



Université Mostefa Ben Boulaid –BATNA2-

**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Ecologie et de l'environnement**



Cours de la matière

SIG et télédétection

**GOUAREF.K
MAA**

1^{ère} année Master Ecologie des zones arides et semi-arides (EZASA)

S

Systeme

« Combinaison d'éléments réunis de manière à formée un ensemble »

I

Information

« élément de connaissance susceptible d'être codé pour être conservé, traité ou communiqué »

G

Géographique

« relatif à la géographie ayant pour objet la description de la surface de la terre

Couramment appelés SIG ou Geographic Information System (GIS) en Anglais sont des systèmes informatiques de traitement d'informations localisées.

Définition du SIG



Information localisée
à la surface de la terre

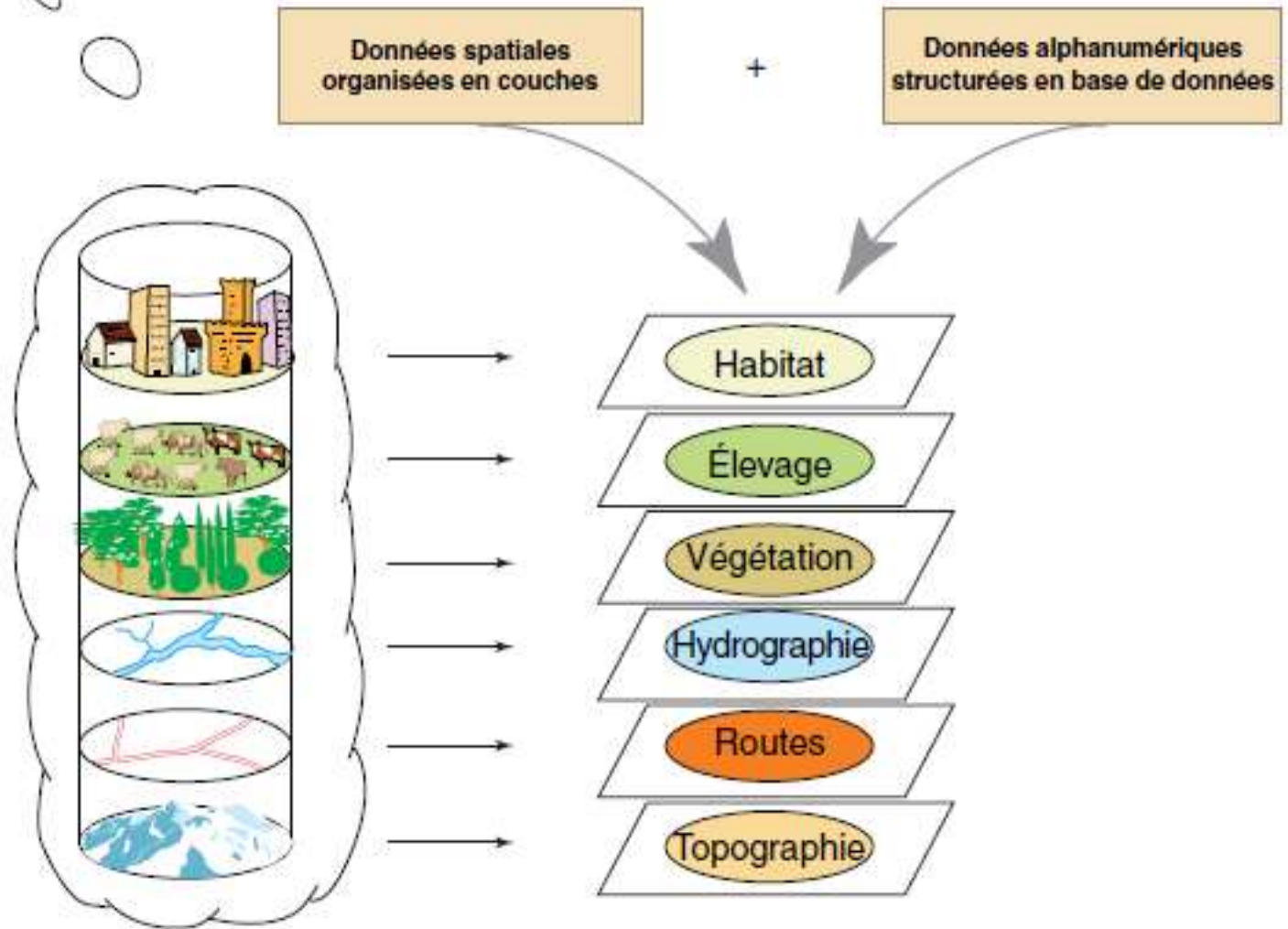


Base de données géoréférencées

Systeme informatique permettant, à partir de diverses sources,
de rassembler et d'organiser, de gérer,
d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter
des informations localisées géographiquement,
contribuant notamment à la gestion de l'espace.

(Société française de photogrammétrie et télédétection, 1989)

Structurer l'information géographique



Base de données géographique = ensemble de couches superposables

Le SIG comprend deux types de bases de données intimes:

informations destinées à être dessinées
(**données géographiques** de localisation
des objets dans l'espace)

des données porteuses d'information
décrivant les objets repérés (**données
attributaires ou descriptives**).

Fenêtre graphique

Fenêtre Sémantique

**Données
géographiques**



**Données
attributaires**

OBJET	Code	Surf. (m ²)	Perim. (m)	Alt. (m)	Superficie (m ²)	Superficie (m ²)
1 ADAM	1	27 703	37 974	1	10 610	
2 ADP	2	69 752	88 880	1	10 137	
3 ADP	3	212 288	377 324	2	161 647	
4 ADP	4	202 028	359 360	1	30 688	
118 ADP	5	740 795	364 745	1	464 361	
179 ADP	6	323 225	1 091 822	1	312 710	
202 ADP	7	430 233	1 070 888	2	288 620	
244 ADP	8	144 084	348 801	1	113 567	
27 ADP	9	312 347	374 881	1	89 114	
31 ADP	10	528 288	1 028 281	1	218 444	
