

UNIVERSITE DU BURUNDI

Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie

Département des Sciences Agro-Environnementales

Deuxième année de Baccalauréat - SAE II

TELEDETECTION

NOTES DE COURS

Par

Prof. NDUWIMANA André

45 H

Table des matières

Descriptif du Cours	4
I. INTRODUCTION	6
II. SOURCE D'ENERGIE ET RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE.....	8
2.1. Notions Théoriques.....	8
2.2. Eléments de réflexion	12
III. INTERACTION DU RAYONNEMENT AVEC L'ATMOSPHERE ET AVEC LA CIBLE.	13
1. Interaction du rayonnement avec l'atmosphère.....	13
2. Interactions du rayonnement avec la cible.....	15
3. Eléments de réflexion	21
IV. ENREGISTREMENT DE L'ENERGIE PAR UN CAPTEUR.....	23
1. Plates-formes et capteurs	23
a. <i>Caractéristiques d'un satellite.</i>	25
b. <i>Historique</i>	27
c. <i>Structure et composition</i>	27
d. <i>Pose d'un satellite sur orbite</i>	28
e. <i>L'avenir des satellites</i>	29
f. <i>Missions des satellites</i>	29
2. Détection.....	30
a. <i>Caractéristiques des capteurs</i>	32
b. <i>Caractéristiques des données de télédétection.</i>	36
V. TELEDETECTION DES HYPERFREQUENCES	38
VI. TRAITEMENT ET ANALYSE DES IMAGES DE TELEDETECTION	40
1. Prétraitement des images.....	40
2. Traitement des images	42
3. Analyse des données de télédétection.....	47
VII. APPLICATIONS DE LA TELEDETECTION	50
1. Application de la télédétection en Agriculture.....	50
2. Application de la télédétection en foresterie	51
3. Application de la télédétection en Géologie.....	51

4. Application de la télédétection en Hydrologie	52
5. Application de la Télédétection pour la Couverture et l'utilisation du sol.....	53
6. Application de la télédétection pour la cartographie	53
TD ET TP TELEDETECTION	55
T1. PROGRAMME LANDSAT	55
<i>Historique</i>	55
<i>Satellites première génération</i>	55
<i>Satellites deuxième génération:</i>	56
<i>Première série</i>	57
<i>Deuxième série</i>	58
<i>Base de données Landsat</i>	60
T2. RECHERCHER DES IMAGES SATELLITES SUR LE WEB	60
<i>T2.1. Exemple de sites à images gratuites</i>	61
<i>T2.2. Acquisition d'une image landsat</i>	61
T3. MANIPULATION DES IMAGES A L'AIDE DES LOGICIELS SPECIALISE (ICI ENVI).....	63
<i>T3.1. Interface Envi</i>	63
<i>T3.2. Exploration d'images satellites sous Envi</i>	63
<i>T3.3. Manipulation</i>	65

Table des Figures

Figure 1: Illustration des différentes étapes du processus de Télédétection	7
Figure 2: Illustration du déplacement du rayonnement électromagnétique	8
Figure 3: Illustration de la nature de la longueur d'onde et fréquence du rayonnement électromagnétique	9
Figure 4: Spectre électromagnétique	10
Figure 5: La position du visible dans le spectre électromagnétique	11
Figure 6: La portion de l'infrarouge dans le spectre électromagnétique	11
Figure 7: Principaux mécanismes d'interaction entre un rayonnement électromagnétique et l'atmosphère.....	13
Figure 8: Mécanisme de diffusion d'un rayonnement	13
Figure 9: Effet de la distance sur la diffusion de Raleigh	14
Figure 10: Longueurs d'onde efficaces pour la télédétection	15
Figure 11: Trois sortes d'interaction entre un rayonnement électromagnétique et une cible ..	15

Figure 12: Illustration de la réflexion spéculaire.....	16
Figure 13: Illustration de la réflexion diffuse.....	17
Figure 14: Signature spectrale de la végétation et de l'eau dans le visible et infra-rouge.....	17
Figure 15: Variation de la réflectance d'un couvert végétal en fonction du LAI (d'après Guyot, 1991).....	19
Figure 16: Schéma décrivant le trajet optique de la lumière à travers la structure d'une feuille de dicotylédone	20
Figure 17: Graphique (courbes) de réflectance de l'eau (1), de la végétation (2) et du sol (3)	21
Figure 18: Illustration de fonctionnement d'un capteur passif	23
Figure 19: Illustration de fonctionnement d'un capteur actif.	23
Figure 20: un capteur au sol placé sur une grue.	24
Figure 21: Un capteur dans l'espace placé sur les ailes d'un avion.	24
Figure 22: une navette spatiale.....	24
Figure 23: Des satellites autour de la terre	24
Figure 24: Différentes plateformes et échelles d'acquisition des données.	25
Figure 25: Illustration des satellites en orbites descendantes et ascendantes (A) et de la fauchée (B).	25
Figure 26: Satellite géostationnaire, altitude de 36000km	26
Figure 27: Illustration de la structure d'un satellite	28
Figure 28: Systèmes photographiques avec A: objet ou portion de la surface, B: système de lentilles, C: plan focal ou pellicule où se forme l'image.	30
Figure 29: Balayage perpendiculaire à la trajectoire (=Balayage croisé= across track)	31
Figure 30: Balayage parallèle à la trajectoire.	31
Figure 31: illustration de la résolution spectrale des films photos	33
Figure 32: Représentations en noir et blanc; en couleurs naturelles	33
Figure 33: Représentations en couleurs naturelles et en fausses couleurs.	34
Figure 34: Illustration du champ de vision instantanée (CVI)	34
Figure 35: Représentation d'une image des capteurs utilisant respectivement 1 bit et 8 bits..	36
Figure 36: Représentation en format numérique d'une photographie.	37
Figure 37: Illustration des différentes distorsions géométriques.....	40
Figure 38: Image géo référenciée à l'aide d'une carte avec coordonnées géographioques.	41
Figure 39: Calage à l'aide d'une image de référence.	41
Figure 40: Histogramme: Statistique nombre de pixels par compte numérique	43
Figure 41: Visualisation par étalement de l'histogramme.	43
Figure 42: Effet de l'étalement appliqué sur une composition colorée.	43
Figure 43: Illustration des différentes sortes de filtrage.....	44
Figure 44: Exemple de l'application d'un filtre sur une portion d'une image	45
Figure 45: Les trois couleurs primaires.	45
Figure 46: Illustration de la composition additive et soustractive des couleurs.....	45
Figure 47: Images fausses couleurs 432 d'une scène au Bénin.	46
Figure 48: Différentes combinaisons colorées impliquant le NDVI et IB.	46

Figure 49: Exemple de résultats d'une classification des images d'une scène à différentes dates..... 47
Figure 50: Carte d'occupation du sol établie pour une date (1986)..... 48
Figure 51: Carte d'occupation du sol pour une date ultérieure (2000) permettant d'apprécier les changements..... 48
Figure 52: Application : Combinaison par croisement des couches..... 49
Figure 53: Analyse statistique par croisement des informations des différentes couches. 49
Figure 54: Table attributaire dans une base de données SIG. 49

Descriptif du Cours

PROCESSUS	PARAMETRES	DESCRIPTION
Elaboration	Thème	Télédétection
	Objectif général	Apprendre aux étudiants les principes, les méthodes et les outils de télédétection indispensables à la gestion des ressources naturelles et de l'environnement
	Pré-requis	Il n'y a pas de pré requis pour ce cours. Tout étudiant dûment orienté à la Faculté d'Agronomie et de Bio Ingénierie peut le suivre
	Objectifs spécifiques	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Amener les étudiants à savoir manipuler et utiliser les données de télédétection pour l'analyse géospatiale, la gestion des ressources naturelles et de l'environnement ; ➤ Fournir aux étudiants les éléments nécessaires au choix des données et des outils de télédétection à utiliser pour l'analyse et la gestion d'un phénomène géospatial pratique
	Conditions générales	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cours Magistral : Notes de cours, Projection Power Point ➤ Travaux Pratiques : Exercices, lectures et Exposés, Traitement et analyse d'images ➤ Equilibre entre : Mémorisation, Compréhension et Pratique
	Bref contenu du cours	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Définitions, historique et domaines d'applications de la télédétection ➤ Principes de la télédétection : éléments de physique du rayonnement ➤ Capteurs de télédétection : fonctionnement et performances ➤ Satellites et orbites ➤ Initiation aux méthodes de traitement numérique des données de télédétection ➤ Travaux pratiques : Traitement d'images satellitaires d'observation de la Terre à haute résolution spatiale (Landsat TM/ETM+, SPOT-HRV) et à haute résolution temporelle pour le suivi et la gestion des ressources naturelles (SPOT-VGT)

PROCESSUS	PARAMETRES	DESCRIPTION
	Références bibliographiques	<p>1. BONN, F. et ROCHON, G. (1992). <i>Précis de Télédétection, volume 1 : Principes et méthodes</i>, Presses de l'Université du Québec, 511 pages.</p> <p>2. BONN, F et ROCHON, G. (1996). <i>Précis de Télédétection, volume 2 : Applications thématiques</i>, Presses de l'Université du Québec, 648 pages.</p> <p>3. CALOZ, R et COLLET, C. (2001). <i>Précis de Télédétection, volume 3 : Traitements numériques d'images de télédétection</i>, Presses de l'Université du Québec, 398 pages.</p> <p>4. Centre Canadien de Recherche Scientifique (non daté). <i>Notions fondamentales de télédétection: Tutoriel du Centre Canadien de Télédétection</i>, Ressources Naturelles Canada, 266 pages.</p> <p>5. DESJARDINS, R. et al. (2000). <i>La télédétection : perspective analytique</i>, Edition ESTEM.</p> <p>6. GIRARD, C.M (1999). <i>Traitement des données de télédétection</i>. Dunod, Paris, ISBN</p> <p>7. ROBIN M. (2002). <i>Télédétection, des satellites aux SIG. Une analyse complète du processus de création d'un type essentiel d'information géographique</i>, Nathan Université, 317 pages</p>
	Informations	Notes de cours et rapport des travaux
	Activités	Travaux et exercices pratiques en groupe
Intervention	Déroulement	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cours Magistral : Notes de cours, Projection Power Point ➤ Travaux Pratiques : Exercices, lectures et Exposés, Traitement et analyse d'images ➤ Equilibre entre : Mémorisation, Compréhension et Pratique
	Productions	Rapports des travaux
	Motivation	Le cours donne des concepts utiles pour la compréhension d'autres domaines comme le SIG
	Interactions	Echanges lors des exercices
Approbation	Evaluation	Examen écrit (60%), Evaluation en cours d'années (40%).

I. INTRODUCTION

Dans cette partie introductive, nous donnons la définition de la télédétection et nous montrons les éléments (composantes) du processus de la télédétection.

La télédétection est la technique (Science, art) d'obtenir des informations sur un objet, une surface ou un phénomène par l'analyse des données obtenues sans contact apparent avec l'objet observé. Elle englobe tout processus qui consiste à capter l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information pour ensuite la mettre en application

La télédétection comporte donc deux étapes (processus) principales à savoir l'acquisition des données et l'analyse.

L'acquisition comporte les éléments suivants :

- Une source d'énergie (A) qui illumine la cible
- La propagation de l'énergie à travers l'atmosphère (B) : Deux trajets (Source-> Cible, Cible -> Capteur) au cours desquels l'énergie réagit avec l'atmosphère
- Interaction entre l'énergie et la Cible (C). La nature de l'interaction dépend du rayonnement et des propriétés de la cible
- Enregistrement de l'énergie par des capteurs(D) (spatiaux, aéroportés,)
- Transmission et réception de l'énergie enregistrée par les capteurs à des stations de réception et traitement ou transformation de l'information en images (numériques ou photographiques)(E)

L'analyse consiste à examiner les données à l'aide des moyens de visualisation et d'interprétation de ces données numériques ou imagées.

- Le processus d'interprétation et analyse (F) permet d'extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible. Ce processus est assisté par des données de référence également appelées données ancillaires sous forme de carte de sol, de statistiques ou d'autres données récoltées sur le terrain.
Les informations sont ensuite compilées en fichiers informatiques, en cartes thématiques, en tableaux pouvant être fusionnés avec d'autres informations pour constituer un système d'information géographique
- Le dernier processus est l'application (G) qui consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour comprendre la cible et résoudre un problème particulier.

En résumé : Deux processus pour la télédétection :

1° Acquisition (illumination de la cible (A), Propagation et réaction avec l'atmosphère(B), interaction avec la cible(C), captage de l'énergie et enregistrement de l'information (D), transmission, production des données numériques ou photographiques (E))

2° Analyse (Interprétation et analyse, production d'un SIG (F), Application (G))

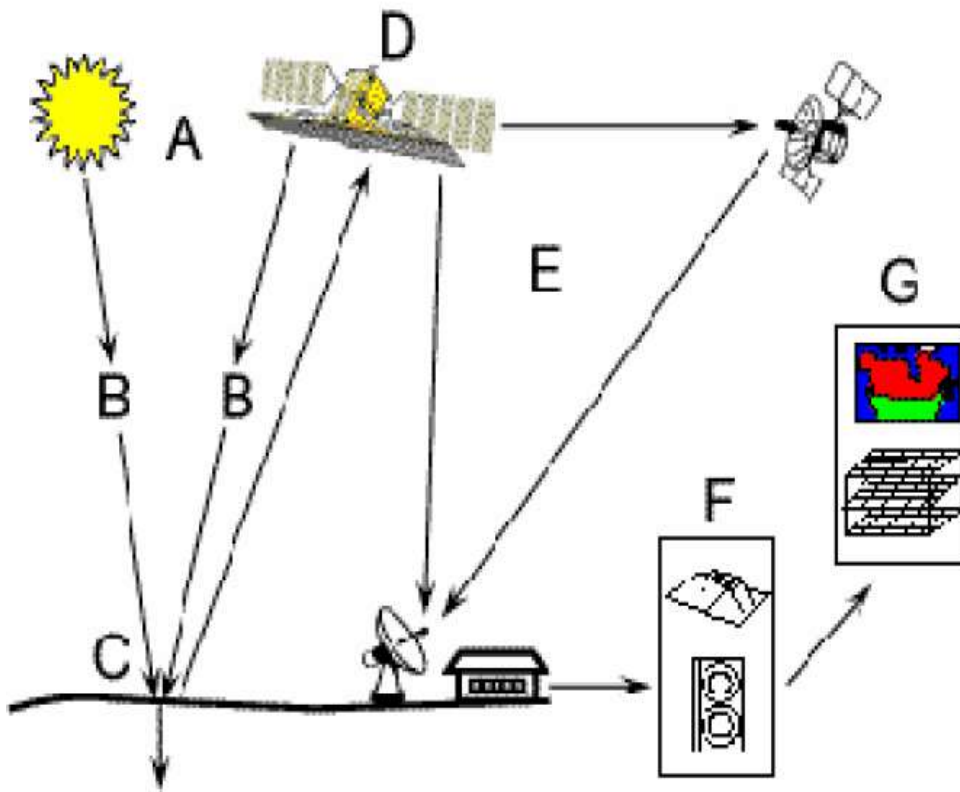


Figure 1: Illustration des différentes étapes du processus de Télédétection

II. SOURCE D'ÉNERGIE ET RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE

2.1. Notions Théoriques

A l'origine du processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible à moins que cette dernière produise de l'énergie. Le soleil est la source d'énergie ou de rayonnement la plus évidente en télédétection. Cependant, tout corps ou matière dont la température est supérieure au zéro absolu (-273°C) émet continuellement de l'énergie. Cette énergie émise est sous forme électromagnétique. Le rayonnement électromagnétique est composé d'un champ électrique (E) et d'un champ magnétique (M) perpendiculaires entre eux et perpendiculaires au sens de propagation (C).

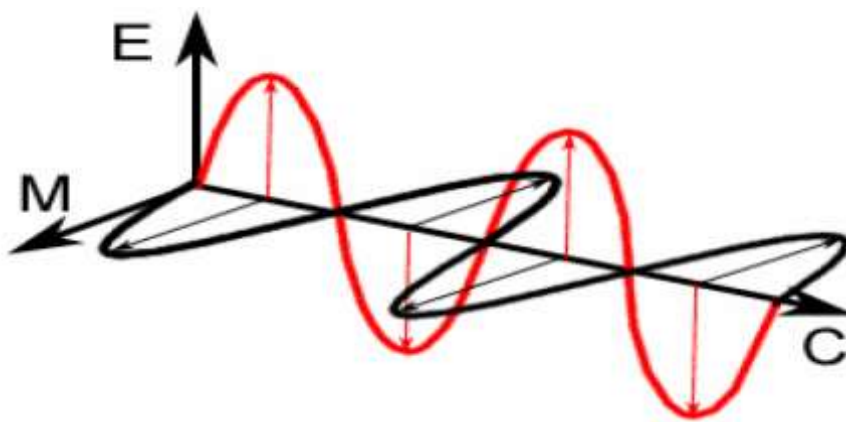


Figure 2: Illustration du déplacement du rayonnement électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique se déplace à la vitesse de la lumière (C) ou célérité et est caractérisé par deux grandeurs inversement proportionnelles : la fréquence (ν) et la longueur d'ondes (λ).

$$C = \nu \cdot \lambda \quad (1)$$

La longueur d'onde correspond à la distance entre deux crêtes d'une onde (= un cycle de l'onde) et est mesurée en mètres (m) ou unités dérivées (sous-multiples). En télédétection, l'unité la plus utilisée est le micro mètre (μm) ou 1×10^{-6} m

La fréquence mesure le nombre d'oscillations par unité de temps (seconde) et est exprimée en Hertz (Hz) ou ses multiples

La célérité est une constante qui équivaut à $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

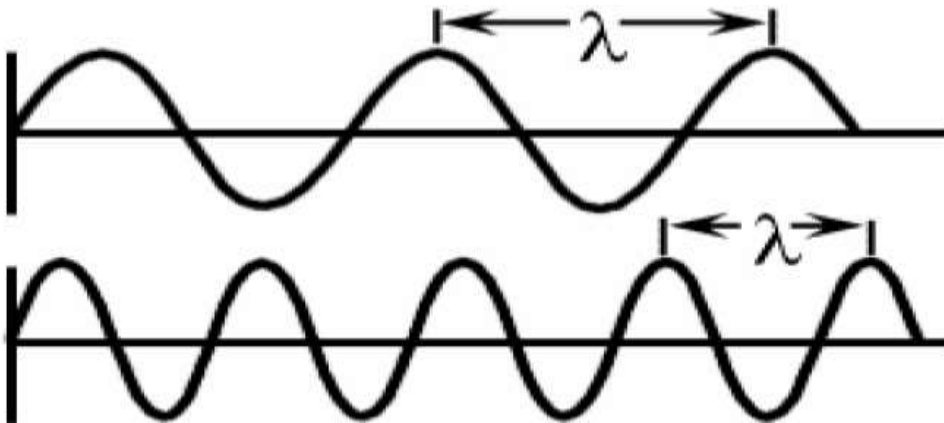


Figure 3: Illustration de la nature de la longueur d'onde et fréquence du rayonnement électromagnétique

Les différentes longueurs d'ondes définissent le spectre électromagnétique qui s'étend des courtes longueurs d'ondes (dont font partie les rayons gamma et les rayons X) aux grandes longueurs d'ondes (micro-ondes et ondes radio)

Le visible représente une très petite partie du spectre parce que la sensibilité spectrale de l'œil humain ne s'étend que de $0,4 \mu\text{m}$ à environ $0,7 \mu\text{m}$. Si le Bleu est la portion du spectre qui va de $0,4 \mu\text{m}$ à $0,5 \mu\text{m}$, le vert de $0,5 \mu\text{m}$ à $0,6 \mu\text{m}$ et le rouge de $0,6 \mu\text{m}$ à $0,7 \mu\text{m}$, que les noms ultra violet, bleu, vert, rouge, infra rouge soient assignés à des portions du spectre, il n'existe en réalité aucune limite précise entre deux régions adjacentes du spectre.

La portion du visible est la seule associée à la notion de couleur.

L'infrarouge s'étend de $0,7 \mu\text{m}$ à $100 \mu\text{m}$ et se divise en Infrarouge réfléchi ($0,7 \mu\text{m}$ à $3 \mu\text{m}$) utilisé en télédétection de la même façon que le rayonnement visible et en Infrarouge émis ou thermique ($3 \mu\text{m}$ à $100 \mu\text{m}$) très différent du spectre visible. Le rayonnement est pour cette dernière portion émis sous forme de chaleur.

