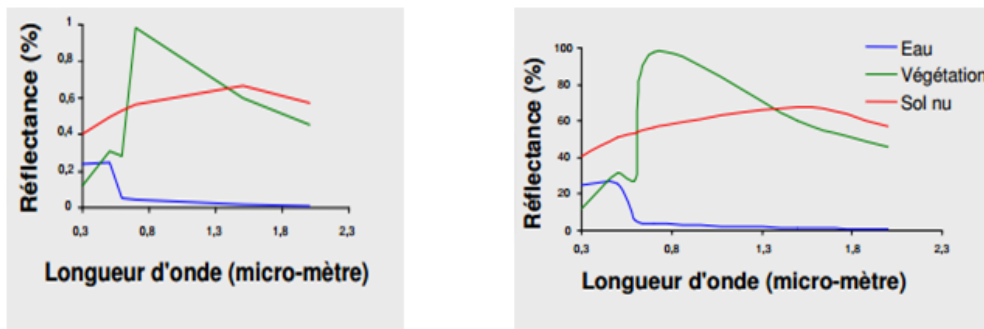


Figure 6.4 : Comparaison des signatures spectrales

4.2. Espace des caractéristiques

La classification se résume à une division de l'espace de caractéristiques en partitions disjointes.

Cette division s'effectue grâce aux fonctions discriminantes des méthodes de classification.

L'espace de caractéristiques représente l'espace multispectral des capteurs satellitaires.

Il est possible d'évaluer la séparabilité des classes par la projection des éléments de ces classes sur l'espace des caractéristiques.

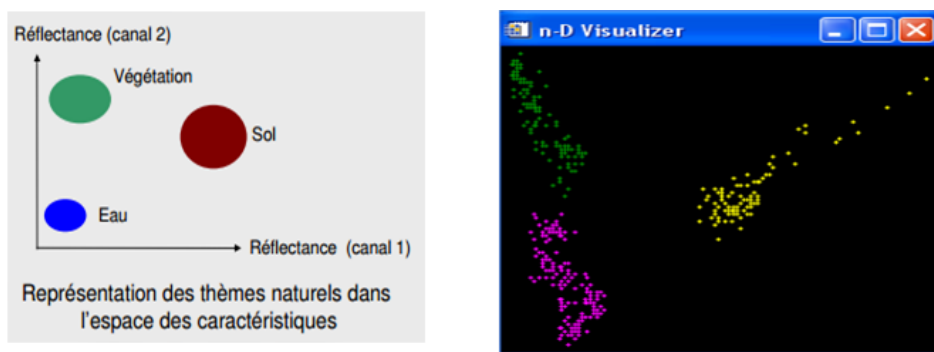


Figure 6.5 : Séparabilité des classes.

Remarque

Une répartition qui ne fait pas apparaître une parfaite séparation traduit une confusion entre les classes due à des erreurs de classification.

4.3. Matrice de confusion

La matrice de confusion ou tableau de contingence est utilisé pour évaluer la qualité d'une classification. Cette matrice est obtenue en comparant les thématiques classées avec les données de référence (base de contrôle) qui doivent être différentes de celles ayant utilisés pour réaliser la classification.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Classe 7	Total	%
Classe 1	99.0000	17.0000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	116.0000	83.7247
Classe 2	9.000000	105.0000	2.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	116.0000	85.2942
Classe 3	2.000000	3.000000	70.0000	0.000000	0.000000	0.000000	27.0000	102.0000	65.8180
Classe 4	0.000000	0.000000	0.000000	243.0000	3.000000	0.000000	0.000000	246.0000	90.4065
Classe 5	0.000000	0.000000	0.000000	14.0000	145.0000	0.000000	4.000000	163.0000	87.1224
Classe 6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	203.0000	0.000000	204.0000	99.9982
Classe 7	0.000000	1.000000	18.0000	0.000000	7.000000	0.000000	122.0000	148.0000	79.5574
Total	109.0000	126.0000	90.0000	257.0000	156.0000	203.0000	154.0000	0.000000	0.000000

DA : 90.1370 %K : 88.2880

- X_{ij} Les éléments de la matrice de confusion.
- X_{i+} La somme totale des éléments en lignes.
- X_{j+} La somme totale des éléments en colonnes.

Avec N le nombre total des pixels de la matrice et M le nombre des classes considérées.