32 ADP	11	80 623	172 710	1	18 612	
37 ADP	12	412 213	344 881	1	217 184	
38 ADP	13	711 020	368 272	2	307 324	
41 ADP	14	614 132	1 048 881	2	48 134	
481 ADP	15	614 132	1 048 881	1	48 134	
50 ADP	16	212 288	377 324	2	1 101 622	
51 ADP	17	444 576	377 324	2	312 620	
52 ADP	18	444 576	377 324	2	283 617	
53 ADP	19	302 028	1 048 881	1	481 612	
144 ADP	20	288 288	377 324	2	447 272	
145 ADP	21	288 288	377 324	1	424 612	
202 ADP	22	444 576	377 324	1	384 272	
203 ADP	23	444 576	377 324	2	387 612	
204 ADP	24	444 576	377 324	1	314 612	
205 ADP	25	444 576	377 324	2	444 272	
206 ADP	26	444 576	377 324	2	444 272	
207 ADP	27	444 576	377 324	2	314 612	
208 ADP	28	444 576	377 324	1	314 612	
209 ADP	29	444 576	377 324	1	384 612	
118 ADP	30	284 288	444 576	2	224 272	
119 ADP	31	1 101 622	1 048 881	2	384 272	
119 ADP	32	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	33	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	34	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	35	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	36	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	37	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	38	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	39	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	40	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	41	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	42	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	43	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	44	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	45	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	46	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	47	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	48	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	49	1 101 622	1 048 881	1	444 272	
119 ADP	50	1 101 622	1 048 881	1	444 272	

Le S.I.G permet la gestion d'une telle structure de données (une table comportant un champ objet géographique géopositionné et l'ensemble des champs tabulaires associés) :

❖ Les composantes d'un SIG:

Un SIG doit comporter au moins sept composantes :