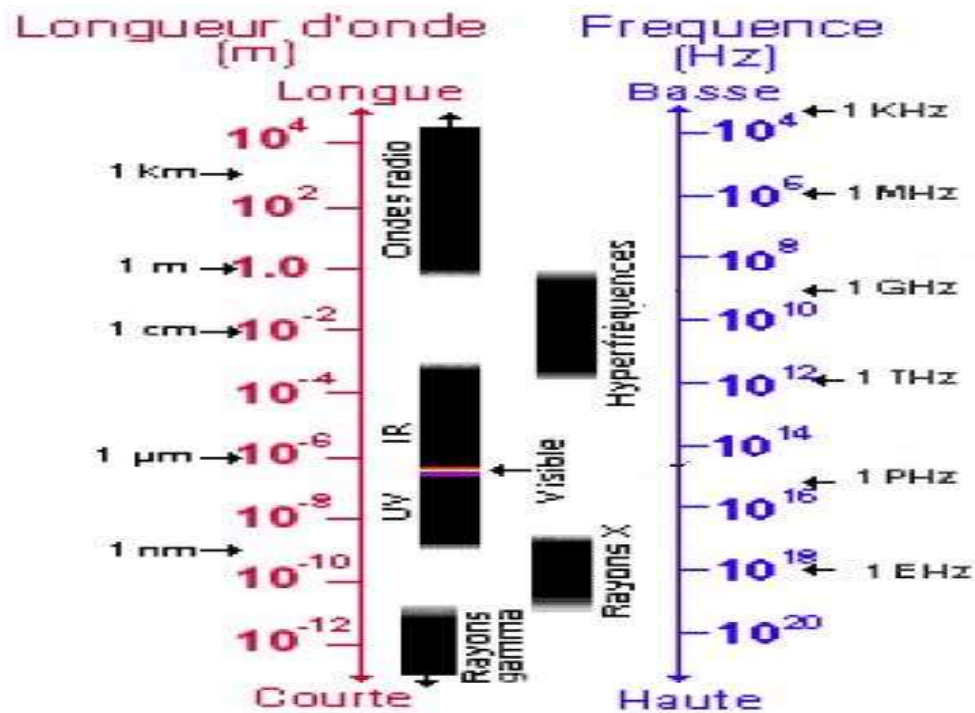


Figure 4: Spectre électromagnétique

Une partie du spectre constituée par les Ultraviolets, le visible, les Infrarouges (Proche, moyen et thermique) est appelée spectre optique ($0,3 \mu\text{m}$ - $14 \mu\text{m}$) parce que l'énergie de cette portion du spectre peut être réfléchiée et orientée à l'aide des lentilles et miroirs.

Le proche infrarouge correspond à la portion de $0,7 \mu\text{m}$ - $1,3 \mu\text{m}$
 Le Moyen Infrarouge correspond à la portion $1,3 \mu\text{m}$ - $3 \mu\text{m}$
 l'infrarouge thermique correspond à la portion $> 3 \mu\text{m}$

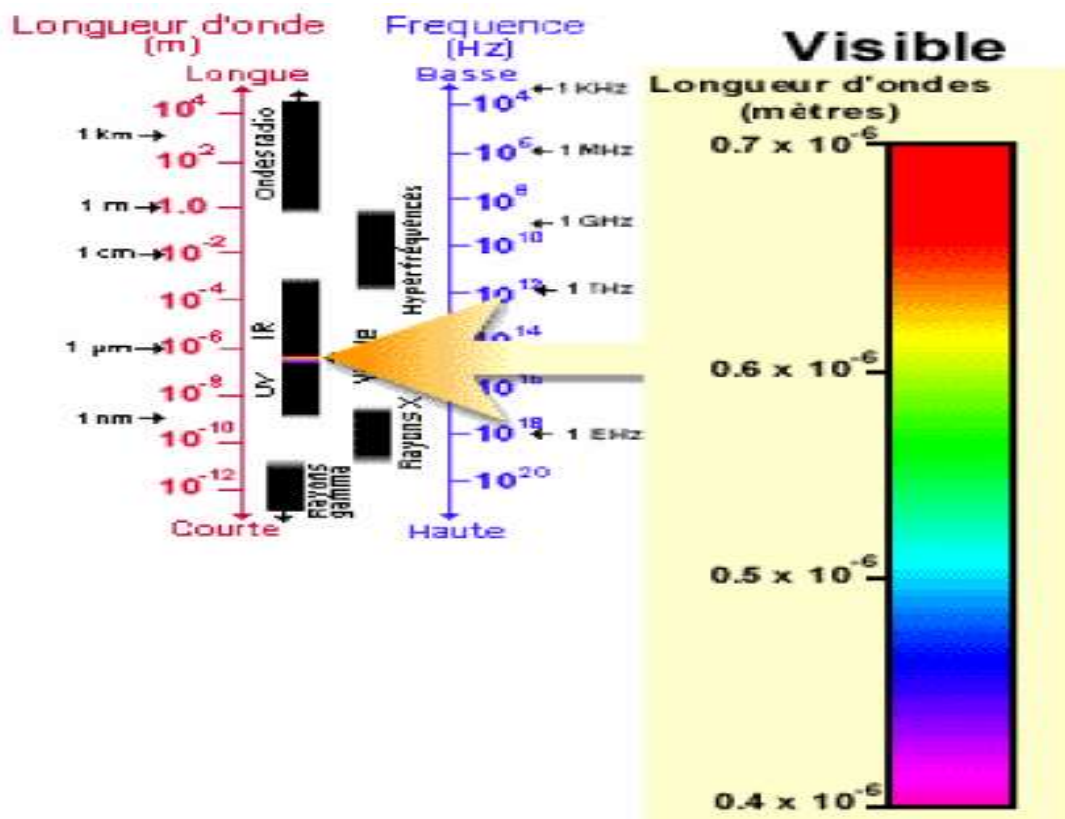


Figure 5: La position du visible dans le spectre électromagnétique

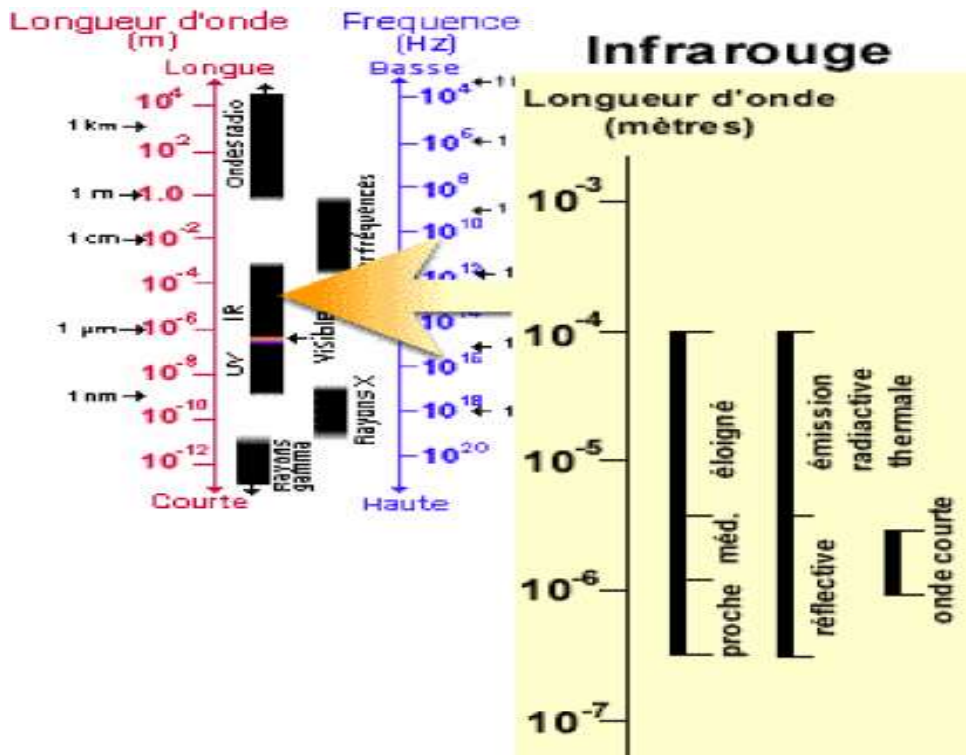


Figure 6: La portion de l'infrarouge dans le spectre électromagnétique

On peut caractériser le rayonnement non pas seulement par les théories ondulatoires, mais également par la théorie des particules qui suggère que l'énergie électromagnétique est composée de plusieurs unités appelées Photons ou quanta dont l'énergie est donnée par la relation

$$Q=h \cdot \nu \quad (2)$$

avec Q = énergie d'un quantum

$$h = \text{Constante de Planck} = 6,626 \times 10^{-24} \text{ Jsec}$$

On déduit de l'équation (1) et (2),

$$Q=hC / \lambda \quad (3)$$

Une relation qui suggère que l'énergie d'un quantum est inversement proportionnelle à sa longueur d'onde. Donc, plus la longueur d'onde est importante, moins le rayonnement contient de l'énergie.

L'implication en télédétection est que les grandes longueurs d'ondes naturellement émises par les objets sont plus difficiles à détecter que les petites.

Illustration de la relation quantité d'énergie et de la longueur d'ondes (au fur et à mesure que l'objet se chauffe, il commence à briller et change de couleur. Comment ?)

2.2. Eléments de réflexion

a) Par définition, est-ce que la télédétection peut utiliser autre chose que l'énergie électromagnétique ?

Exemple communication téléphonique

b) Quelle est d'après vous la source d'énergie électromagnétique la plus abondante à laquelle nous ayons accès ?

Le soleil

c) Trois de nos cinq sens (la vue, le toucher, l'ouïe, le goût, l'odorat et le toucher) peuvent être considérés comme une forme de télédétection. Lesquels et pourquoi ?

Puisque la source d'information est à distance, pas de contact apparent. Vue, Ouïe, Odorat

d) Si la vitesse de la lumière est de 3×10^8 m/s, calculez la longueur d'onde d'un rayonnement qui possède une fréquence de 500 000 Ghz (Ghz = gigahertz = 10^9 Hz). Exprimez votre réponse en micromètre (μm). Donnez la quantité d'énergie correspondante à ce rayonnement

III. INTERACTION DU RAYONNEMENT AVEC L'ATMOSPHERE ET AVEC LA CIBLE.

1. Interaction du rayonnement avec l'atmosphère

Le rayonnement électromagnétique traverse une certaine épaisseur de l'atmosphère deux fois au cours de son voyage de la source à la cible d'abord, de la cible au capteur ensuite. Les particules et les gaz de l'atmosphère peuvent bloquer ou dévier le rayonnement. On a deux mécanismes d'interactions d'un rayonnement avec l'atmosphère : l'absorption et la diffusion (dispersion). Les rayonnements réfléchis par la cible sont transmis au capteur. C'est le mécanisme de transmission.

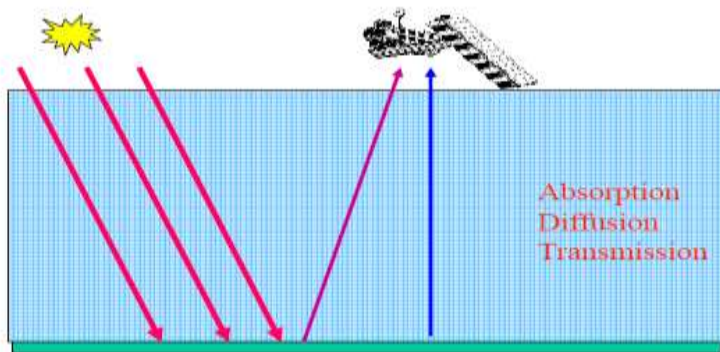


Figure 7: Principaux mécanismes d'interaction entre un rayonnement électromagnétique et l'atmosphère

On parle de diffusion (dispersion) quand des particules ou des grosses molécules de gaz en suspension dans l'atmosphère dévient un rayonnement incident de sa trajectoire initiale.

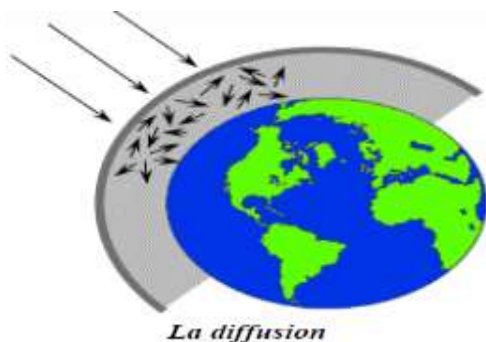


Figure 8: Mécanisme de diffusion d'un rayonnement

Il existe trois types de diffusion : la diffusion de Rayleigh, la diffusion de Mie et la diffusion non-sélective.

- La diffusion de Rayleigh se produit lorsque la taille (diamètre) des particules est inférieure à la longueur d'onde du rayonnement. L'effet Rayleigh est inversement proportionnel à la longueur d'onde à la puissance 4 (λ^4) et par conséquent ce sont les petites longueurs d'onde

qui sont les plus vulnérables. (**Illustration : le ciel bleu quand le ciel est dégagé, sans cette dispersion le ciel paraîtrait noir. En dispersant plus les courtes longueurs d'ondes du rayonnement solaire, une très grande partie des ondes bleues est dispersée ce qui colore le ciel en bleu**)

??? Pourquoi la couleur orange et rouge au lever et coucher du soleil

Les rayons traversent une plus grande portion de l'atmosphère au coucher et au lever du soleil qu'à la mi-journée. Avec cette longue distance, toutes les longueurs d'ondes sont dispersées de façon qu'on ne voit plus que les longues ondes visibles orange et rouge à l'arrivée.

Le niveau de diffusion dépend en effet de plusieurs facteurs comme la longueur d'onde, la densité de particules ou de molécules et l'épaisseur de l'atmosphère que le rayonnement doit franchir.

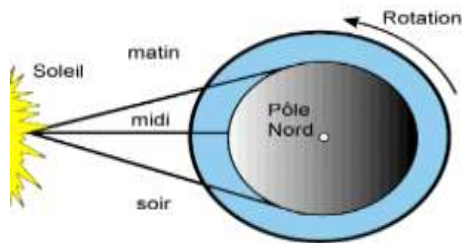


Figure 9: Effet de la distance sur la diffusion de Rayleigh

- La diffusion de Mie a lieu quand le diamètre des particules atmosphérique est presque égal à la longueur d'onde du rayonnement.
La vapeur d'eau, la poussière et le pollen sont les principaux agents de cette dispersion. Ce type de perturbation affecte les grandes longueurs d'ondes et se produit surtout dans les couches inférieures de l'atmosphère où les grosses particules sont abondantes. La diffusion de Mie est un processus qui domine sous un ciel légèrement couvert (ennuagé)
- La diffusion non-sélective se produit quand les particules (gouttes d'eau, grosses particules de poussière) sont beaucoup plus grosses que la longueur d'onde du rayonnement. On appelle ce genre de dispersion non-sélective car toutes les longueurs d'ondes sont dispersées de façon presque égale.
Les gouttelettes d'eau dont le diamètre varie entre 5 et 100 diffusent le bleu, le vert et le rouge de façon presque égale, raison pour laquelle le brouillard et les nuages apparaissent blancs

On parle d'absorption lorsque le rayonnement électromagnétique interagit avec l'atmosphère. Cela correspond à une perte de l'énergie au profit des éléments atmosphériques. Les éléments qui absorbent le plus d'énergie solaire sont : la vapeur d'eau, le CO₂ et l'Ozone (O₃).

L'Ozone absorbe les rayons ultra-violetes néfastes aux êtres vivants. Sans cette couche d'Ozone,

notre peau brûlerait si elle est exposée au Soleil.

Le bioxyde de carbone (CO_2) absorbe beaucoup de rayonnement dans la portion infrarouge thermique du spectre et emprisonne la chaleur dans l'atmosphère, ce qui contribue à l'effet de serre.

La vapeur d'eau dans l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement infrarouge de grandes longueurs d'ondes.

Les gaz et les particules absorbent l'énergie électromagnétique dans des régions spécifiques du spectre.

Les régions du spectre qui ne sont pas affectées par le phénomène d'absorption sont des bandes spectrales importantes en télédétection appelées Fenêtres Atmosphériques.

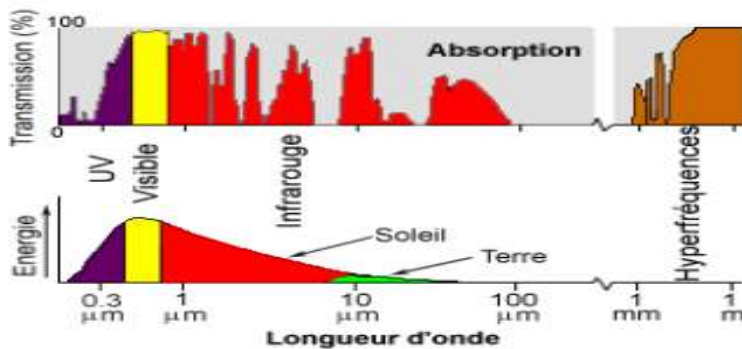


Figure 10: Longueurs d'onde efficaces pour la télédétection

La portion visible du spectre correspond à une fenêtre atmosphérique et au niveau maximal d'énergie solaire.

L'énergie thermique émise par la terre correspond à une fenêtre située à près de 10 dans la partie de l'infrarouge thermique du spectre

Dans la partie des hyperfréquences, il existe une grande fenêtre qui correspond aux longueurs d'onde de plus de 1mm.

2. Interactions du rayonnement avec la cible

Un rayonnement électromagnétique qui n'est pas absorbé ou qui n'a pas diffusé dans l'atmosphère arrive au contact de la cible et interagit avec sa surface. La surface peut Absorber le rayonnement électromagnétique (A), réfléchir (R) le rayonnement incident ou le transmettre (T)



Figure 11: Trois sortes d'interaction entre un rayonnement électromagnétique et une cible

L'absorption (A) se produit lorsque l'énergie du rayonnement est absorbée par la cible, la transmission (T) quand l'énergie du rayonnement passe à travers la cible et la réflexion se passe lorsque la cible redirige l'énergie du rayonnement.

En vertu de la loi de la conservation de l'énergie, on a :

$$E_i(\lambda) = E_r(\lambda) + E_a(\lambda) + E_t(\lambda) : \text{Equation de bilan énergétique} \quad (4)$$

$E_i(\lambda)$ = Energie incidente

$E_a(\lambda)$ = Energie absorbée

$E_t(\lambda)$ = Energie transmise

Pour chaque objet naturel, la quantité d'énergie absorbée, transmise ou réfléchi varie selon le type de matière qui le compose et la nature de celui-ci (état).

Pour le même objet naturel, la quantité d'énergie absorbée, réfléchi ou transmise varie selon la longueur d'onde dont il est question. De cette façon, deux objets ne pouvant pas être observés dans une bande spectrale peuvent l'être parfaitement dans l'autre. En télédétection, on mesure le rayonnement réfléchi par une cible. Les propriétés réfléchies sont donc très importantes en télédétection.

Suivant la surface qui reçoit l'énergie incidente, on a deux modes limites de réflexion de l'énergie.

Une surface lisse produit **une réflexion spéculaire**, c'est-à-dire que toute l'énergie est redirigée dans la même direction (Cas du miroir)

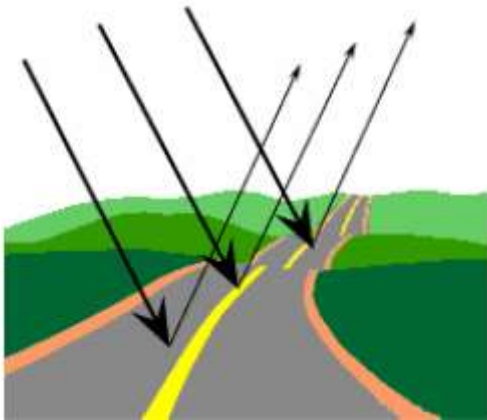


Figure 12: Illustration de la réflexion spéculaire

Une surface rugueuse produit **une réflexion diffuse**, c'est-à-dire que l'énergie est redirigée dans toutes les directions.

La plupart des surfaces terrestres se situent entre ces deux extrêmes et la façon dont une cible réfléchit un rayonnement dépend de l'amplitude de la rugosité de la surface par rapport au rayonnement incident. Si la longueur d'onde du rayonnement est beaucoup plus petite que la rugosité de la surface (ou que la grosseur des particules qui composent cette surface), cette réflexion diffuse domine.



Figure 13: Illustration de la réflexion diffuse

En mesurant l'énergie réfléchie ou émise par une cible avec une variété de longueurs d'onde, on obtient une courbe de réflectance spectrale dite signature spectrale d'un objet.

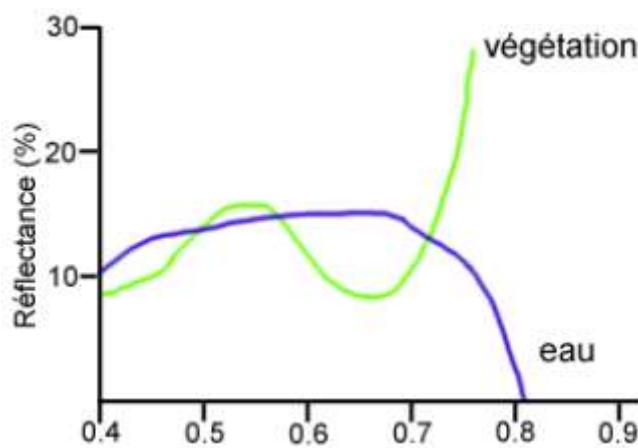


Figure 14: Signature spectrale de la végétation et de l'eau dans le visible et infra-rouge

Cette courbe se traduit mathématiquement par le rapport de l'énergie réfléchie sur l'énergie incidente à la cible.