Différents indicateurs de validation de la méthode de classification peuvent être extraits à partir de la matrice de confusion tels-que :

- Indicateur de l'erreur d'omission :

Cet indicateur désigne le taux des pixels d'une classe de référence affectés à d'autres classes par la méthode de classification.

$$IEO = X_{ii} / X_{i+}$$

- Indicateur de l'erreur de commission :

Cet indicateur désigne le taux des pixels affectés à une classe par la méthode de classification, mais appartenant à d'autres classes dans les données de référence.

$$IEC = X_{ii} / X_{j+}$$

- Indicateur KAPPA :

L'indicateur Kappa est un estimateur de qualité qui tient compte des erreurs en lignes et en colonnes. Il varie de 0 à 1. Pour une bonne classification, l'indice KAPPA doit être supérieur à 0.7.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^M X_{ii} - \sum_{i=1}^M (X_{i+} * X_{j+})}{N^2 - \sum_{i=1}^M (X_{i+} * X_{j+})}$$

5. Exercice

[solution n°6 p.49]

Après l'étape de classification d'une image satellitaire, nous avons construit la matrice de confusion afin de valider cette étape. De quelle type de classification s'agit il ?

- Classification supervisée
- Classification non-supervisée

6. Exercice

[solution n°7 p.49]

Suite à l'exercice précédent. On a calculé l'indice KAPPA qui égale à 0.65, la classification est :

- Bonne
- Mauvaise

7. Exercice

[solution n°8 p.49]

Suite à l'exercice précédent. On doit :

- Commencer à partir de l'étape d'apprentissage
- Continuer la classification sur toute l'image

Solutions des exercices



> Solution n°1

Exercice p. 8

Les satellites Géostationnaires sont placés à des altitudes

- allant jusqu'à 36000 Km
- allant jusqu'à 30000 Km
- entre 26000 km et 36000km

> Solution n°2

Exercice p. 16

Exercice

Pour une image LANDSAT 7 1200*800 codée sur 8 bits. Quelle est la taille de cette image en pixels ?

- 960000 pixels
- 690000 pixels
- 958001 pixels

Exercice

Pour la même image, quelle est la taille de l'image en octet ?

- 480000 octet
- 960000 octet
- 345000 octet

Exercice

Quelle est la taille de la zone observée par la même image précédente ?

- 432 km²
- 864 km²
- 684 km²

> **Solution n°3**

Exercice p. 26

la modélisation des déformations par l'approche globale se fait par l'extraction des points d'appuis. ces derniers doivent être choisis de façon précise, dense et répartie sur les deux images (référence et distordue).

> **Solution n°4**

Exercice p. 39

- Les indices sont des transformations ponctuelles d'images multi-variés c'est à dire des traitements élaborés à partir de plusieurs canaux, dont le résultat est une seule image en sortie.
- L'ACP est une transformation ponctuelle qui utilisent plusieurs images en entrée, et plusieurs images en sortie. Les "nouvelles" bandes qui résultent sont appelées composantes.

> **Solution n°5**

Exercice p. 39

Une bonne discrimination des roches riches en oxydes de fer se fait par :

- Le rapport des bandes 5 et 7
- Le rapport des bandes 3 et 1
- Le rapport des bandes 1 et 2

> **Solution n°6**

Exercice p. 46

Après l'étape de classification d'une image satellitaire, nous avons construit la matrice de confusion afin de valider cette étape. De quelle type de classification s'agit il ?

- Classification supervisée
- Classification non-supervisée

> **Solution n°7**

Exercice p. 47

Suite à l'exercice précédent. On a calculé l'indice KAPPA qui égale à 0.65, la classification est :

- Bonne
- Mauvaise

> **Solution n°8**

Exercice p. 47

Suite à l'exercice précédent. On doit :

- Commencer à partir de l'étape d'apprentissage

- Continuer la classification sur toute l'image

Références

[1]

Michel Claude GIRARD, Colette M.GIRARD « Traitement des données de télédétection »,DUNOD,paris,1999

[2]

John A. Richards, Xiuping Jia. Remote Sensing Digital Image Analysis :An Introduction Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.

[3]

Souri, A. H., and A. Azizi. Removing Bowtie Phenomenon by Correction of Panoramic Effect in MODIS Imagery. International Journal of Computer Applications 68 (3) (2013) 12-16.

[4]

Belhadj-Aissa, A. Contribution au Logiciel d'Analyse et de Traitement d'Images Satellitaires (L.A.T.I.S). Analyse Spatiale-Spectrale d'Images Satellitaires Appliquées à la Cartographie Thématique. Thèse de Doctorat d'état en électronique, spécialité Traitement d'Images et Télédétection, USTHB, Alger, 1998.

[5]

Smara, Y, Contribution au système d'analyse et traitement d'image satellitaires L.A.T.L.S. Evaluation de correspondance terrain –image classifiée et intégration d'image multisources optique et radar SAR. Thèse de doctorat d'Etat, USTHB, Alger, 1998.

[6]

Billen, Roland, and Bernard Cornélis, Géométrie de la spatiocarte: correction et validation." Bulletin de la Société Géographique de Liège 38, 2000, 25-42.