- Une base de données à caractère spatial et thématique
- Un système de représentation cartographique
- Un système de saisie numérique
- Un système de gestion de la base de données géographiques
- Un système d'analyse spatiale
- Un système de traitement d'images
- Un système d'analyse statistique

➤ Ces composantes traduisent 4 fonctionnalités générales:

- **Acquérir** : fonctions de numérisation et d'importation des données
- **Archiver** : transférer les données de l'espace de travail (en cours de manipulation) vers l'espace d'archivage (en stock)
- **Analyser** : analyse des données (méthodes quantitatives, statistiques) et analyse spatiale (opérateurs topologiques)
- **Afficher** : visualiser l'information géographique (cartes, tables, documents textes...)
- **L'Accéder** : accéder aux données même à distance

Cette description des SIG en terme de fonctionnalités est dite « **des 5 A** »

❖ Vocation d'un S.I.G :

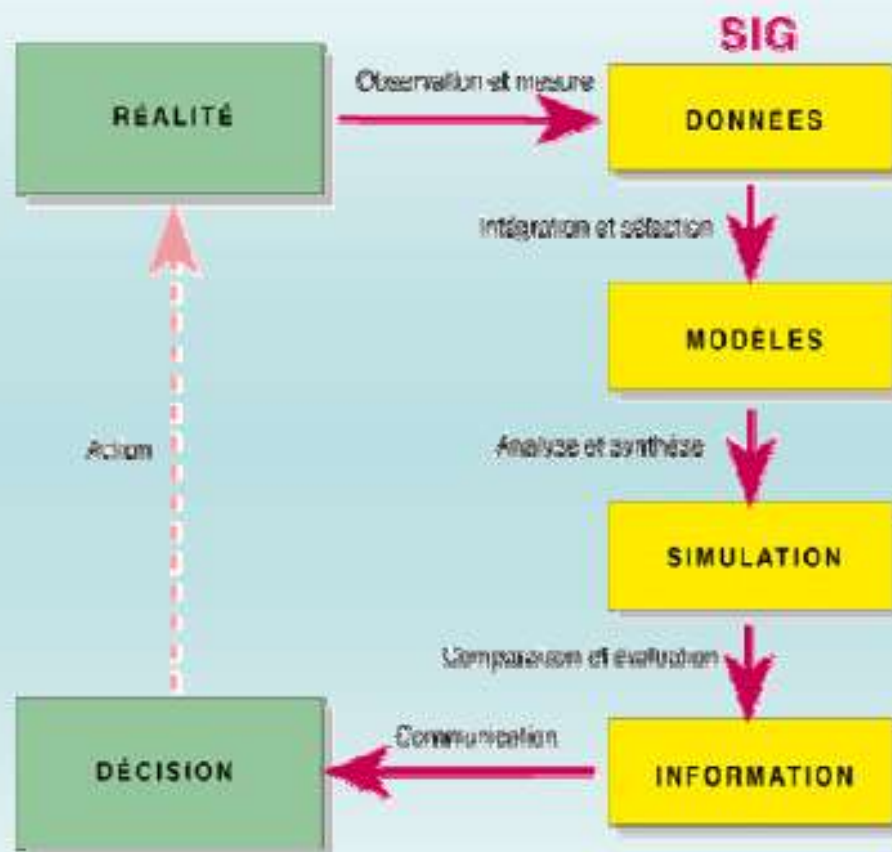
La complexité du monde réel est si grande que l'on crée des modèles de la réalité qui ne sont que des représentations de cette complexité du monde réel

Le contenu d'une **base de données** (BD) à référence spatiale présente donc **une vue partielle du monde (représentation particulière)**

L'utilisateur du SIG voit le monde à travers cette base de données. Il peut ainsi, via le SIG, prendre des décisions pour modifier cette réalité.