De l'équation du bilan énergétique (voir 4), on a :

$$\frac{E_r(\lambda)}{E_i(\lambda)} + \frac{E_a(\lambda)}{E_i(\lambda)} + \frac{E_t(\lambda)}{E_i(\lambda)} = 1 \Leftrightarrow 1 = \frac{E_r(\lambda)}{E_i(\lambda)} + \frac{E_a(\lambda)}{E_i(\lambda)} + \frac{E_t(\lambda)}{E_i(\lambda)}$$

$\frac{E_r(\lambda)}{E_i(\lambda)}$ = réflectance c'est-à-dire portion de l'énergie réfléchie sur l'énergie incidente à l'objet.

$\frac{E_a(\lambda)}{E_i(\lambda)}$ = absorbance c'est-à-dire portion de l'énergie absorbée sur l'énergie incidente à l'objet.

$\frac{E_t(\lambda)}{E_i(\lambda)}$ = Transmittance C'est-à-dire portion de l'énergie transmise sur l'énergie incidente à l'objet.

Dans la plupart des conditions en télédétection, on utilise des corps opaques, c'est-à-dire qui ne transmettent pas le rayonnement électromagnétique, ayant donc la transmittance égale à 0. Pour un corps noir, toute l'énergie est absorbée, la transmittance et la réflectance sont égales à 0

Pour un corps transparent, rien n'est réfléchi.

Dans les visibles, les variations spectrales résultent des effets visuels appelés couleur. L'œil utilise les variations spectrales pour pouvoir distinguer les différents objets. Un objet nous paraît bleu parce qu'il reflète fortement le rayonnement bleu, un objet reflétant le vert nous paraîtra vert.

➤ La végétation

Nous voyons la végétation saine en vert parce que les feuilles absorbent fortement le rouge et le bleu et reflètent le vert. Si les plantes sont soumises à un stress qui perturbe leur croissance normale, ceci baisse la production de la chlorophylle et une baisse de l'absorption du rouge et du bleu. La teinte jaune montre que la réflexion du rouge a été très importante en combinaison avec celle du vert.

Dans l'intervalle 0,7 μm à 1,3 μm , la réflectance des plantes est fonction de la structure interne des feuilles.

Au-delà de 1,3 μm , l'énergie incidente est essentiellement absorbée ou réfléchie avec très peu de transmittance. Une légère baisse de réflectance intervient à 1,4 μm ; 1,9 μm et 2,7 μm qui correspondent à une forte absorption de l'énergie par l'eau contenue dans ces tissus. On appelle ces longueurs d'ondes des bandes d'absorption de l'eau. Sur toute la portion du spectre au-delà de 1,3 μm , la réflectance est inversement proportionnelle à la quantité d'eau contenue dans les feuilles. Cette quantité est fonction de l'humidité et de l'épaisseur de la feuille.

- Signatures spectrales des couverts végétaux.

Les propriétés spectrales des couverts végétaux dépendent à la fois de la nature de la végétation qui les compose, de leur état physiologique, de leur teneur en eau, mais aussi du sol sous-jacent qui influera d'autant plus la mesure spectrale que la végétation sera clairsemée. L'utilisation de la télédétection pour estimer la biochimie du couvert végétal a pour principal avantage de modéliser les cycles des éléments nutritifs et les échanges gazeux afin de prédire les réponses écologiques à une modification de l'environnement.

Les constituants chimiques les plus intéressants en matière de diffusion et d'absorption sont la lignine, les protéines (Azote), l'amidon, la cellulose, les chlorophylles et autres pigments accessoires.

- La concentration en Chlorophylles ou en Azote est un élément limitant de l'activité photosynthétique et de la productivité primaire.
- La cellulose et la lignine reflètent la biomasse non photosynthétique.

La réflectance d'un couvert végétal ne dépend pas seulement des propriétés de diffusion et d'absorption des éléments de végétation mais aussi de l'architecture (agencement des feuilles sur la plante et des plantes dans un couvert végétal) qui est décrite par la distribution spatiale des surfaces végétales ou minérales, l'indice foliaire (LAI : Leaf Area Index) et la distribution des angles foliaires (LAD).

- La distribution spatiale de la végétation sur le sol dépend de la disposition des plantes (écartement et orientation des rangs) et de leur stade de développement sachant qu'au fur et à mesure que la végétation s'étend, les effets du sol s'estompent.

Le LAI (surface des feuilles par unité de sol) varie de 0 pour un sol nu à une valeur maximale pouvant dépasser 15 pour une forêt. La réflectance du couvert végétal est donc celle du sol si LAI=0 et tend vers une limite appelée « réflectance infinie » lorsque le LAI dépasse un certain seuil qui dépend du domaine spectral dans lequel on se place : pour le rouge, la réflectance sature pour un LAI de l'ordre de 2-3 alors qu'il faut atteindre des LAI de l'ordre de 6-8 dans le proche infra-rouge.

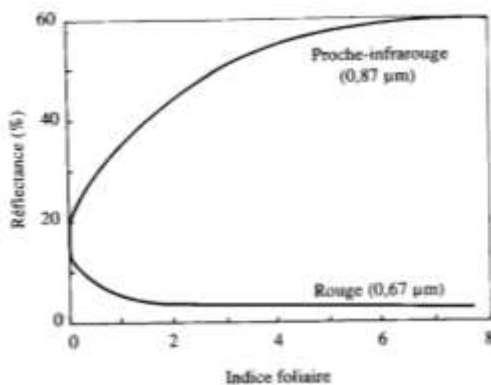


Figure 15: Variation de la réflectance d'un couvert végétal en fonction du LAI (d'après Guyot, 1991)

Les propriétés optiques des feuilles

Les feuilles représentent les principales surfaces d'un couvert végétal. Les organes comme les pétioles, les tiges, les fleurs, les fruits..... sont rarement pris en compte même si durant une période donnée ils peuvent affecter la réflectance du couvert.

Les propriétés optiques des feuilles sont reliées à leurs caractéristiques biochimiques (teneur en pigments, structure cellulaire, teneur en eau, état physiologique, etc.). On distingue trois types d'éléments qui interviennent dans les propriétés optiques des feuilles et qui correspondent aux grands domaines spectraux du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen.

- la teneur en pigments
- l'anatomie des feuilles, leur structure cellulaire
- la teneur en eau

Ces trois éléments varient au cours du temps et entraînent par conséquent des changements dans la structure et les caractéristiques des couverts végétaux. Plutôt que de parler de signature spectrale, on va parler de comportement spectral de la végétation

◆ Les pigments foliaires

Tous les végétaux renferment des pigments : chlorophylles (pigments verts), carotènes (pigment orangés) et anthocyanes (pigments bleus rouges), les pigments chlorophylliens étant de loin les plus abondants. La chlorophylle possède deux bandes d'absorption dans le bleu (450 nm) et dans le rouge (660 nm). La présence des pigments foliaires dans les végétaux est donc responsable de la forte absorption du rayonnement visible, avec un maximum relatif de réflectance autour du vert (550 nm).

◆ La structure cellulaire des feuilles

La structure anatomique des feuilles joue un rôle très important dans la signature spectrale de la végétation. Si les pigments chlorophylliens absorbent la majeure partie du rayonnement visible qui leur parvient, ils sont en revanche totalement transparents au rayonnement de plus grande longueur d'onde. Le proche infrarouge traverse donc la feuille jusqu'à une couche cellulaire formée de cellules irrégulières et d'espaces intercellulaires dans lesquels sont stockés les gaz échangés entre la feuille et l'atmosphère, le parenchyme lacuneux ou mésophylle. C'est au niveau de cette couche, lieu d'échange entre l'oxygène et le dioxyde de carbone dans les processus de la photosynthèse et de la respiration, que le rayonnement proche infrarouge est fortement réfléchi (figure ci-dessous). Il est d'autant mieux réfléchi que le parenchyme lacuneux est bien développé.

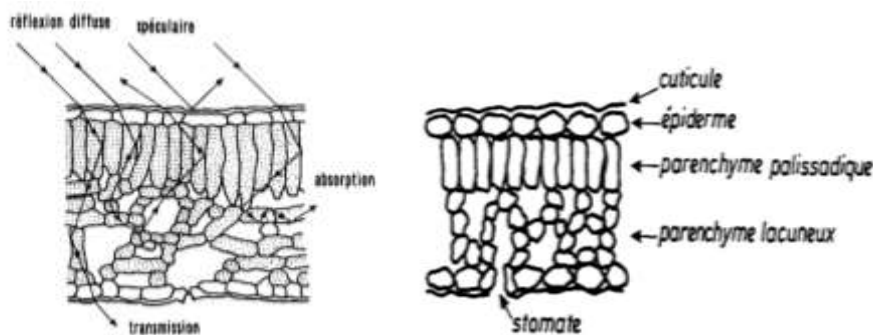


Figure 16: Schéma décrivant le trajet optique de la lumière à travers la structure d'une feuille de dicotylédone

Les longueurs d'onde bleue et rouge sont absorbées par la chlorophylle. Les vertes sont très faiblement réfléchies par la feuille. Le rayonnement PIR, lui, est fortement réfléchi par le parenchyme lacuneux.

➤ Le sol

La réflectance des sols est influencée par le taux d'humidité, la rugosité de la surface, la présence des oxydes de fer, la matière organique, etc.

La présence de l'humidité dans le sol diminue sa réflectance. Cet effet est marqué dans les bandes d'absorption d'eau. Pour les sols argileux, c'est également au niveau des longueurs d'ondes 1,4 μm et 2,2 μm dites des bandes d'absorption à hydroxyle que l'effet de l'humidité se fait remarquer.

(Expliquer l'effet de la texture sur la réflectance des sols)

La rugosité de la surface et la matière organique réduisent la réflectance des sols.

➤ L'eau

L'eau absorbe les Infrarouges (IR) que ce soit l'eau des plantes, des sols, des rivières et des lacs. C'est pour cette raison que la ligne de démarcation entre l'eau et la terre se fait dans cette bande IR. Cependant l'état de l'eau et son contenu sont mieux identifiés dans les visibles. La réflectance de l'eau n'est pas une propriété spécifique à celle-ci. Elle est fonction de l'eau mais également des matières qu'elle contient.

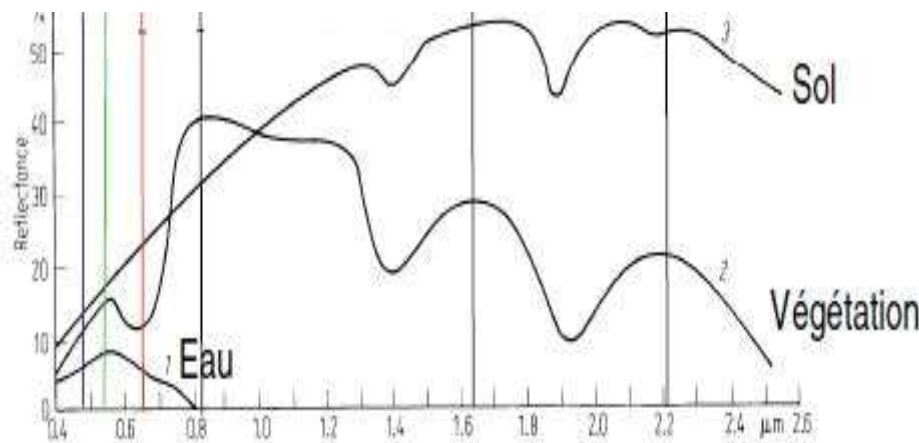


Figure 17: Graphique (courbes) de réflectance de l'eau (1), de la végétation (2) et du sol (3)

NB ! Les effets spatio-temporels ont des effets sur les réponses spectrales des objets.

Les caractéristiques spectrales de plusieurs espèces végétales changent tout au long de la croissance.

Certains objets semblables peuvent montrer différentes caractéristiques spectrales selon la station géographique où ils se trouvent surtout pour des objets séparés de plusieurs km.

3. Eléments de réflexion

a) Pourquoi la plupart des systèmes de télédétection ne captent pas et n'enregistrent pas les longueurs d'onde des parties ultraviolette et bleue du spectre?

A cause de l'absorption et de la diffusion dans l'atmosphère :

Dans les couches supérieures de l'atmosphère, l'ozone absorbe la plus grande partie du rayonnement ultraviolet.

La diffusion de Rayleigh disperse les petites longueurs d'onde visibles (bleu) de façon beaucoup plus importante que les grandes longueurs d'onde. Seule une très petite partie de cette énergie peut donc atteindre la surface de la Terre et interagir avec elle.

La lumière bleue est dispersée 4 fois plus que la lumière rouge, tandis que l'ultraviolet est dispersé 16 fois plus.

b) *Identifiez les meilleures conditions atmosphériques pour la télédétection utilisant la partie visible du spectre.*

Les meilleures conditions pour la télédétection utilisant les longueurs d'onde visibles seraient lors d'une journée ensoleillée, sans nuage, sans pollution, et près de l'heure de midi.

c) *Expliquez les couleurs de l'arc-en-ciel*

Chaque gouttelette d'eau agit comme un petit prisme.

Quand la lumière du Soleil traverse les gouttelettes, les ondes composantes sont déviées différemment selon leurs longueurs respectives. Les couleurs individuelles de la lumière du Soleil sont alors visibles, ce qui produit un arc-en-ciel

IV. ENREGISTREMENT DE L'ÉNERGIE PAR UN CAPTEUR.

1. Plates-formes et capteurs

L'enregistrement de l'énergie réfléchi ou émise par une surface ou une cible donnée se fait grâce à un capteur installé sur une plate forme distante de la cible observée.

- on a deux types de capteurs suivant la source de l'énergie qui illumine la cible :

Les capteurs passifs (on parle de détection passive) enregistrent l'énergie disponible naturellement c.à.d. l'énergie solaire réfléchi le jour et l'énergie dégagée naturellement (infrarouge thermique) pouvant être perçue de jour comme de nuit. Le soleil constitue la source d'énergie.

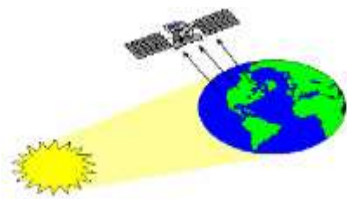


Figure 18: Illustration de fonctionnement d'un capteur passif

Les capteurs actifs produisent leur propre énergie pour illuminer la cible. Le rayonnement réfléchi par la cible est donc perçue et mesuré par le capteur. Les capteurs actifs ont l'avantage de prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison.

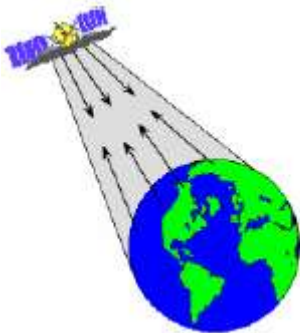


Figure 19: Illustration de fonctionnement d'un capteur actif.

- Les plates-formes peuvent être situées près de la surface terrestre ou à l'extérieur de l'atmosphère terrestre. On a alors 3 échelles pour l'information télédétechiée. Les capteurs au sol sont souvent utilisés pour enregistrer les informations détaillées sur la surface : il s'agit de **l'échelle fine**



Figure 20: un capteur au sol placé sur une grue.

Les capteurs placés sur ailes fixes des avions (capteurs sur plates-formes aéroportées) permettent de cueillir des données sur la surface de la terre exactement à l'endroit et au moment voulus. Il s'agit des informations à **échelle intermédiaire**.



Figure 21: Un capteur dans l'espace placé sur les ailes d'un avion.

Très loin dans l'espace, la cueillette des informations est effectuée à l'aide des navettes spatiales ou des satellites. Les satellites sont des objets qui sont en orbites autour d'un autre objet. La lune est un satellite naturel de la terre. Les satellites artificiels de la terre sont des plateformes placées en orbite autour de la terre qui permettent une couverture répétitive et continue de la surface de la terre.



Figure 22: une navette spatiale



Figure 23: Des satellites autour de la terre

Les informations obtenues sont à **large échelle**

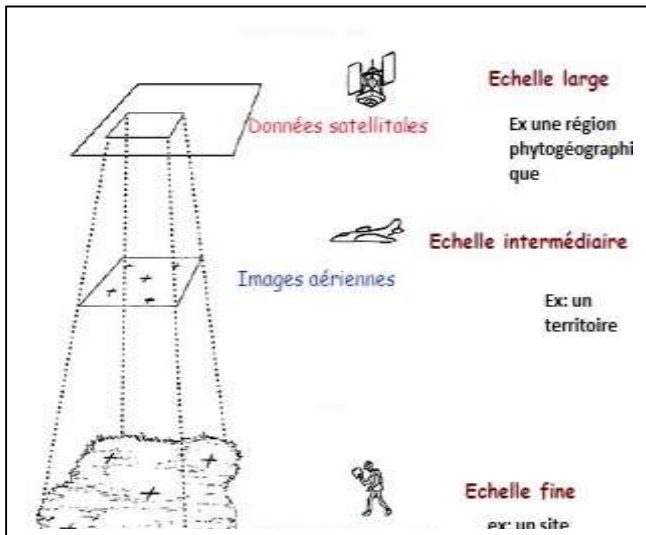


Figure 24: Différentes plateformes et échelles d'acquisition des données.

Les appareils photographiques et les photographies aériennes constituent le système de télédétection le plus simple et le plus ancien utilisé pour observer la surface de la terre mais les satellites constituent de nos jours les plateformes les plus utilisées pour l'acquisition des données de télédétection.

a. Caractéristiques d'un satellite.

Un satellite est caractérisé par sa trajectoire autour de la terre appelée « orbite » et par la surface de la terre observée par un capteur appelée « couloir-couvert ou fauchée »

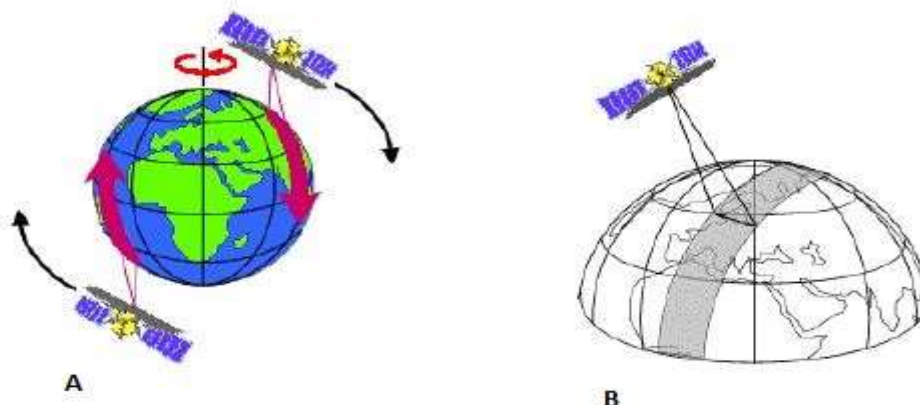


Figure 25: Illustration des satellites en orbites descendantes et ascendantes (A) et de la fauchée (B).

Certains satellites regardent toujours la même région de la surface de la terre. Ils sont placés à des altitudes élevées (36 000 km) et sont qualifiés de « géostationnaires ». Ils se déplacent en effet à une vitesse proche de celle de la terre et donnent l'impression qu'ils sont stationnaires.

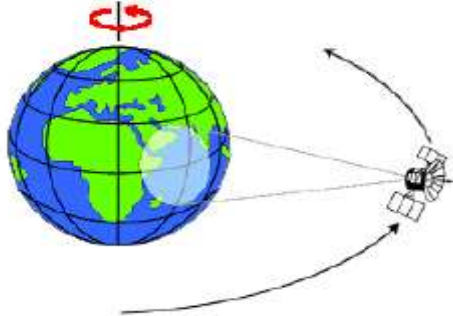


Figure 26: Satellite géostationnaire, altitude de 36000km

Les satellites de communication et d'observation des conditions météorologiques sont de cette catégorie. La haute altitude permet par exemple aux satellites météorologiques d'observer les nuages et les conditions qui règnent un hémisphère complet de la terre.

Donc les satellites géostationnaires:

- tournent à la même vitesse que la Terre tourne sur elle-même.
- semblent immobiles depuis la Terre et ont donc une orbite géostationnaire
- sont à 36000 km de la Terre.