Les échantillons de la base de données doivent **représenter le monde de manière aussi exhaustive et consistante que possible.**

Le contenu de la BD doit être **pertinent en regard des objectifs visés**



- Un SIG centralise un très grand nombre d'information
- Un SIG facilite l'accès à ces informations
- Un SIG permet de mieux gérer toutes sortes d'enjeux

Les domaines d'application:

Les domaines d'application des SIG sont aussi nombreux que variés et il serait impossible d'en dresser ici une liste exhaustive. Citons cependant :

- **Tourisme** (*gestion des infrastructures, itinéraires touristiques*)
- **Marketing** (*localisation des clientèles*)
- **Milieu scolaire** (*parcours des autobus scolaires*)
- **Inventaire et gestion des ressources** (*équipements urbains*)
- **Planification urbaine** (*zonage*)
- **Gestion des installations** (*AM/FM, Automatic Mapping and Facilities Management*)
- **Protection civile** (*gestion et prévention des catastrophes*)
- **Politique** (*cartes électorales*)
- **Transport** (*planification, gestion des réseaux et conduite assistée*)
- **Hydrologie** (*gestion des AEP, réserves hydroélectriques*)
- **Réseaux de distribution** (*gaz, électricité, marchandises*)
- **Foresterie** (*gestion des coupes et sylviculture*)
- **Géologie** (*prospection minière*)
- **Biologie** (*études du déplacement des populations animales*)
- **Défense** (*planification des opérations militaires*)
- **Etc ...**

Mettre en place un SIG

Comment faire pour mettre en place un SIG dans les meilleures conditions ?

Tout d'abord, il faut savoir que cette mise en place va impliquer plusieurs services de l'entreprise. En effet, un SIG manipule de l'information qui doit souvent être recherché dans différents services et des différentes applications informatiques de l'entreprise.

Étape 1 : *Fixer des objectifs clairs*

Étape 2 : *Étudier le besoin*

Étape 3 : *Élaborer le cahier des charges*

Étape 4 : *Choisir le logiciel et les fonds de cartes*

Étape 5 : *Adapter le logiciel choisi au besoin et intégrer les différentes données*

Étape 6 : *Mettre en route*

❖ Les questions de base aux quelles un SIG doit répondre :

- **Où ?** Inventaire d'un type d'objet dans tous les endroits où il se trouve, mise en évidence de sa répartition spatiale.
- **Quoi ?** A tel ou tel endroit, que trouve-t-on ? Inventaire de tous les objets de l'espace concerné, nature des objets selon leur localisation, quantité, superpositions, proximités.
- **Comment ?** Quelles relations existent entre les objets ou phénomènes ? Que traduit leur répartition spatiale ? Problématique de *l'analyse spatiale*, au coeur de la Géographie.
- **Quand ?** Des changements sont-ils intervenus, et si oui, quand ? Âge, évolution de tel objet ou phénomène, historique et actualisation des données, *analyse temporelle*.
- **Et si ?** Que se passerait-il si tel scénario d'évolution se produisait ? Projection dans l'avenir, *simulation*, études de projet ou d'impact.

Les méta données :

·Il est très important de bien documenter les sources et les traitements effectués sur les données originales (cartographiques ou thématiques)

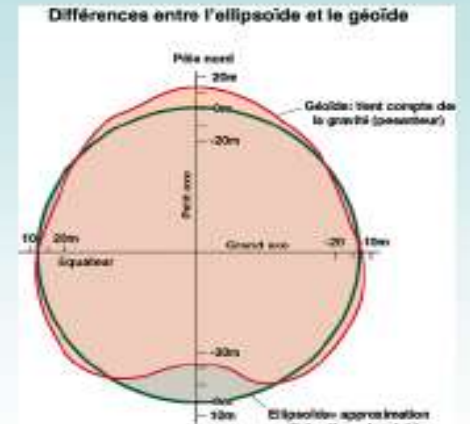
Les métadonnées sont utilisées à cette fin. Elle doivent être précises, entre autres, la référence spatiale, les méthodes de production, les entités et les attributs de même que les organismes impliqués et les droits de diffusion.

Les systèmes de représentations cartographiques :

La terre est un géoïde (solide approximativement ellipsoïdal) que l'on associe souvent à une sphère ou un sphéroïde

Les projections permettent de transformer les coordonnées sphériques (Lat/Long) en coordonnées cartésiennes (x,y généralement en mètres)

Cette transformation qui fait appel à la trigonométrie sphérique, ne se fait pas sans déformations



le concept du géoïde :

L'étude de la forme de la terre est l'objet d'une science: la **géodésie**. Elle s'attache à décrire la géométrie de cette forme et ses relations avec la pesanteur.

La surface mathématique la plus proche de celle de la terre (abstraction faite du relief) est celle d'un **ellipsoïde de révolution**, c'est à dire d'une sphère aplatie aux pôles. La prise en compte du relief nécessite l'introduction d'une autre surface, qui ne se résout pas à une forme mathématique simple.

La surface de référence est baptisée **géoïde**. Elle a été choisie telle que la surface des mers en soit une approximation

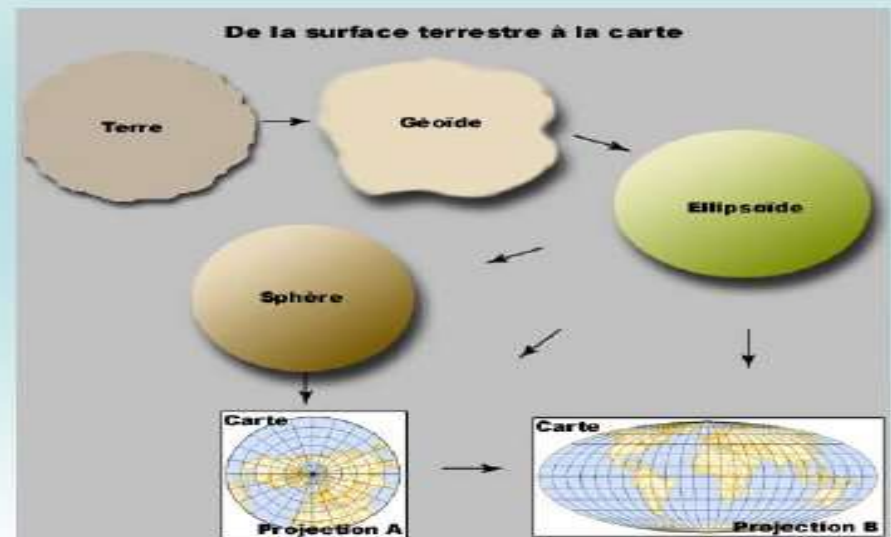
L'ellipsoïde

Chaque pays, pour calculer le réseau géodésique dont dépend sa cartographie a naturellement choisi un ellipsoïde propre, aussi voisin que possible du géoïde sur l'étendue de son territoire national.

Celui retenu par l'Algérie est **l'ellipsoïde de Clarke 1880 tangent au géoïde à Paris**.

Les coordonnées topographiques d'un point se donnent toujours en indiquant d'abord la valeur de l'abscisse (x) et la valeur de l'ordonnée (y).

Ex: 346 460 mE, 5 205 690 mN



A quoi servent les coordonnées géographiques ?

Les coordonnées géographiques vous serviront à vous repérer un lieu sur la surface terrestre.