D'autres satellites suivent une orbite allant du Nord au Sud et vice versa. Ils sont qualifiés de « satellites à orbite quasi-polaire ». Ils sont appelés « héliosynchrones » s'ils observent la même région du globe à la même heure locale solaire. L'orbite ascendante est donc du côté ombragé de la terre tandis que l'orbite descendante est du côté éclairé par le soleil

Pour les satellites à orbites quasi-polaires, le satellite se déplace du nord au sud mais comme la terre est en mouvement de rotation de l'Ouest vers l'Est, la trajectoire semble orientée vers l'Ouest. Ce mouvement de rotation de la terre permet au satellite d'observer une nouvelle région pour deux passages successifs.

La couverture de toute la surface de la terre correspond à un cycle orbital complet. Le cycle orbital complet ou cycle de passage du satellite se définit comme la période de temps nécessaire pour qu'un satellite revienne au dessus d'un point « **nadir** » pris au hasard, ce dernier étant un point directement en dessous de la trajectoire du satellite.

Exemple : Période de révolution de Landsat 7 est de 98 min 52 sec, chaque jour 14,52 révolutions, coïncidence entre deux traces : 16 jours.

(la durée du cycle orbital ne doit pas être confondue avec la période de revisite)

Donc les satellites quasi-polaires:

- font le tour de la Terre généralement en 1h-1h30.
- sont en orbite basse (entre 600km et 800km d'altitude).
- sont généralement plus petits et ont besoin de moins de puissance par rapport à un satellite géostationnaire.

Les satellites à orbite polaire survolent les pôles à chaque révolution et les héliosynchrones survolent à chaque révolution un même point.

b. Historique

Les premiers satellites militaires apparaissent avec la série Corona (satellite américain permettant d'espionner les russes) :

En 1959 , Discovery-1: le premier satellite militaire américain.

En 1960, est envoyé TIROS-1, le satellite inaugurant les premiers satellites d'observation météorologique.

Les satellites vont ensuite apparaître les uns après les autres: Landsat-1 (observation de la Terre), GEOS-3 (satellite radar depuis l'espace)...

C'est en 1960, que le premier satellite créé pour le commerce voit le jour, c'est un satellite de télécommunication nommé Echo. S'en suivra de nombreux autres satellites destinés au commerce.

c. Structure et composition

Les satellites artificiels sont en général composés de 2 parties :

-La charge utile: La partie du satellite qui lui permet de remplir la mission pour laquelle il a été conçu. A l'intérieur on y trouve des antennes (satellite de télécommunication), des radiomètres (satellite de télédétection), des télescopes (satellite d'astronomie)... Tout dépend du satellite dont il est question.

-La plateforme (+ panneaux solaires):C'est la partie du satellite qui fournit les ressources nécessaires (énergie), et qui permet de porter la charge utile.

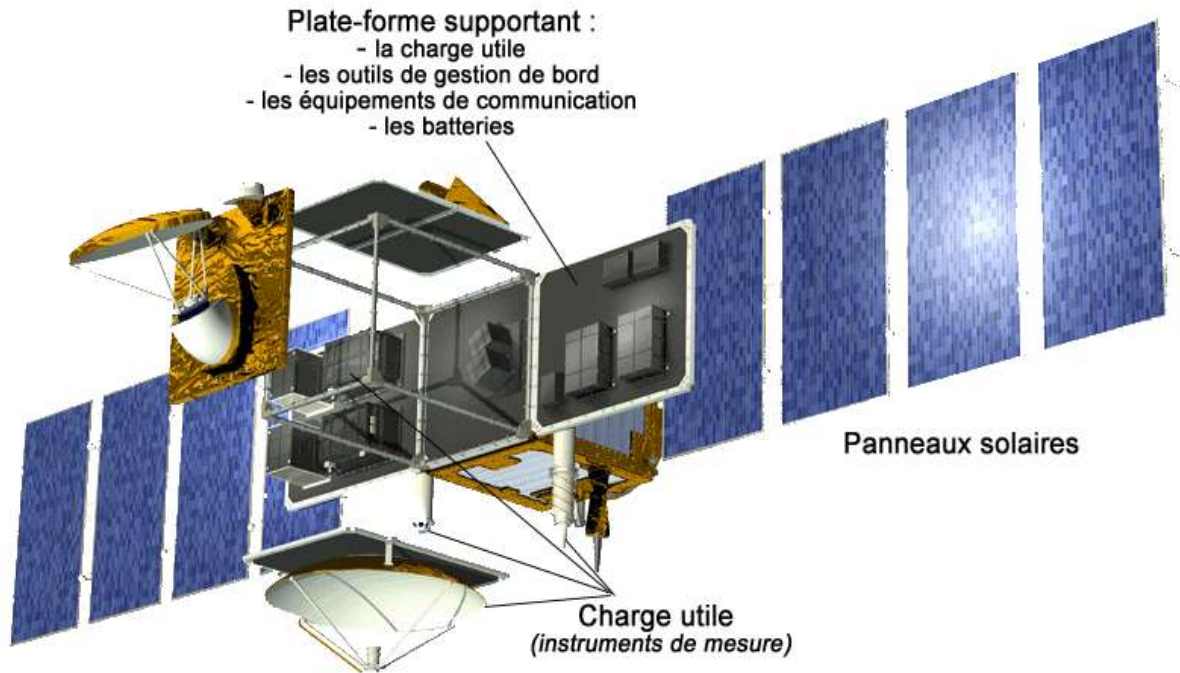


Figure 27: Illustration de la structure d'un satellite

d. Pose d'un satellite sur orbite

Pour mettre un satellite artificiel sur orbite dans l'espace, il faut utiliser un lanceur. Il en existe deux catégories: les fusées et les navettes.

Les fusées ne servent qu'une seule fois et ne sont pas récupérables (elles se désintègrent au fur et à mesure de l'ascension dans l'espace).

Les navettes, elles, sont à la fois lanceurs et vaisseau habilités. Leur plus grand avantage sont celles qui sont en grande partie réutilisables.

Pour atteindre l'espace, le lanceur propulse le satellite à une altitude d'au moins 200 km, hors de l'atmosphère terrestre.

Ensuite il lui communique une vitesse suffisante pour qu'il ne retombe pas sur Terre.

Les lanceurs expulsent d'importantes quantités de gaz appelé ERGOLS (mélange d'hydrogène et d'oxygène) pour atteindre cette altitude

Pour qu'un satellite ne retombe pas sur Terre, il faut qu'il soit à une certaine altitude et à une certaine vitesse: la vitesse de satellisation. La vitesse de satellisation est la vitesse initiale qu'il faut donner à un objet pour qu'il ne tombe pas au sol mais qu'il ne s'éloigne pas non plus de la terre

Si la vitesse initiale est trop petite, l'objet subissant l'accélération gravitationnelle dirigée vers

le centre de la terre, celui-ci tomberait.

Si la vitesse initiale est trop grande, l'objet échappera du voisinage de la Terre.

Ce n'est pas la masse du satellite mais celle de la Terre qui détermine pour l'altitude donnée la vitesse de satellisation. La masse du satellite déterminera uniquement l'énergie nécessaire pour atteindre cette vitesse.

Plus le satellite est éloigné, plus la vitesse de satellisation est faible.

e. L'avenir des satellites

L'avenir d'un satellite est déterminé par son altitude. Si son orbite est basse (moins de 1000 km), le satellite en panne peut être abandonné à lui-même, continuellement freiné par les molécules d'air tout le long de son parcours (même s'il y en a très peu) il perdra constamment de l'altitude et retombera au bout de quelques années sur Terre. Si son orbite est haute, ou même géostationnaire (36.000 km), le problème est réel car les épaves de satellites s'accumulent et finissent par représenter un danger pour la navigation spatiale.

Les satellites lancés aujourd'hui comportent un dispositif permettant de les hisser sur une orbite dite "de parking" au-delà de 40.000 km, où l'extrême raréfaction de l'air ne les freine plus et où on peut les oublier pour quelques millénaires... Mais il existe une autre solution: les freiner au moyen d'un moteur fusée ce qui a pour effet de les détruire en les précipitant dans l'atmosphère, généralement c'est cette solution qui est préférée

f. Missions des satellites

Outre la distinction entre ces deux types de satellites basée sur le type d'orbite emprunté, nous pouvons différencier les satellites par leur mission. En effet on remarque cinq types de missions différentes :

- **Les satellites scientifiques**, placés en orbite basse. Ce sont des satellites qui permettent soit une étude approfondie de la Terre (autrement dit la Télédétection) soit une étude plus précise de l'espace (Satellite télescope)
- **Les satellites météorologiques**, placés eux aussi en orbite plus ou moins basse. Ces satellites permettent de prévoir, en concentrant leurs mesures et études sur l'atmosphère, en direct le temps et les intempéries terrestres et d'étudier les climats et leur évolution.
- **Les satellites de télécommunication**, placés en orbite géostationnaire. Leur rôle est d'effectuer un relai entre un point et un autre de la Terre afin de transmettre des informations. Les informations que traite ce type de satellite sont les communications téléphoniques, les transmissions télévisées, les transmissions audio et vidéo, et de façon plus générale, les échanges d'informations.

- **Les satellites de navigation**, toujours placés en orbite assez basse. Très utiles aux compagnies de transports maritimes et aériens car ils permettent de se positionner de façon extrêmement précise (précision pouvant aller à 1 cm) sur la Terre.
- **Les satellites militaires**, placés à différents orbites suivant le but recherché : une orbite géostationnaire si sa mission est de servir de relai (donc c'est un satellite de télécommunication), ou une orbite très elliptique si sa mission est d'espionner par exemple («satellites espions »).

Les satellites selon leur mission, peuvent fonctionner jusqu'à 15ans.

2. Détection

La détection de l'énergie concerne l'énergie électromagnétique et/ou l'énergie thermique.

- La détection de l'énergie électromagnétique peut se faire photographiquement ou électroniquement.

Le processus photographique est basé sur une réaction chimique d'une surface photosensible pour détecter les variations de l'énergie d'une scène donnée. Ici le film joue à la fois le rôle de détecteur et de support de l'image enregistrée. Les appareils photographiques des plates-formes sont des capteurs optiques passifs qui utilisent un système de lentille (B) pour prendre un cliché presque instantané d'une portion de surface (A) afin de former une image sur un plan focal(C) sur lequel l'image est bien définie.

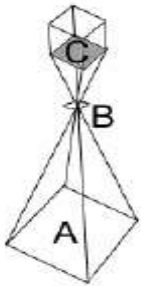


Figure 28: Systèmes photographiques avec A: objet ou portion de la surface, B: système de lentilles, C: plan focal ou pellicule où se forme l'image.

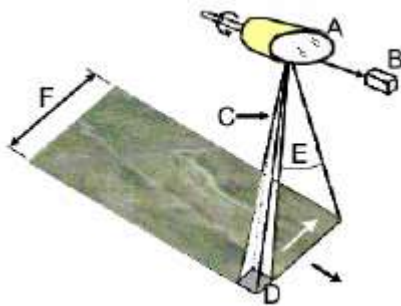
Deux photos successives ont un certain pourcentage de recouvrement de 50 à 60% et cela permet, en superposant des photos d'une même région prises séparément d'en avoir une vue en trois dimensions à l'aide d'un stéréoscope.

Les capteurs électroniques produisent un signal électrique et les signaux sont enregistrés sur bande magnétique. Ils peuvent par la suite être convertis en images en photographiant des écrans de type TV sur lesquels sont visualisées les données ou en utilisant un film spécial comme support.

Plusieurs capteurs électroniques acquièrent des données en utilisant un système à

balayage. Un système à balayage qui utilise plusieurs longueurs d'onde pour acquérir des données est appelé un balayeur multispectral (BMS). On distingue deux modes principaux de balayage pour acquérir des données multispectrales : Le balayage perpendiculaire à la trajectoire et le balayage parallèle à la trajectoire.

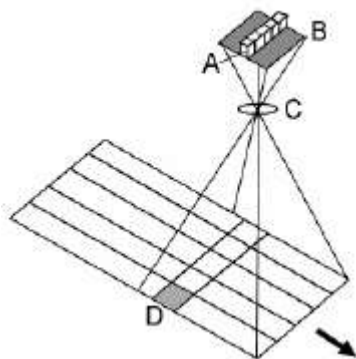
Le balayage perpendiculaire à la trajectoire également appelé balayage croisé parcourt le terrain suivant des lignes perpendiculaires à la trajectoire de vol. Il est obtenu grâce à un miroir rotatif(A) et la radiation est divisée en plusieurs bandes spectrales dont chacune a son propre détecteur(B) qui en mesure et enregistre l'énergie tout en convertissant le signal électrique produit en données numériques. Le balayage effectué par le miroir détermine le champ de vision angulaire (E) qui détermine à son tour la largeur du couloir couvert (F).



A : miroir rotatif
B : Système de détecteurs

Figure 29: Balayage perpendiculaire à la trajectoire (=Balayage croisé= across track)

Le balayage parallèle à la trajectoire est une méthode de balayage qui n'utilise pas un miroir oscillant mais des ensembles linéaires de détecteurs (A) alignés sur une barrette perpendiculairement au plan de vol. La barrette est située sur le plan frontal(B) qui reçoit l'image obtenue à l'aide d'un système de lentilles (C). Les détecteurs individuels mesurent l'énergie pour une cellule de résolution au sol (D)



A : Barrette de détecteurs

Figure 30: Balayage parallèle à la trajectoire.

Le terme « Image » est une représentation picturale des données alors que le terme « photographie » est réservé pour des représentations résultant d'une détection et enregistrement de l'énergie sur film photosensible.

- Le processus thermique consiste en la détection et enregistrement de l'énergie thermique. Les détecteurs servent à transformer le niveau des radiations en signal électrique pouvant être enregistrés sous plusieurs modes. On a deux catégories de détecteurs couramment utilisées : les détecteurs thermiques (Baromètres) et les détecteurs à quantum ou photons. Les détecteurs thermiques changent de température à l'occasion de l'absorption de l'énergie radiative (Trad) et ce changement est enregistré électroniquement.

Notons que l'énergie radiative d'un corps est fonction de l'énergie cinétique (T_{cin}) de ce corps et de son émissivité (E) ou absorbance:

$$\text{Trad} = E^{1/4} T_{cin}$$

Les détecteurs à photons (quants) fonctionnent sur le principe de l'interaction directe entre les photons de la radiation et le niveau de l'énergie des transporteurs de charges électriques se trouvant dans le matériau détecteur.

a. *Caractéristiques des capteurs*

La Résolution spectrale

Aucun capteur n'est sensible à toutes les longueurs d'ondes. Chacun des capteurs a été conçu pour avoir son maximum de sensibilité dans une bande spécifique. Au moment de la détection, un séparateur dirige l'énergie non thermique vers un prisme qui la décompose en un continuum d'énergie ultraviolet, visible et Infrarouge. Le même processus se fait avec le séparateur pour l'énergie thermique et on arrive à décomposer les rayons en multiples bandes (ou canaux) pouvant être mesurés indépendamment. En utilisant plusieurs bandes pour une même scène, on augmente la capacité de distinguer les objets.

Cette capacité des capteurs dits multi spectraux de détecter de l'énergie dans des fenêtres fines est une caractéristique qui définit ce qu'on appelle « **la Résolution spectrale** » d'un capteur.

Plus la résolution spectrale est élevée, plus grand est le nombre de bandes détectées dans une portion du spectre électromagnétique

Exemple : Une pellicule noir et blanc d'un appareil photographique enregistre l'énergie de toute la longueur d'onde visible alors qu'une pellicule couleur enregistre l'énergie de toute la longueur d'onde visible mais indépendamment pour le bleu, le vert et le rouge. La résolution spectrale est grossière pour la pellicule noir et blanc, elle est fine

pour le pellicule couleur. La résolution pour la pellicule fausse couleur (Infra-rouge couleur) est encore plus fine

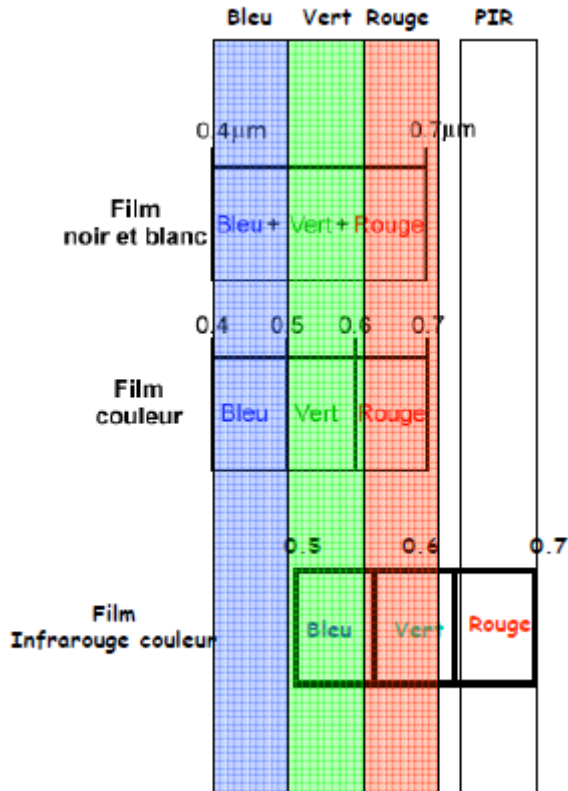


Figure 31: illustration de la résolution spectrale des films photos



Film noir et blanc



Film couleur

Figure 32: Représentations en noir et blanc; en couleurs naturelles



Film couleur



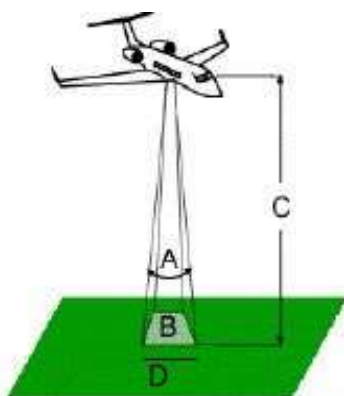
Film Infrarouge Couleur

Figure 33: Représentations en couleurs naturelles et en fausses couleurs.

La résolution spatiale

Le détail qu'il est possible de discerner sur une image dépend de la **résolution spatiale** du capteur. Les images où seuls les grands éléments sont visibles sont des images à résolution spatiale grossière ou basse, les images où on peut discerner les éléments de petites dimensions sont des images à résolution spatiale fine ou élevée. La résolution spatiale d'un capteur est donc la limite quant à la dimension minimale qu'un objet terrestre doit avoir pour qu'il puisse être vu distinctement dans les moindres détails.

Pour certains instruments de télédétection comme les satellites, la **distance** entre la cible observée et la plate-forme joue un rôle important puisqu'elle détermine la grandeur de la région observée et les détails qu'il est possible d'obtenir. Un autre facteur important est le **champ de vision instantané (CVI)**, autrement appelé **cône visible** du capteur. Ces deux facteurs déterminent l'aire de la **surface visible** ou **superficie de résolution** ou **cellule de résolution**.



A : CVI exprimé en radian
B : Cellule de

Figure 34: Illustration du champ de vision instantanée (CVI)

Le diamètre de la surface du terrain vue par le capteur est souvent considéré comme **la résolution spatiale**.

Elle est donnée par la relation $D = A \cdot C$

Exemple : Quelle est la résolution spatiale (D) d'un capteur ayant un CVI instantanée (A) de 2,5 milliradian et survolant un terrain à 1000 m d'altitude(C)

$$D = (2,5 \times 10^{-3} \text{ rad}) \times 1000 \text{ m} = 2,5 \text{ m.}$$

Pour apercevoir beaucoup de détails, il faut de très petits CVI et plus l'élément de résolution est petit, plus grande est la résolution spatiale, c'est-à-dire une grande capacité à distinguer les détails de terrain.

Plus la résolution augmente, plus la cellule de résolution diminue. Pour pouvoir distinguer un élément de la surface observée, l'élément doit être de dimension égale ou supérieure à la cellule de résolution.

Cependant, un élément plus petit peut être distingué si sa réflectivité domine celle des autres éléments de la cellule de résolution. On parle alors de détection plus fine que la résolution.

La Résolution temporelle

L'un des caractéristiques de la télédétection satellitaire est sa capacité d'amasser périodiquement de l'information d'une même région de la surface de la terre. La comparaison des images multitemporelles permet de détecter les changements. La résolution temporelle absolue correspond à un cycle orbital, donc à la période de passage au dessus d'un point nadir quelconque.

Il y a chevauchement entre les couloirs-couverts adjacents et les zones de chevauchement deviennent de plus en plus grandes en s'approchant des pôles. On parle alors de résolution temporelle effective qui est la période de passage au même point et qui est beaucoup plus courte que la résolution temporelle absolue.

La Résolution Radiométrique

La résolution radiométrique d'un système de télédétection décrit sa capacité de reconnaître de petites différences dans l'intensité de l'énergie électromagnétique. Plus la résolution radiométrique d'un capteur est fine, plus le capteur est sensible à de petites différences dans l'intensité de l'énergie reçue. Les données images sont représentées par une valeur numérique codée en format binaire (bit=binary digit). Chaque bit représente un exposant de la base 2. Le nombre de niveaux d'intensité disponibles dépend du nombre de bits utilisés pour représenter l'intensité enregistrée.

Un capteur utilisant 2bits a $2^2=4$ niveaux d'énergie, pour 4 bits on a 16 niveaux d'énergie, pour 8 bits on 256 niveaux d'énergie. Les données sont souvent enregistrées en tons de gris, le noir représentant la faible valeur numérique (0) et le blanc la valeur numérique élevée

respectivement 3 pour un capteur utilisant 2 bits, 15 pour un capteur utilisant 4bits et 255 pour un capteur utilisant 8 bits.



Image 1 bit



Image 8 bit

Figure 35: Représentation d'une image des capteurs utilisant respectivement 1 bit et 8 bits.

b. Caractéristiques des données de télédétection.

On a vu précédemment que les données de télédétection peuvent être enregistrées sous format « image » pour le cas des photographies ou sous format numérique (rangée de chiffres) pour les capteurs électroniques.

L'analyse visuelle des images a longtemps été la technique fondamentale de la télédétection qui consiste à faire usage de l'habileté du cerveau humain à distinguer et évaluer les variations spatiales enregistrées par les capteurs.

A cause de la capacité limitée de l'œil humain à distinguer les variations des teintes, de la difficulté pour un interprète à analyser simultanément plusieurs images, du coût en termes de temps et main-d'œuvre, il est préférable de travailler avec les données numériques qu'avec les images. Sous les formats numériques, les données se prêtent aisément à la manipulation par l'ordinateur et l'ordinateur permet une automatisation plus poussée. Comme on le verra dans la partie analyse des données, de même que la capacité de l'œil humain est limitée dans l'interprétation des variations spectrales, l'ordinateur est limité également dans sa capacité d'évaluer les variations spectrales. Il en résulte que l'homme et la machine sont complémentaires et qu'on est amené à choisir la combinaison de ces deux capacités la mieux adaptée à la tâche que l'on veut accomplir.

Une photographie peut être présentée et affichée en format numérique en divisant l'image en morceaux de formes et tailles égales appelés pixels.

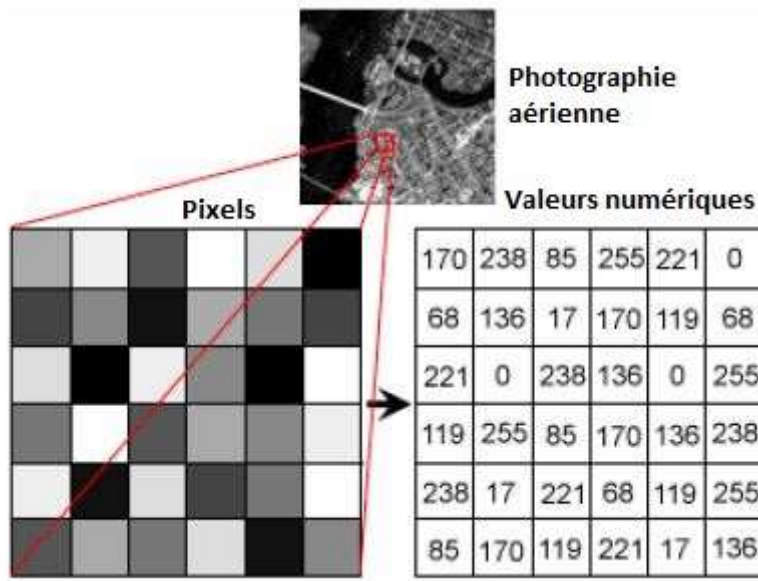


Figure 36: Représentation en format numérique d'une photographie.

Une image numérique est une grille, une matrice de ces éléments discrets appelés pixels. L'intensité de chaque pixel correspond à la brillance (radiance) moyenne mesurée électroniquement et représentée par une valeur numérique, un nombre allant de (0) noir à (X) blanc. Ce nombre appelé valeur numérique (VN) ou degré de gris (DG) résulte de la transformation du signal électrique originel du capteur en utilisant une procédure de conversion dite **Analogue à numérique**

V. TELEDETECTION DES HYPERFREQUENCES

La portion du spectre des hyperfréquences couvre une longueur d'onde d'une étendue variant de 1 centimètre à 1 mètre. Comme tout objet ayant une température supérieure au 0 absolu émet de l'énergie chaleur, il émet également une certaine quantité d'énergie dans les hyperfréquences, mais la magnitude en est généralement très faible.

Les hyperfréquences ont des propriétés particulières en télédétection. Les ondes les plus longues passent au travers de la couche nuageuse, la bruine, la poussière et la pluie fine puisqu'elles ne sont pas sensibles à la diffusion atmosphérique qui affecte les ondes plus courtes

La détection par hyperfréquences (micro-ondes) comprend la forme active et la forme passive de la télédétection.

La télédétection passive par hyperfréquences est semblable à la télédétection thermique

Un capteur passif détecte l'énergie dans les hyperfréquences émises naturellement dans son champ de vision et nécessite une antenne, l'énergie étant petite par rapport à celle du visible. Le champ de vision doit être grand afin de détecter assez d'énergie pour enregistrer un signal. La plupart des capteurs à hyperfréquences sont donc caractérisés par une résolution spatiale faible.

L'énergie enregistrée dans la partie du spectre des hyperfréquences par un capteur passif peut être émise par l'atmosphère, réfléchi du sol, émise par le sol ou transmise du sous-sol.

La télédétection dans les hyperfréquences intéresse plusieurs applications dont la météorologie, l'hydrologie et l'océanographie.

En météorologie, les météorologues peuvent utiliser les hyperfréquences pour mesurer des profils atmosphériques et pour déterminer la quantité d'eau ou d'ozone dans l'atmosphère

En hydrologie, les hydrologues utilisent les hyperfréquences passives pour mesurer l'humidité du sol.

En océanographie, océanographes comprennent la cartographie, les glaces de mer, les courants et les vents de surface, ainsi que la détection des polluants tels que les nappes d'hydrocarbures.

Les capteurs actifs à hyperfréquences fournissent leur propre source de rayonnement pour illuminer la cible. Ils sont généralement divisés en deux catégories distinctes : les capteurs imageurs (bidirectionnels) et les capteurs non-imageurs (une dimension).

Les capteurs à hyperfréquences non-imageurs incluent les altimètres et les diffusomètres.

Les diffusomètres au sol sont utilisés pour mesurer précisément la diffusion provenant des différentes cibles afin de caractériser différents matériaux et types de surfaces.

Les altimètres pointent directement au nadir (sous la plate-forme) et peuvent ainsi mesurer la hauteur ou l'élévation de la cible (si l'altitude de la plate-forme est connue précisément).

Le plus répandu des systèmes actifs à hyperfréquences est le **radar**. De l'anglais (RAdio Detection And Ranging), **radar veut dire détection et télémétrie par ondes radio**.

Les radars actifs possèdent l'immense avantage de pouvoir pénétrer la couche nuageuse dans la plupart des conditions météorologiques et d'avoir des informations sous toutes conditions et de jour comme de nuit.

Les données radars et les données obtenues dans le visible peuvent être complémentaires puisqu'elles offrent différentes perspectives de la surface de la Terre et apportent donc des informations différentes

VI. TRAITEMENT ET ANALYSE DES IMAGES DE TELEDETECTION

Le traitement des images comprend deux étapes : prétraitement et le traitement proprement dit.

1. Prétraitement des images

Un traitement des données implique d'abord certaines transformations correctives préalables. Le prétraitement regroupe des opérations effectuées sur les images en amont de tout traitement de façon à les corriger ou les améliorer.

Le premier procédé est la visualisation rapide (ou Quick-look) d'une image. On a trois types de prétraitement : les corrections radiométriques, les corrections géométriques et les corrections atmosphériques.

Les corrections radiométriques (égalisation de la sensibilité des détecteurs) sont effectuées pour réaffecter à chaque pixel une valeur radiométrique la plus proche possible de celle mesurée sur terrain. La correction concerne :

- ✓ les irrégularités du capteur (lignages, données manquantes, ...) ;
- ✓ les bruits du capteur ou de l'atmosphère (diffusion, absorption, ...).

Les corrections atmosphériques sont effectuées pour corriger les effets de l'interaction de l'atmosphère avec le rayonnement lumineux. Elles consistent en des opérations visant à extraire les effets perturbateurs atmosphériques afin d'aboutir finalement à une mesure physique de la réflectance au niveau de la surface visée.

Les corrections géométriques (ou rectification) sont effectuées pour corriger les distorsions causées par l'environnement (courbure de la terre, variations d'altitude du sol), par des erreurs des systèmes de mesure ou par les mouvements de la plate-forme.

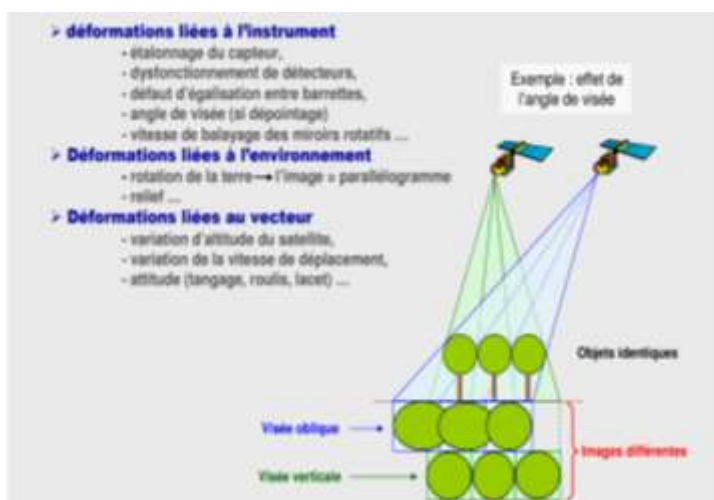


Figure 37: Illustration des différentes distorsions géométriques.

Elles consistent à corriger les distorsions par une conversion des coordonnées initiales de l'image en coordonnées cartographiques.

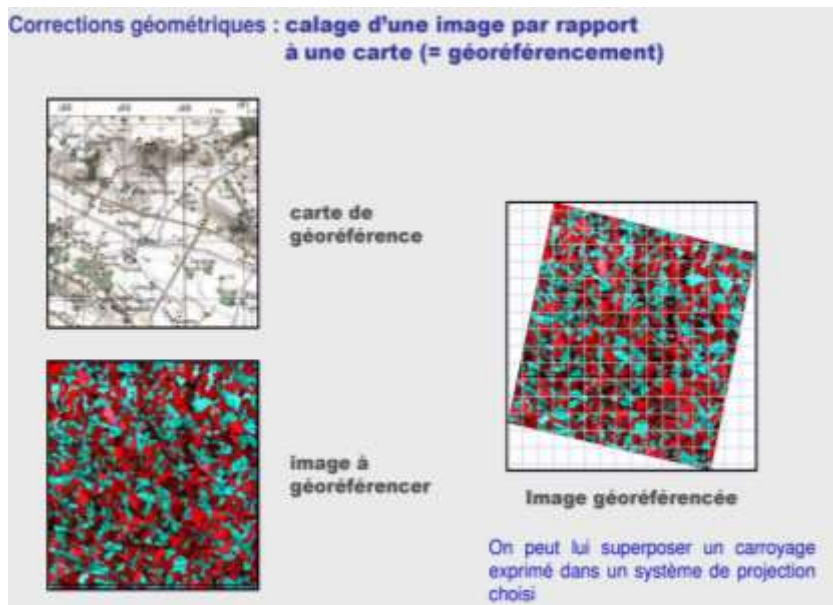


Figure 38: Image géo référenciée à l'aide d'une carte avec coordonnées géographiques.

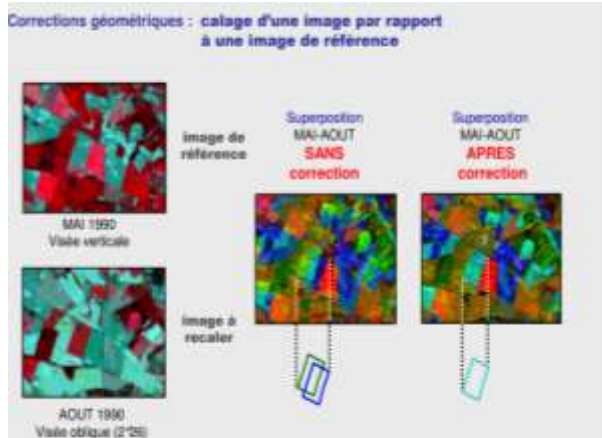


Figure 39: Calage à l'aide d'une image de référence.

NB ! la qualité de l'image tient compte de deux éléments principaux :

- La qualité géométrique : performances du capteur, stabilité de la plate-forme sur son orbite, connaissance des perturbations pouvant affecter le satellite et ou le capteur.
- La qualité radiométrique : le choix des instruments, des bandes spectrales, des détecteurs, de la calibration et des contrôles réalisés.

2. Traitement des images

Le traitement proprement dit des images est un travail de synthèse et de réduction de la réalité. Elle tend à résumer une quantité importante d'informations en un nombre restreint de classes pertinentes et communicables à un utilisateur final. Il comprend trois phases essentielles :

- La visualisation ou restitution canal par canal de l'image qui permet de passer des valeurs numériques à une image codée en niveau de gris ou de couleurs.
- La classification multi spectrale qui correspond à la simplification des informations (Résumé) pour rendre l'image plus lisible et facile à interpréter
- La classification thématique qui correspond à la partition de l'image en classes significatives à partir d'un lot de zones –échantillons bien connues du sol.

En télédétection, deux principaux types d'acquisition des données existent : l'acquisition sur support photographique où l'information est restituée à partir d'un négatif sur support papier et l'acquisition numérique où l'information est constituée par l'énergie électromagnétique réfléchie enregistrée par les capteurs.

Le traitement des données acquises par les systèmes photographiques se fait par des méthodes dites de photo-interprétation :

- La méthode dite des « clés » où le photo interprète utilise son expérience et ses connaissances antérieures mémorisées pour reconnaître les objets de l'image.
- La méthode dite « analytique » où l'interprète analyse et délimite des ensembles homogènes (Zonage) de l'image en considérant que chaque zone de l'image a de fortes probabilités de représenter une unité (cas d'unité paysagique d'un espace géographique considéré).

Le traitement des données acquises par les systèmes numériques procède par ces différentes étapes :

- La visualisation et repérage : Cette étape comprend des opérations visant à améliorer la lisibilité ou à extraire des aspects de l'information contenue dans l'image. On a différents procédés:
 - L'étalement (stretching) de l'histogramme qui consiste à distribuer les niveaux de gris (ou les couleurs) de façon à mieux utiliser la palette disponible. L'étalement modifie chaque pixel indépendamment de son voisin et tous les pixels ayant la même valeur initiale auront de nouveau la même valeur ;

L'histogramme est une représentation statistique des comptes numériques des pixels de l'image

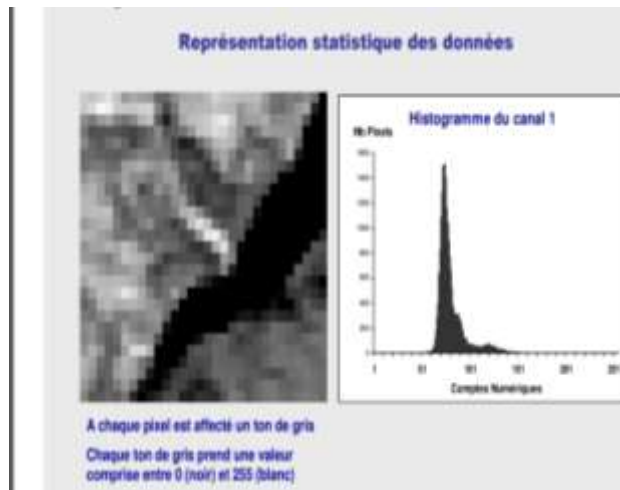


Figure 40: Histogramme: Statistique nombre de pixels par compte numérique

L'étalement de l'historgramme (stretching) transforme les valeurs originales des pixels à un niveau important de luminosité permettant ainsi une appréciation aisée des différences entre les différentes entités de l'image

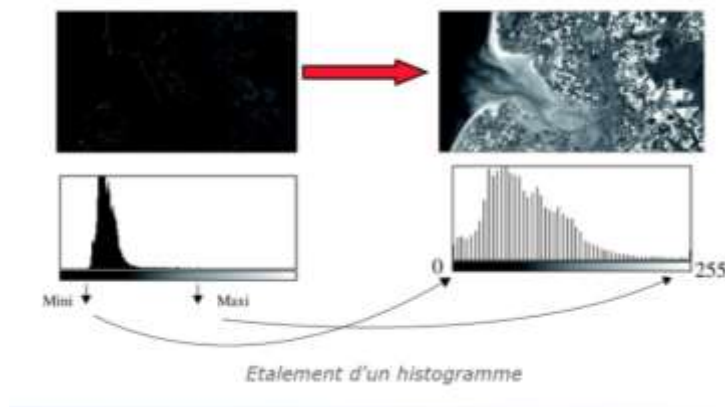


Figure 41: Visualisation par étalement de l'historgramme.

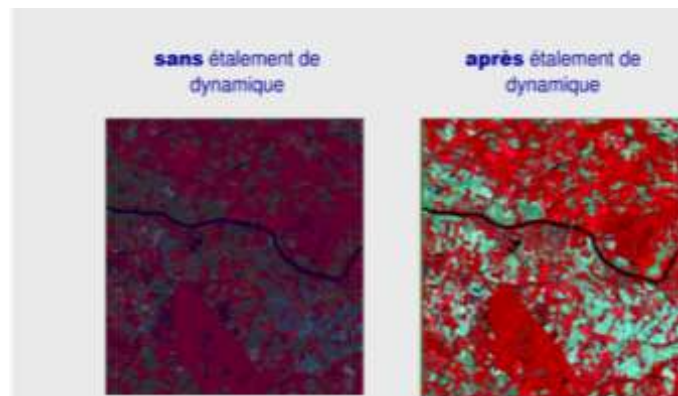


Figure 42: Effet de l'étalement appliqué sur une composition colorée.

- Le filtrage de l'image qui consiste à recalculer la valeur de chaque pixel pour lisser l'image (filtre passe bas) ou accentuer les contrastes (filtre passe haut). Il en existe de plusieurs types en fonction des données qu'on cherche :

Extraire des informations de fond, de structure et de texture

Homogénéiser, lisser, contourner, éliminer du bruit, contraster, etc .

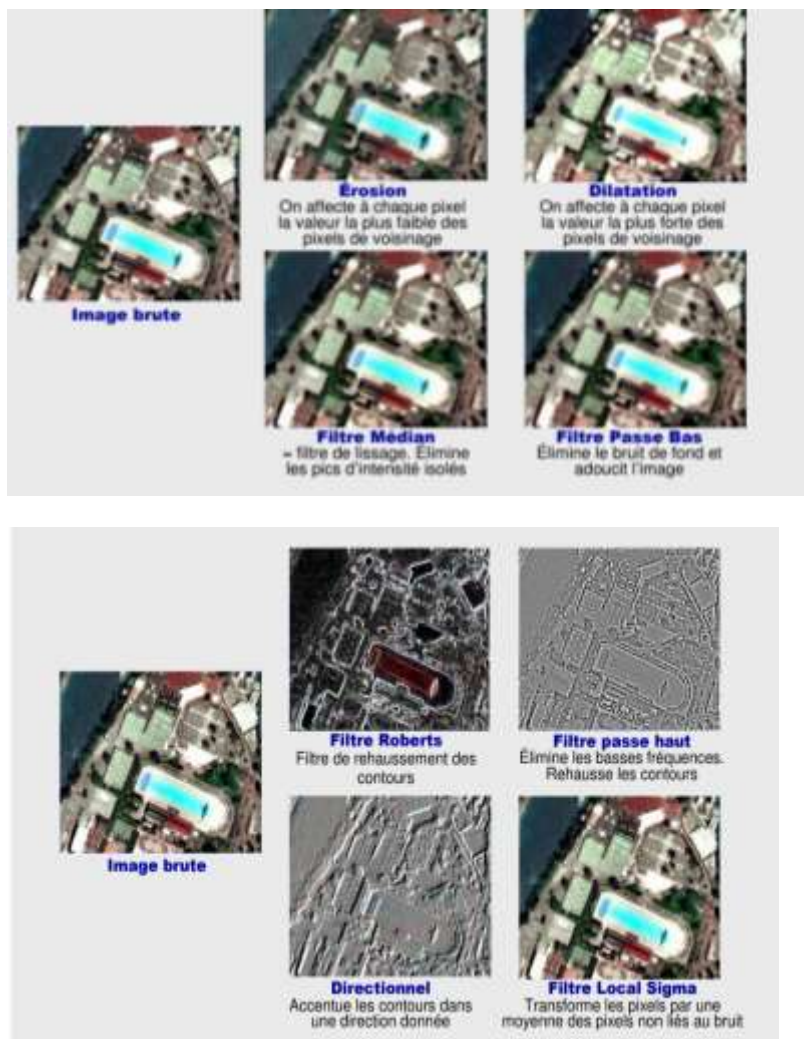


Figure 43: Illustration des différentes sortes de filtrage.

Un filtre (noyau) est une sorte de fenetre carrée ou rectangulaire qu'on déplace ligne par ligne et colonne par colonne pour trouver la valeur central du nouveau pixel

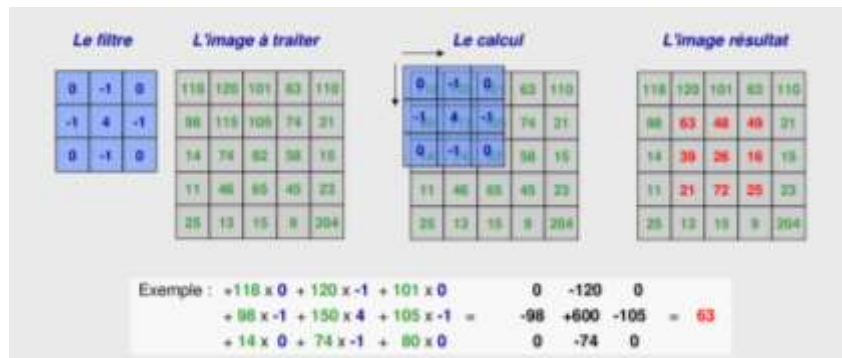


Figure 44: Exemple de l'application d'un filtre sur une portion d'une image

Une image filtrée a perdu certaines caractéristiques de l'image originale;

- La composition colorée qui consiste à faire une synthèse additive ou soustractive de l'information en associant à trois bandes spectrales du système d'observation les trois couleurs primaires (rouge, vert, bleu)

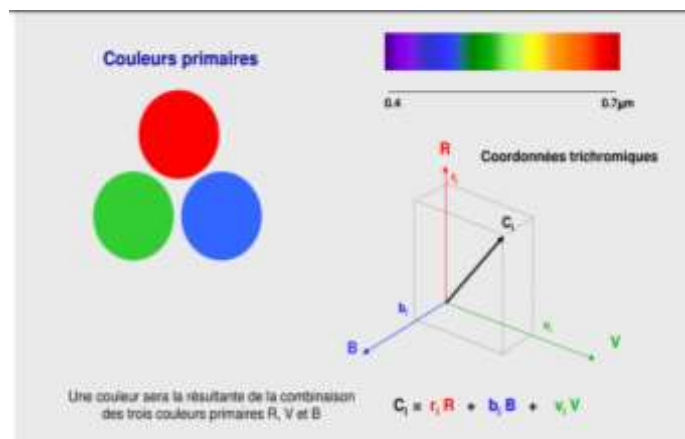


Figure 45: Les trois couleurs primaires.

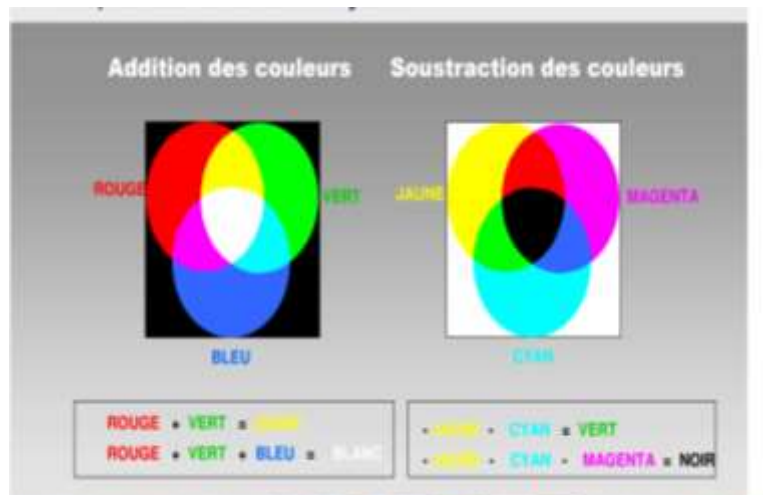


Figure 46: Illustration de la composition additive et soustractive des couleurs.

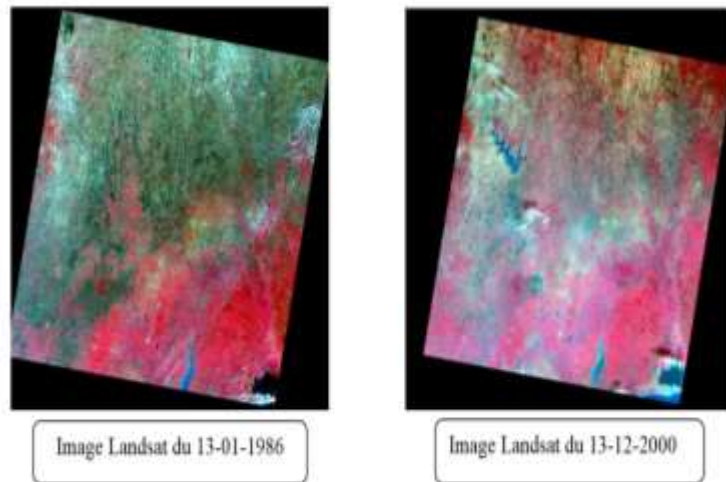


Figure 47: Images fausses couleurs 432 d'une scène au Bénin.

- La synthèse de néo canaux : il s'agit d'une opération arithmétique entre canaux pour mettre en évidence certaines caractéristiques du paysage. Exemples de l'indice de végétation normalisé (Normalised Difference Vegetation Index) qui part du principe que la réflectance de la végétation est très élevée dans le proche infrarouge (PIR) et très basse dans le rouge (R), de l'indice de brillance (IB) qui quantifie la luminosité d'une surface en combinant les canaux rouge (R) et proche infrarouge (PIR) et qui est très sensible à la réflectance de surface et impacté par le type de sol, sa teneur en matière organique et son humidité.

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

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

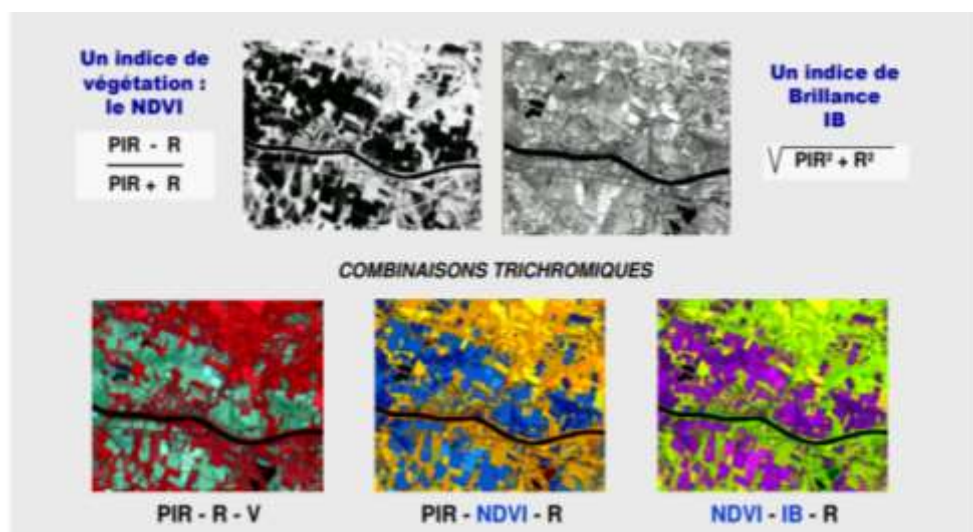


Figure 48: Différentes combinaisons colorées impliquant le NDVI et IB.

- La classification : Deux types d'approches peuvent être distinguées : les classifications non supervisées sans aucune connaissance à priori sur les données et les classifications supervisées.
- La classification non supervisée (non dirigée) détermine automatiquement les classes.
- La classification supervisée, guidée par un opérateur qui impose la classe, consiste à déterminer un apprentissage préalable (sélection des échantillons auxquels on connaît à priori la classe d'appartenance).

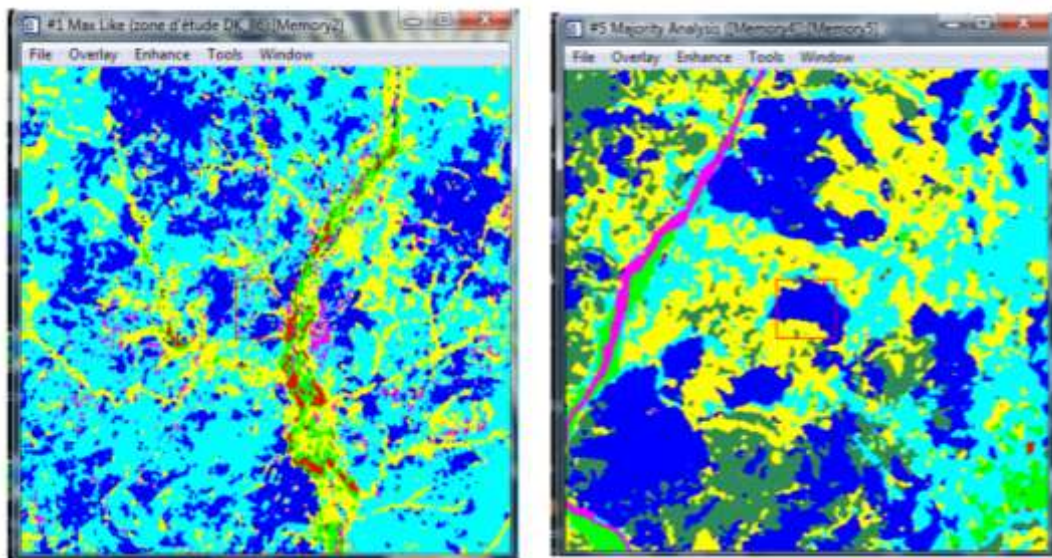


Figure 49: Exemple de résultats d'une classification des images d'une scène à différentes dates.

Les classifications supervisées sont nécessaires lorsque les besoins sont pointus alors que les techniques non supervisées se limitent souvent à la reconnaissance de grandes classes thématiques (forêt, urbain, surface nue, végétation haute et basse, surface d'eau)

3. Analyse des données de télédétection

La vectorisation et l'importation des données dans un logiciel d'analyse statistique (Ex ArcGis, QGis) permettent la production des cartes thématiques et la génération d'autres données nécessaires à la compréhension et au suivi des phénomènes, à la prévision, à la planification de la gestion.

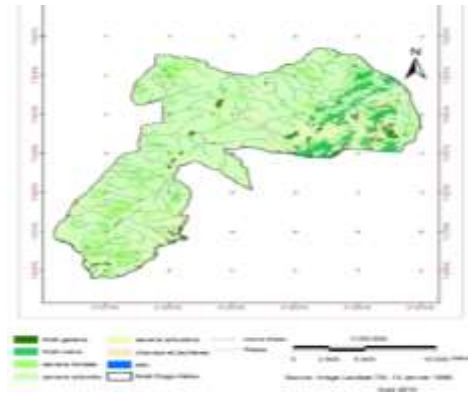


Figure 50: Carte d'occupation du sol établie pour une date (1986).

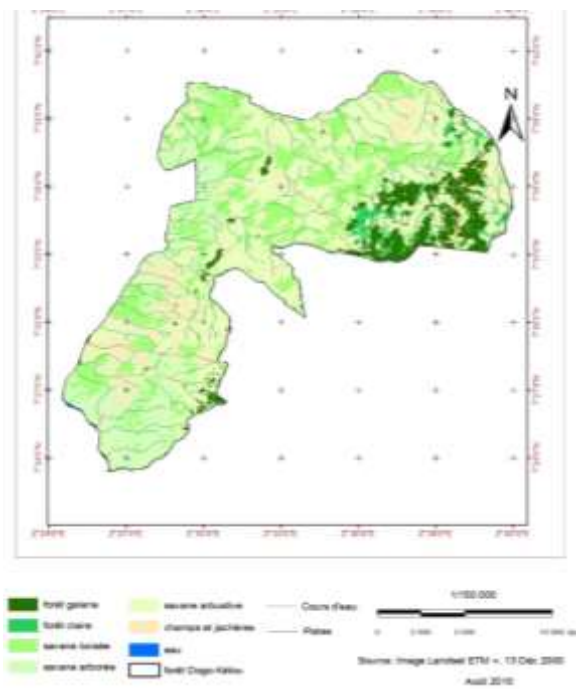


Figure 51: Carte d'occupation du sol pour une date ultérieure (2000) permettant d'apprécier les changements.

Exemple d'utilisations :

-combinaison géographique d'informations

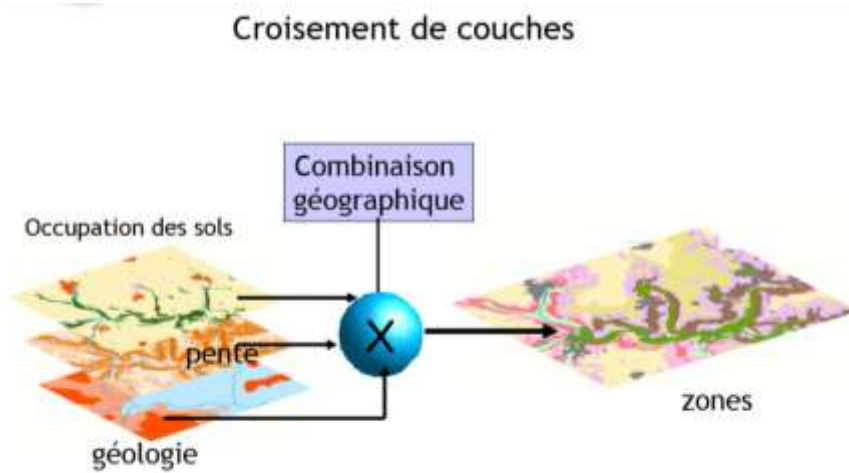


Figure 52: Application : Combinaison par croisement des couches.

-statistiques spatiales

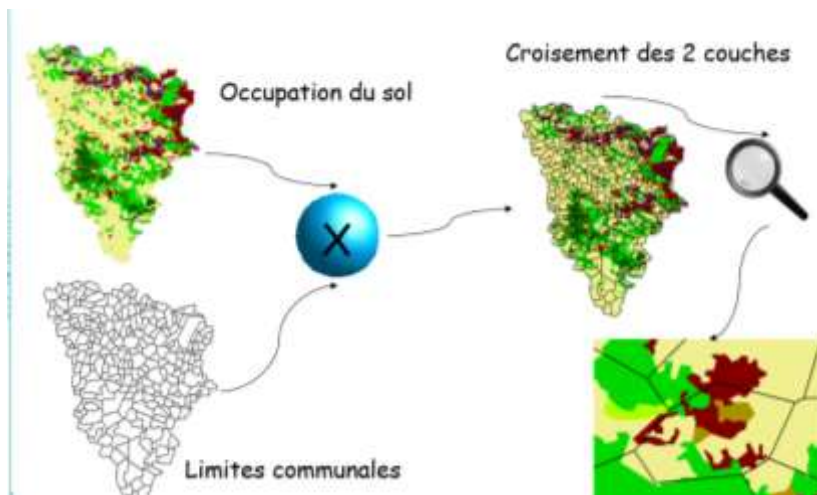


Figure 53: Analyse statistique par croisement des informations des différentes couches.

Attributs de parcelles				
FID	Shape *	ID	NOM	surface
0	Polygone	0	Le pont cailloux	150857.154516
1	Polygone	0	côte des divisions	153149.42713
2	Polygone	0	l'étang	45561.950856
3	Polygone	0	prébois	49573.448168
4	Polygone	0	la laverie	74153.680594
5	Polygone	0	la faisanderie	125504.905865
6	Polygone	0	essai	35336.568402
7	Polygone	0	Les terres de l'église	100669.217959
8	Polygone	0	le coin du mur	194718.31792
9	Polygone	0	les vieilles vignes	163611.079798
10	Polygone	0	Les cents arpents	246855.234671



Figure 54: Table attributaire dans une base de données SIG.

VII. APPLICATIONS DE LA TELEDETECTION

Il existe plusieurs applications de la télédétection et pour chaque application, il existe une combinaison spécifique de résolutions spectrale, spatiale et temporelle.

Souvent, il faut utiliser plusieurs capteurs pour bien répondre à tous les besoins d'une application. La combinaison de plusieurs sources de données s'appelle la fusion ou l'intégration d'images.

Le fait d'utiliser l'information en provenance de différentes sources de données (multi capteurs, multi spectrales, multi temporelles) garantit une identification correcte de la cible et une cueillette de données aussi précises que possible.

1. Application de la télédétection en Agriculture

Parmi les applications de la télédétection à l'agriculture mentionnons :

- ✓ la classification des types de cultures : La télédétection offre une méthode sûre et efficace de cueillette d'information dans le but de cartographier le type et de calculer la superficie des cultures. La réflectance spectrale d'un champ varie en effet selon le stade phénologique (stade de croissance), le type de plantes et leur état de santé. L'identification et la cartographie des récoltes bénéficient de l'utilisation des images multitemporelles qui facilitent la classification en tenant compte des changements dans la réflectance des plantes durant leur croissance
Les données multicapteurs augmentent la précision de la classification en fournissant plus d'information qu'un seul capteur ne peut le faire. Les images couleurs infrarouges montrent le contenu en chlorophylle des plantes et la structure du couvert végétal, tandis que les images radars fournissent de l'information sur la structure des plantes et sur le taux d'humidité
- ✓ l'évaluation de la santé des cultures : L'évaluation de la santé des cultures, de même que la détection rapide d'infestations maximisent la qualité des productions agricoles. Les capteurs optiques possèdent l'avantage de pouvoir détecter, non seulement le rayonnement visible, mais aussi le rayonnement infrarouge qui est très sensible à la santé, au stress et aux dommages subis par les cultures. Les plantes en santé reflètent très peu le rayonnement rouge et bleu car la chlorophylle les absorbe, cependant elles réfléchissent beaucoup le vert et l'infrarouge. Des plantes en bonne santé possèdent une valeur NDVI élevée, car elles réfléchissent beaucoup de lumière infrarouge et ne réfléchissent presque pas de lumière rouge. La détection des dommages et la surveillance de la santé des cultures exigent des données à haute résolution et multispectrales. Le temps est un facteur plus important et une image datant de deux semaines n'est d'aucune utilité pour la gestion et le contrôle des dommages en temps réel.
- ✓ l'estimation de la production totale d'une récolte
- ✓ la cartographie des caractéristiques du sol

- ✓ la cartographie des pratiques de gestion du sol
- ✓ la surveillance de conformité aux lois et traités.

2. Application de la télédétection en foresterie

La surveillance de la santé des forêts est indispensable pour leur conservation et leur survie face aux différents facteurs de déboisement.

La cartographie du couvert forestier général, la surveillance des changements côtiers et des bassins versants, la surveillance des coupes et le suivi de la régénération, ainsi que la cartographie des feux de forêts et des zones brûlées sont les différentes actions qui demandent l'application de la télédétection

L'application de la télédétection intervient entre autre dans :

- ✓ La cartographie de reconnaissance : discrimination du type de couvert forestier, la surveillance de la diminution de la ressource, cartographie agroforestière.
- ✓ La foresterie commerciale : inventaires pour la demande de coupe, les types de forêts, la densité de végétation et les mesures de biomasse
- ✓ La foresterie environnementale : surveillance de la qualité (vigueur des forêts), de la santé et de la diversité des forêts (inventaire des espèces)

Une résolution spatiale de 10 à 30 m semble adéquate pour la cartographie du couvert forestier, l'identification et la surveillance des coupes à blanc, la cartographie des zones en feu ou brûlées, la collecte de l'information des récoltes forestières et l'identification des dommages subis par les forêts car elle simplifie une tâche qui serait difficile et longue avec des moyens traditionnels de levés terrestres.

Les données hyperspectrales offrent une vue unique des couverts forestiers, une vue impossible sans la technologie de télédétection.

3. Application de la télédétection en Géologie

La géologie est généralement perçue comme étant l'exploration et l'exploitation des ressources minérales et pétrolières dans le but d'améliorer les conditions de vie des sociétés.

La géologie comprend aussi l'étude des phénomènes naturels potentiellement dangereux comme les volcans, les glissements de terrain et les tremblements de terre, et constitue donc un apport important pour les études géotechniques de construction et de génie.

La télédétection est un outil qui permet l'extraction d'information sur la structure ou la composition

Les principales applications de la télédétection pour la géologie sont :

- ✓ la cartographie des dépôts de surface
- ✓ la cartographie lithologique (identification et caractérisation de la roche mère, des signes d'altération)

- ✓ la cartographie structurale (identification et caractérisation des plis, les failles et les linéaments)
- ✓ l'exploration et exploitation des agrégats (sable et gravier)
- ✓ l'exploration minière
- ✓ l'exploration pétrolière
- ✓ la géologie environnementale
- ✓ la géobotanique
- ✓ l'infrastructure de base
- ✓ la cartographie et surveillance des taux de sédimentation
- ✓ la cartographie et surveillance des phénomènes naturels
- ✓ la cartographie des risques géologiques
- ✓ la cartographie planétaire.

Certains capteurs de télédétection, comme le radar, fournissent une information unique sur les structures.

Les éléments géologiques étant généralement assez grands (échelle en kilomètres), les applications nécessitent des images à petites échelles pour couvrir l'étendue de l'élément étudié

Une utilisation optimale des données de télédétection combine les différentes sources de données telles que les images optiques ou radars, à une échelle appropriée pour l'étude

4. Application de la télédétection en Hydrologie

L'hydrologie étudie l'eau sur la Terre, qu'elle coule à la surface, qu'elle soit gelée sous forme de glace ou de neige, ou qu'elle soit emprisonnée dans le sol. La télédétection offre un aperçu synoptique de la distribution spatiale et de la dynamique des processus hydrologiques, qui n'est généralement pas disponible avec les relevés terrestres. Le radar apporte une nouvelle dimension aux études hydrologiques, car c'est un capteur actif qui permet l'acquisition de données le jour, la nuit et même durant les tempêtes.

L'hydrologie est naturellement liée à plusieurs autres applications de la télédétection, particulièrement à la foresterie, à l'agriculture et à l'utilisation du sol, parce que l'eau est une composante importante dans chacun de ces domaines. Comme la plupart des processus hydrologiques sont dynamiques, de façon saisonnière et quotidienne, une observation fréquente est nécessaire

Les principales applications de la télédétection en hydrologie sont :

- ✓ la cartographie et la surveillance des marécages
- ✓ l'évaluation de l'humidité du sol
- ✓ la surveillance et la cartographie de l'étendue d'une surface de neige
- ✓ la mesure de l'épaisseur de la neige
- ✓ l'évaluation de la quantité d'eau d'une surface de neige
- ✓ la surveillance de la glace fluviale et lacustre
- ✓ la surveillance et la cartographie des inondations

- ✓ la surveillance de la dynamique des glaciers
- ✓ la détection des changements dans les rivières et les deltas
- ✓ la cartographie et la modélisation des bassins hydrologiques
- ✓ la détection des fuites des canaux d'irrigation
- ✓ la planification des horaires d'irrigation.

5. Application de la Télédétection pour la Couverture et l'utilisation du sol

La couverture du sol fait référence à la couverture de la surface sur le sol, que ce soit de la végétation, des infrastructures, de l'eau, le sol nu ou autres. L'utilisation du sol fait référence à l'usage qu'on fait du sol, par exemple les loisirs, l'habitat de la faune ou l'agriculture

Les propriétés mesurées par la télédétection se rapportent à la couverture du sol, à partir de laquelle l'utilisation du sol peut être déduite à l'aide de données auxiliaires ou de connaissances préalables

Les principales applications de la télédétection pour l'utilisation du sol sont :

- ✓ la gestion des ressources naturelles
- ✓ la protection de l'habitat sauvage
- ✓ la cartographie de base pour des données SIG
- ✓ l'expansion et le développement urbains
- ✓ la planification des itinéraires et de la logistique pour les activités d'exploration sismique et d'extraction de ressources
- ✓ la délimitation de l'étendue de dommage (tornades, inondations, volcans, tremblements de terre, feux)
- ✓ la détermination des limites légales pour l'évaluation des taxes et des propriétés
- ✓ la détection de cibles - l'identification de pistes d'atterrissage, de routes, de clairières, de ponts, de l'interface terre-eau.

Les détecteurs opérationnels dans les zones visible et infrarouge du spectre sont les sources de données les plus utiles pour l'analyse de la couverture et de l'utilisation du sol : une haute résolution spatiale permet d'obtenir des informations détaillées, et des données multispectrales optiques permettent de faire la distinction entre les différentes classes d'utilisation du sol.

Pour des études de végétation à l'échelle continentale ainsi qu'à l'échelle du globe, des données à résolution moyenne (1 km) sont acceptables puisque qu'elles demandent moins d'espace de stockage et moins d'effort de traitement de données, ce qui a une portée significative lorsque de très grandes régions sont traitées

6. Application de la télédétection pour la cartographie

La demande croissante pour l'utilisation des données de télédétection pour la cartographie se justifie par les nombreux avantages qu'elle offre, notamment :

- ✓ une couverture stéréo
- ✓ une répétitivité fréquente

- ✓ une livraison rapide
- ✓ une couverture régionale
- ✓ des coûts de main-d'oeuvre peu élevés
- ✓ une couverture du globe quasi-totale
- ✓ le stockage numérique
- ✓ une intégration facile au SIG
- ✓ une mise à jour facile

Les applications cartographiques sont :

- ✓ planimétrie (l'identification et la localisation géographique en deux dimension de la couverture de base du sol)
- ✓ modèle numérique d'altitude (MNA) (incorporation des données d'altitude et de relief pour produire des vues en perspective)
- ✓ cartographie thématique et topographique (des données provenant des bases de données de topographie, d'infrastructure et d'utilisation du sol sont superposées afin d'optimiser l'information cartographique pour des applications spécifiques telles que l'allocation de l'utilisation du sol, la sélection de site pour les services publics et la planification de routes, la gestion des bassins hydrographiques ou la gestion et les opérations des ressources naturelles).

TD ET TP TELEDETECTION

Dans le cadre de ces travaux pratiques, vous serez dans un premier temps familiarisés à l'imagerie landsat à accès libre et puis initiés à la pratique de la télédétection spatiale.

Vous serez capables de :

- 1) Choisir en fonction de l'objectif l'image satellite et de la chercher sur le web (exemple d'images Landsat)
- 2) Manipuler les images à l'aide d'un logiciel spécialisé (ici le logiciel Envi)
- 3) Calculer les indices spectraux (ici le NDVI)
- 4) Analyser le changement temporel
- 5) Classer les images et réaliser une carte d'occupation du sol

T1. PROGRAMME LANDSAT

Historique

Le programme LANDSAT constitue le plus ancien système d'observation de la surface de la Terre.

La mise sur orbite de la série des satellites Landsat résulte d'un projet de la NASA visant à réaliser un satellite spécifiquement destiné à l'observation de la Terre afin d'en évaluer les ressources potentielles.

Il était à l'origine connu sous l'acronyme ERTS-1 (ERTS : Earth Resources Technology Satellite).

Dès l'année 1967 il fut envisagé la réalisation d'un capteur de type caméra de télévision qui donna naissance au système RBV (Return Beam Vidicon).

Puis dans le but d'accroître les informations il fut pris la décision de mettre en œuvre un capteur de type multispectral.

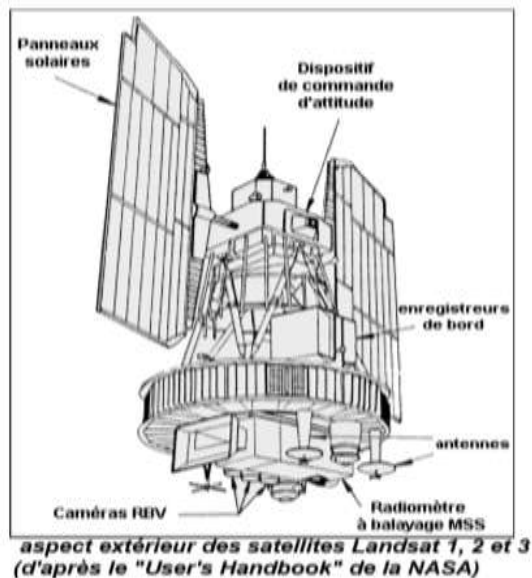
De 1968 à 1972, quatre années furent consacrées à la définition du cahier des charges et à la réalisation du premier satellite et de ses capteurs.

Le lancement le 23 juillet 1972 du premier satellite Landsat 1 marque le début de la télédétection spatiale.

Depuis cette date, 8 satellites Landsat ont été lancés vers des orbites héliosynchrones avec 2 générations principales de satellites.

Satellites première génération: Les satellites landsat 1, 2 et 3

Ces satellites, d'une masse de l'ordre de 900 kg étaient constitués d'une tourelle implantée sur une base cylindrique. Leur stabilisation était assurée par des capteurs d'attitude et un propulseur à hydrazine. Deux panneaux solaires disposés symétriquement permettaient d'alimenter la caméra RBV (Return Beam Vidicon), le radiomètre MSS, les enregistreurs vidéo et les dispositifs de communication avec le sol.



Pr. Anas EMRAN
Institut Scientifique UMV.

LANDSAT 1(23/07/1972 -06/01/1978)

LANDSAT 2(22/01/1975 -05/02/1982)

LANDSAT 3(05/03/1978 -31/03/1983)

Les 3 premiers satellites furent identiques : altitude: 907-915 km; inclinaison: 99,2°; orbite: polaire héliosynchrone période de révolution: 103 minutes durée d'un cycle: 18 jours leur charge utile était constituée de deux instruments optiques, un capteur multispectral MSS et une série de caméras vidéo -RBV.

Capteurs RBV

Sur les deux premiers satellites, la série de 3 caméras vidéo prenait des images dans le visible et dans l'infrarouge. La résolution était de 80 m pour des images de 185 km sur 185 km.

Capteurs MSS

Ces scanners mécaniques prenaient des informations dans 4 bandes spectrales et sur une zone de 185 km sur 185 km.

Comme ces instruments ont été développés après les trois caméras RBV, ces bandes ont été numérotées de 4 à 7.

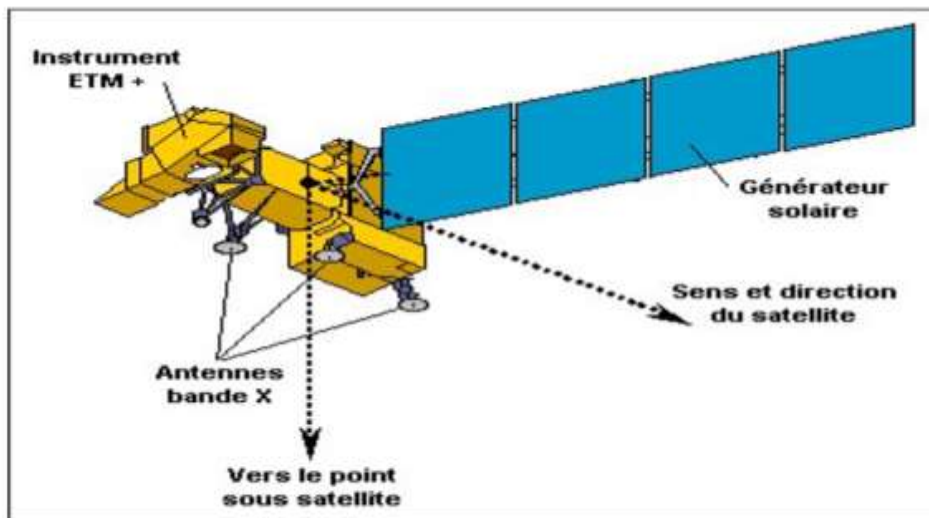
Satellites deuxième génération:

Les satellites de la deuxième génération Landsat sont constitués d'une plateforme multission équipée d'un système de stabilisation 3 axes et d'un module de propulsion. Ils disposent d'un seul panneau solaire disposé latéralement et d'une puissance de l'ordre de 1500 W.

Dans la deuxième génération des satellites landsat nous distinguons deux séries:

- la première série avec Landsat 4 et 5;
- La deuxième série avec Landsat 6 et 7

•Landsat 8 était prévu pour 2005/2006 mais a été lancé en 2013 et landsat 9 a été lancé en 2021



aspect extérieur de satellite Landsat 7

Première série (Landsat 4 (16 juillet 82- juillet 87 et landsat 5 (1mars 85- fin 1999))

Les deux satellites ont été équipés de 2 capteurs multispectraux : MSS et TM (Thematic Mapper).

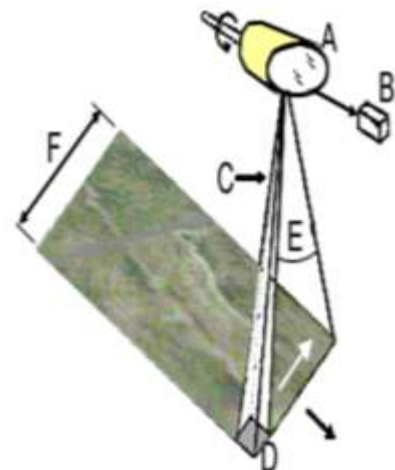
- altitude: 705 km
- inclinaison: 98,2 degrés orbite: polaire héliosynchrone
- période de révolution: 98,9 minutes
- durée d'un cycle: 16 jours

Capteurs MSS (Multispectral scanner)

Ces scanners étaient identiques à ceux des 2 premiers satellites Landsat. La seule différence était que les 4 bandes spectrales ont été numérotées de 1 à 4, suite à l'abandon des caméras RBV. L'acquisition de données par le capteur MSS de LANDSAT 5 a été arrêtée en 1992.

Bandes spectrales du capteur MSS

Bandes spectrales		Longueurs d'ondes (µm)
Landsat 1,2,3	Landsat 4,5	
MSS 4	MSS 1	0,5 - 0,6 (vert)
MSS 5	MSS 2	0,6 - 0,7 (rouge)
MSS 6	MSS 3	0,7 - 0,8 (proche infrarouge)
MSS 7	MSS 4	0,8 - 0,11 (proche infrarouge)



Le MSS capte le rayonnement avec un balayeur mécanique qui utilise un miroir oscillant.

Bande	Bande spectrale	Résolution	Utilisation
1	0,5 - 0,6 μm	79 m x 82 m	Zones côtières, sédiments marins
2	0,6 - 0,7 μm	79 m x 82 m	Routes et zones urbaines
3	0,7 - 0,8 μm	79 m x 82 m	Etude des végétaux et cartographie des limites terre/eau
4	0,8 - 1,1 μm	79 m x 82 m	Etude des végétaux et cartographie des limites terre/eau

Capteurs TM (Thematic Mapper) :

Ces scanners à haute résolution possèdent 7 bandes spectrales et couvrent toujours une zone de 185 km sur 185 km.

Bande	Bande spectrale	Résolution	Utilisation
1	0,45 - 0,52 μm	30 m x 30 m	Différenciation sol / végétaux, zones côtières
2	0,52 - 0,60 μm	30 m x 30 m	Végétation
3	0,63 - 0,69 μm	30 m x 30 m	Différenciation des espèces végétales
4	0,76 - 0,90	30 m x 30 m	Biomasse
5	1,55 - 1,75 μm	30 m x 30 m	Différenciation neige/nuage
6	10,4 - 12,5 μm	120 x 120 m	Thermique
7	2,08 - 2,35 μm	30 m x 30 m	Lithologie

Deuxième série: Landsat 7

La dernière génération des satellites LANDSAT a commencé par un échec. LANDSAT 6 a été perdu juste après son lancement le 3 octobre 1993.

LANDSAT 7 a été lancé en 1999. Il est équipé d'un capteur multispectral (Enhanced Thematic Mapper Plus -ETM+).

- altitude: 705 km
- inclinaison: 98,2 degrés
- orbite: polaire héliosynchrone
- période de révolution: 98,9 minutes
- durée d'un cycle: 16 jours

Capteur ETM+

Le capteur ETM+ est une version améliorée de capteur TM précédent. Il comporte en plus une bande panchromatique à haute résolution (15 m de résolution). La résolution de la bande thermique passe à 60 m

Bande	Bande spectrale	Résolution	Utilisation
1	0,45 - 0,515 μm	30 m x 30 m	Différenciation sol / végétaux, zones côtières
2	0,525 - 0,605	30 m x 30 m	Végétation
3	0,63 - 0,69 μm	30 m x 30 m	Différenciation des espèces végétales
4	0,75 - 0,90 μm	30 m x 30 m	Biomasse
5	1,55 - 1,75 μm	30 m x 30 m	Différenciation neige/nuage
6	10,4 - 12,5 μm	60 m x 60 m	Thermique
7	2,09 - 2,35 μm	30 m x 30 m	Lithologie
PAN	0,50 - 0,90 μm	15 m x 15 m	

Troisième série: Landsat 8 et Landsat 9

LANDSAT 8 a été lancé en 2013. Il est équipé d'un capteur multispectral (Operational Land Imager-OLI ou Landsat Data Continuity Mission -LDCM).

LANDSAT 9 a été lancé le 27 sept 2021 et en complémentarité de LANDSAT 8. Ils couvrent les mêmes bandes spectrales, Landsat 9 étant une version améliorée notamment en ce qui est de la résolution radiométrique (14 bits contre 12 bits)

- altitude: 705 km
- inclinaison: 98,2 degrés
- orbite: polaire héliosynchrone
- période de révolution: 98,9 minutes
- durée d'un cycle: 16 jours

Bandes spectrales	Longueur d'ondes (µm)	Résolution (m)
1. Coastral	0,43-0,45	30x30
2. B	0,45-0,51	30x30
3. V	0,53-0,59	30x30
4. R	0,64-0,67	30x30
5. PIR	0,85-0,88	30x30
6. SWIR	1,57-1,65	30x30
7. SWIR	2,11-2,29	30x30
8. PAN	0,50-0,68	15x15
9. Cirrus	1,36-1,38	30x30
10. TIRS1	10,6-11,19	100x100
11. TIRS 2	11,5-12,51	100x100

Base de données Landsat

Le jeu de données Landsat fournis par le gouvernement des Etats Unies d'Amérique est formé par une couverture entière en images de tout le continent africain et sur plusieurs dates.

Ils ont pour mission de servir et soutenir les activités nationales dans les secteurs de gestion de ressources naturelles, le contrôle environnemental, la sécurité environnementale, la gestion de désastre et le développement durable.

Les images sont à un niveau de traitement élevé, géocodées et orthorectifiées dans le système de projection UTM.

Elles se présentent sous forme de scènes cataloguées et hiérarchisées selon le path et le row. Chaque scène est constituée par des quick-look (images dégradées en format Jpeg) et des canaux Landsat individuels et en format zippée.

Les images originales sont en format Géotiff

T2. RECHERCHER DES IMAGES SATELLITES SUR LE WEB

Les principaux critères qui guident le choix d'une image sont :

- ✓ La pertinence pour répondre aux objectifs en termes de résolution spatiale, temporelle et spectrale.
- ✓ Disponibilité d'images pour la zone et l'époque sur lesquelles vous voulez travailler (couverture nuageuse)
- ✓ Prix des images (gratuit vs très cher !)

Le choix d'une image est des fois une affaire de compromis.

T2.1. Exemple de sites à images gratuites

Des sites web fournissent des données images gratuitement. On a entre autres :

USGS EarthExplorer

<http://earthexplorer.usgs.gov>

Un catalogue de la « United States Geological Survey » (USGS) qui donne accès à de nombreux types d'images dont des images Landsat, Radar, à toute une série de cartes thématiques (occupation du sol,...),

<http://www.landsat.org/>

Le site propose entre autres une série d'images d'archive gratuitement à une résolution spatiale de 15 à 60 mètres. On y trouve les images Landsat 8 depuis 2013

<http://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=3868>

Observation mondiale des feux, de la végétation et de la couverture neigeuse à partir des images MODIS NDVI, NASA, entre Juillet 2002 et Juillet 2011

Google Earth

La visite dans Google Earth vous permet de voir une vue en haute résolution des zones que vous voulez étudier. Il ne s'agit pas d'une image satellite que vous allez enregistrer mais une image jpg que vous obtenez par capture d'écran

T2.2. Acquisition d'une image landsat

Via <http://earthexplorer.usgs.gov/>

On a une interface qui permet de naviguer sur toute la planète et de se positionner à une zone qu'on désire étudier en jouant sur le zoom.

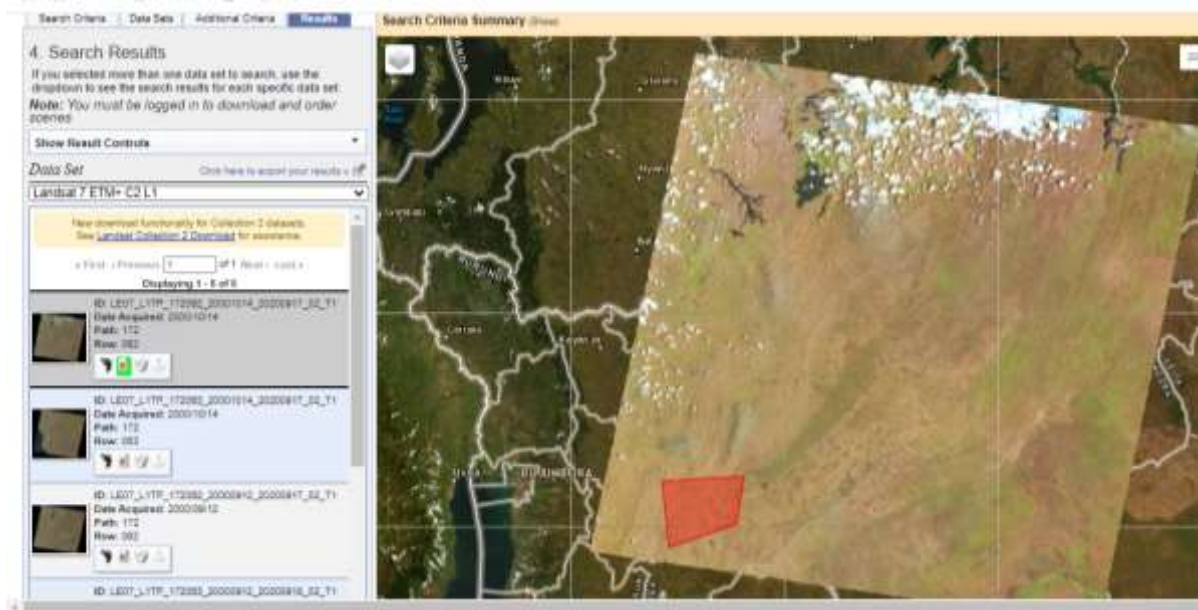


L'onglet « search criteria » permet de préciser la zone d'étude à l'aide de l'adresse ou des coordonnées si elles sont connues. Sinon on dessine un polygone ou un cercle sur la zone et les coordonnées se complètent. On choisit ensuite la date, le mois et l'année d'intérêt

L'onglet « DataSet » permet de définir les satellites qui nous intéressent

L'onglet « additional criteria » permet d'accéder à d'autres critères de sélection qui peuvent être définis tels que le pourcentage de couverture nuageuse.

L'onglet « results » permet d'accéder aux images pouvant être téléchargées.



Polygone autour de la commune Gitega et scène 172/062 qui contient cette localisation



La date d'acquisition et les date de prétraitement de l'image sont indiquées respectivement le 14 octobre 2000 et le 17 septembre 2020

NB

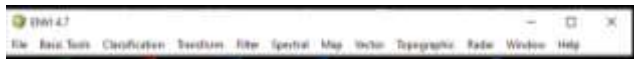
Les images Landsat peuvent être volumineuses. La taille du fichier que vous allez télécharger dans cette leçon est d'environ 900 Mo. Vérifiez que votre ordinateur dispose d'un espace suffisant sur le disque dur et que vous pouvez attendre le téléchargement avant de poursuivre. Pour télécharger des données Landsat, vous avez besoin d'un compte de l'USGS. Le compte est gratuit, mais pour l'ouvrir, vous devez communiquer vos coordonnées.

T3. MANIPULATION DES IMAGES A L'AIDE DES LOGICIELS SPECIALISE (ICI ENVI)

T3.1. Interface Envi

Le logiciel « ENVI »(Environment for Visualizing Images) est un logiciel professionnel de la société « EXELIS » (<http://www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVI/ENVI.aspx>) permettant **la visualisation, le traitement, l'analyse, et la présentation de nombreux types d'images numériques, dont les images satellites.** Il est disponible sous 2 interfaces différentes : « ENVI Classic » et « ENVI »:

Interface envi-Classic : une simple barre de menu donnant accès à toutes les fonctionnalités



Interface Envi complète avec fenêtre de visualisation



T3.2. Exploration d'images satellites sous Envi

➤ Ouvrir ENVI

Démarrer > Tous les programmes > ENVI > ENVI 4.7

➤ Ouvrir les images :

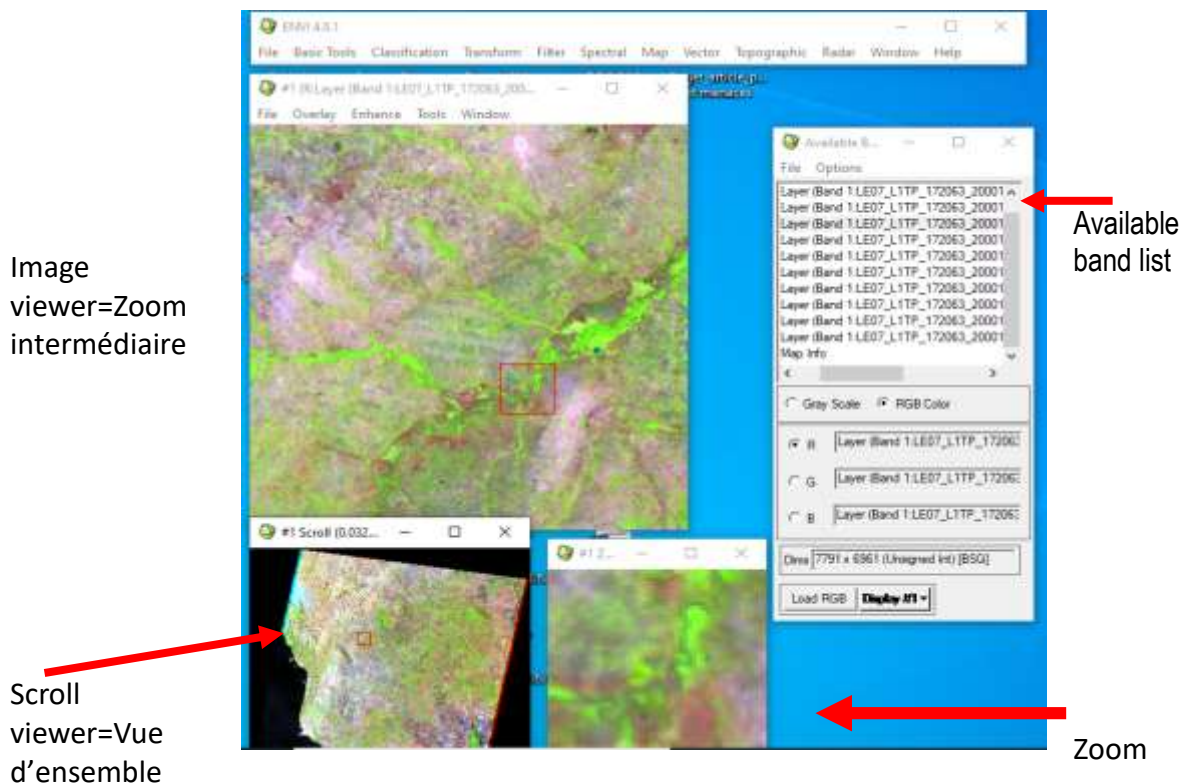
- Lancer le logiciel envi , Cliquez sur « **File > Open Image File** » et naviguez vers le fichier image qui se situe dans un répertoire et Cliquez « **Ouvrir** »,
- La fenêtre « **Available Band List** » s'ouvre et cette interface permet de sélectionner la/les bande(s) à afficher dans une fenêtre de visualisation de votre choix.

On peut afficher en nuance des gris « **Gray Scale** » une seule bande ou en combinaison de couleur « **RGB Color** » : [rouge (R), verte (G) et bleue (B)]

- Cochez l'option « **RGB Color** » ou« **Gray Scale** » et Sélectionnez chacune la ou les 3 bande (s) en cliquant sur le nom. (pour la combinaison colorée, on a une combinaison **vraie couleur (R=3, V=2, B=1)** et une combinaison **fausse**

couleur lorsqu'on affecte aux canaux RGB les couleurs qui ne les correspondent pas.

- Cliquez sur l'onglet « **Display # 1** », choisissez « **New display** » et cliquez sur « **Load** » pour charger la ou les bandes sélectionnées dans une nouvelle fenêtre de visualisation.



Composition colorée « 543 » ; Scène 172-063 ; année 2000

- Accédez aux informations d'une image :
 - « **Cursor Location / Value** » renseigne sur la position et la valeur du pixel sélectionné : Cliquez-droit sur une image dans une des fenêtres de visualisation et choisissez « **Cursor Location / Value** »
 - « **Pixel Locator** » renseigne (en Sample = Colonne et Line = Ligne) la position du pixel se trouvant au centre du carré rouge : Cliquez-droit sur une image dans une des fenêtres de visualisation et choisissez « **Pixel Locator** »

- Le « **Header File** » contient des informations sur le fichier-image : Cliquez sur « **File > Edit ENVI Header** » dans la barre de menu principale d'ENVI et sélectionnez le fichier d'intérêt dans la fenêtre « **Edit Header Input File** ». Les informations apparaissent dans la colonne « **File Information** »
- L'outil « **Quick Stats...** » calcule des statistiques sur vos images, dont la fréquence de distribution des valeurs de pixel dans chaque bande, les valeurs minimum, maximum, déviation standard : Cliquez-droit sur une image dans une des fenêtres de visualisation et choisissez « **Quick Stats...** »
- L'outil « **Measurement Tool** » permet de mesurer des distances et des superficies sur une image : Cliquez sur « **Tool > Measurement Tool** » dans la fenêtre de visualisation et choisissez le viewer d'intérêt dans la fenêtre « **Display Measurement Tool** » qui apparaît et définissez le type de mesure (lignes (distance), polygones (superficie)) et les unités (m, m², etc)

T3.3. Manipulation

- Modification du répertoire de travail par défaut : Cliquez sur « **File > Preferences > Default Directories > Data Directory > Choose** » et naviguez vers le répertoire que vous désirez.
- Regrouper les bandes : **Basic Tools - > Layer stacking- > import file- > (sélectionner les bandes à regrouper) - > ok**
- Réorganiser l'ordre d'apparition : **Reorder file** (en première lieu la bande 1 avec souris) ok.
- Composition colorée et caractéristique observée.
 - 321 Image en couleur naturelle
 - 432 Combinaison standard en fausses couleurs. La végétation apparaît en rouge.
 - 453 La limite entre terre / eau est très nette. Bon pour l'étude des sols et de la végétation.
 - 742 Combinaison souvent utilisée en géologie. Le sable, le sol et les minéraux montrent une multitude de couleurs. Bon pour étudier les régions désertiques.
 - 753 Combinaison souvent utilisée en géologie. Le sable, le sol et les minéraux montrent une multitude de couleurs.
 - 541 Combinaison souvent utilisée en agronomie. La végétation apparaît en vert clair.
 - 754 Très utiles en géologie. Fournit la meilleure pénétration dans l'atmosphère. La végétation apparaît en bleu.
 - 731 Combinaison bonne en géologie. Les roches apparaissent dans une multitude de couleurs.
- Lier les images exemple 321 et 432 (Synchronisation)
Cliquez droit sur une image->link displays-> choisir l'image à utiliser pour le display-> Ok

- Extraction de la zone d'étude. Utiliser un fichier en format Shape file que l'on utilise pour découper la zone (avoir la zone d'étude sous format vecteur) exemple : Délimiter une commune à partir d'un SHP des communes du Burundi avec QGIS.. Utiliser l'opération filter ou sélectionner l'entité puis exporter (veuillez à ce que ce soit sauvegardé sous format shapefile et UTM comme système de projection)

Ouvrez ENVI, afficher la composition colorée puis allez sur le menu vector-> open vector file, aller à l'emplacement du SHP et cliquez dessus, vérifiez en bas si on a un format SHP-> ouvrir

Il apparaît une fenêtre « input files » et vérifiez les informations liées au SHP-> cliquez OK

Il apparaît une fenêtre « available vector list » -> sélectionner le vector layer-> cliquez sur load selected.

Il apparaît une fenêtre « load vector » -> sélectionner « new vector window » ->OK.

Il apparaît une fenêtre « vector window: cursor query » ->cliquez file -> export active layer to ROIs. Il apparaît une fenêtre « select data file to associate with new ROIs » -> sélectionner l'image à couper -> OK.

Il apparaît une fenêtre « export EVF layer to ROI » -> sélectionner « convert all records » -> OK

Allez dans « Basic tools » -> « subset data via ROI », il apparaît une fenêtre « select file to subset via ROI » -> sélectionner l'image -> OK

Il apparaît une fenêtre « Spatial subset via ROI parameters » -> sélectionner « input file », mask pixels outside ROI -> sélectionner « yes » -> « choose » (cherchez l'emplacement, nommer) -> ouvrir -> OK

Faites composition colorée de l'image coupée -> new display -> load

- Calcul du NDVI (Normalised Difference Vegetation Index)

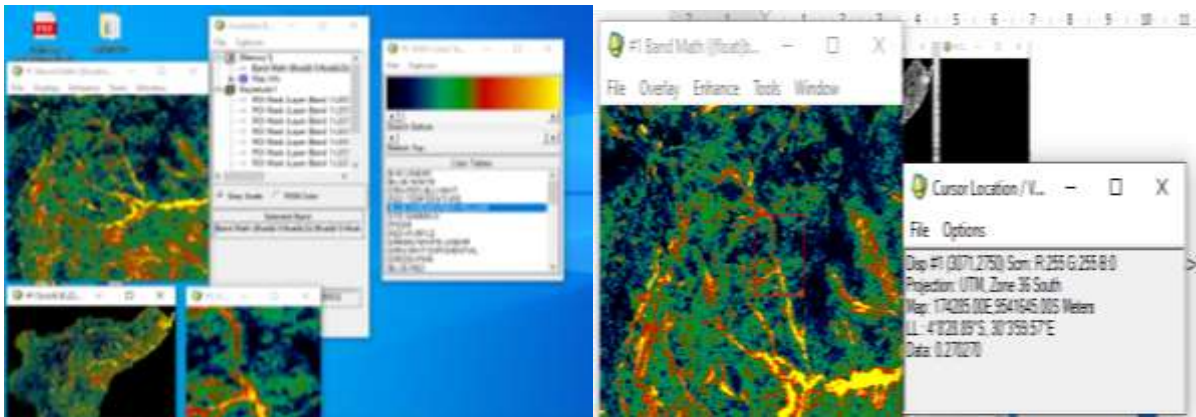
$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

Première méthode

Menu- basic tools-band math->(float(b1)-float(b2))/(float(b1)+float(b2)) -> add to list->ok->Renseigner que b1 est bande 4 et b2 est bande 3

Choisir l'emplacement et nommer->ok ; puis cliquez sur load band

Allez sur « tools » -> « color mapping » -> « envi color tables » ->Blue /Green/Red/Yellow, cliquez droit dans l'image->Cursor location Value



A gauche, Image NDVI commune Kayogoro, année 2000 ; à droite, valeur du NDVI au point du curseur.

2^{ème} méthode

Aller sur menu « Transform » ->NDVI->selectionner l'image dans la fenêtre « NDVI Calculation Input File » qui apparait->ok-> « Landsat TM » comme input file type ->mettez les numéro des bandes 4 et 3-> « floating point » comme output data type
« Choose » pour choisir l'emplacement et nommez ->Ok ->Load band
Allez sur « tools » -> « color mapping » -> « envi color tables » ->Blue /Green/Red/Yellow
Cliquez droit dans l'image->Cursor location Value

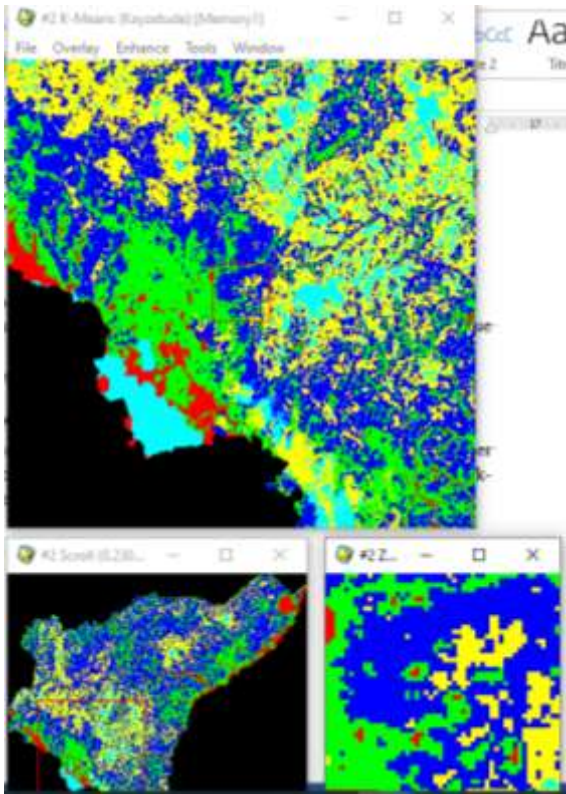
➤ Classification des images

Il existe différents types de méthodes de classifications :

- ✓ Supervisée : l'opérateur définit lui-même les classes à produire (nombre, caractéristique spectrale,...)
- ✓ Non-supervisée : le logiciel définit lui-même les classes

Classification non-supervisée

Dans menu, allez sur « classification » ->unsupervised->Isodata ou k-means->sélectionner l'image-> select mask band (choisissez une des bandes de la composition colorée) ->OK->Ok-> Choose (choisir l'emplacement et nommez) ->ok->new display->load



Classification supervisée

La première étape consiste à la détermination des zones d'entraînement (ROIs)

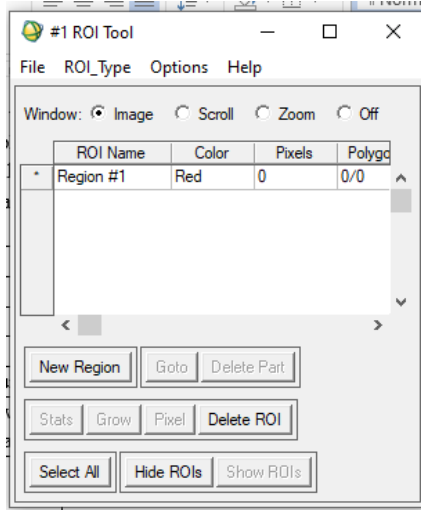
On se sert des données de campagne de terrain et dans le cas où on n'en dispose pas, on peut procéder par photo interprétation en s'aidant éventuellement de Google Earth pour les classes les plus difficilement reconnaissables.

Différentes classes peuvent être reconnues :

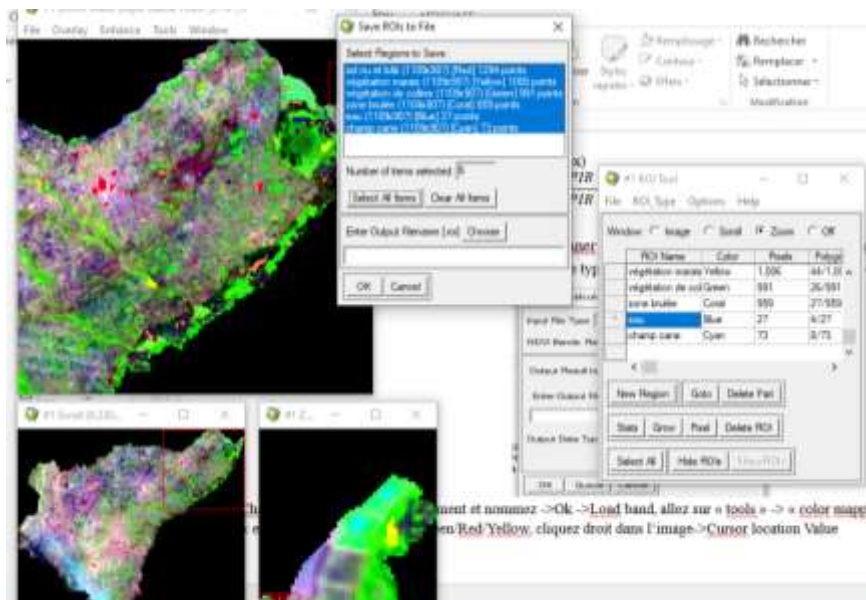
Classe	description
Bâti	Routes ; maisons
eau	Rivière, étang
Sol nu	Des parcelles agricoles avec un sol nu
zone de culture	Des parcelles agricoles avec végétation
Zone de savanes et de forêt claire	Végétation naturelle de collines

Végétation de marais	Végétation chlorophyllienne des marais et autour des cours d'eau
----------------------	--

Overlay->Region of interest. Il apparaît une fenêtre « ROI Tool »



Cochez le zoom-> sélectionner la première ligne pour échantillonner la première classe->cliquez droit sur la case correspondant à couleur et choisissez une couleur puis allez dans zoom pour dessiner des polygones. Doublecliquez droit pour terminer chaque polygone. Enregistrez les ROIs. Allez dans file->save ROIs->Select all Items->choose (emplacement et nommer) ->ouvrir->OK



Lancer classification supervisée : Classification->supervised->Maximum likelihood-> sélectionner l'image->select mask band(choisissez une des bandes de la composition colorée) ->OK-> Open->ROI file-> voirROI emplacement puis sélectionner->ouvrir->OK

Sélectionnez les classes de ROI-> dans set probability(cliquer sur none) ->choose (voir emplacement et nommez) ->ok, new display->load band

➤ **Vectorisation**

Enregistrement image classée : file -> save as->Erdas imagine

Dans QGIS : Couche->ajouter couche raster

Raster->conversion->polygoniser-> document temporaire

Mode édition-> table attributaire-> sélectionner l'entité à supprimer et supprimer et enregistrer.
propriétés->symbolologie->catégoriser (DN) ->classer->doubler cliquer dans légende et modifier. exporter->Enregistrer sous->