Ces coordonnées sont des lignes imaginaires qui sont appelées parallèles et méridiens. Elles vous permettront de définir la latitude et la longitude de n'importe quel point situé à la surface du globe

Les méridiens

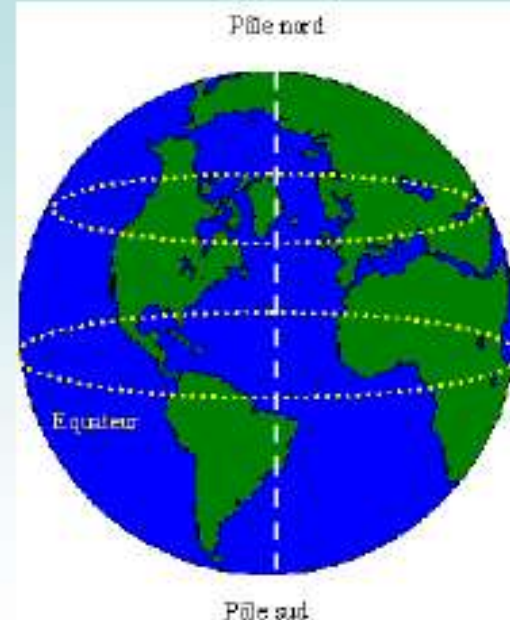
Les méridiens sont des grands cercles de la sphère dont le plan contient l'axe de rotation, ou axe des pôles. Tous les méridiens sont perpendiculaires à l'équateur et se rejoignent au pôle

longitude d'un point sur le globe est défini par rapport au méridien de référence (Greenwich, près de Londres).

Les parallèles

Les parallèles sont des cercles concentriques parallèles à l'équateur. L'équateur qui partage la Terre en deux hémisphères, est le seul des parallèles qui soit un grand cercle et dont le centre soit le centre de la terre.

La latitude d'un point sur le globe est défini par rapport au parallèle de référence (l'équateur).



Les mesures angulaires

les latitudes et longitudes sont des mesures d'angle: elles sont donc exprimées en degrés, minutes et dixièmes de minute (1 degré=60 minutes).

Pour comprendre ces mesures vous devez imaginer un compas partant du centre de la Terre comme sur l'image à droite. Ce compas aurait la pointe sèche plantée sur le parallèle ou le méridien de référence et l'autre pointe posée sur le lieu dont vous voudriez connaître la latitude ou la longitude

La latitude

Le parallèle de référence est l'équateur. Si vous voulez mesurer la latitude située sur l'équateur, vous trouverez évidemment un angle nul. N'importe quel point de l'équateur a donc une latitude de 0° .

La minute de latitude équivaut à 1852 mètres.

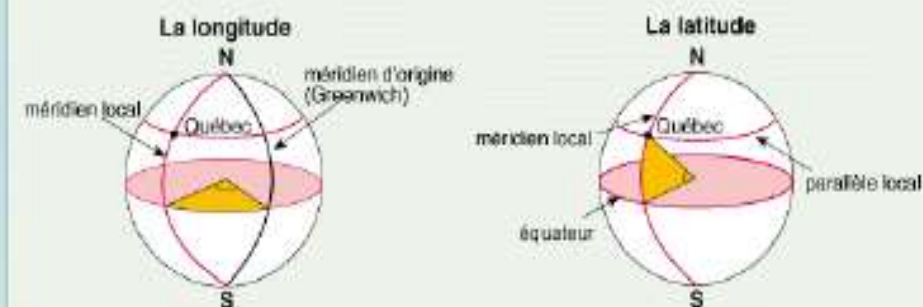
La longitude

Le méridien de référence a été choisi arbitrairement: c'est celui qui passe par Greenwich, en Angleterre. La terre est divisée en 360 degrés. La longitude se mesure de 0 à 180° Ouest (W) ou Est (E).

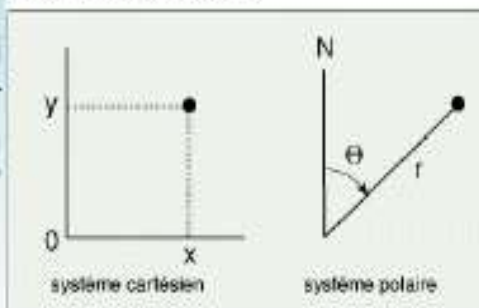
Exemples de coordonnées

Coordonnées sphériques

Québec: $\lambda: 71^\circ 13' \text{ W}$ $\psi: 46^\circ 49' \text{ N}$

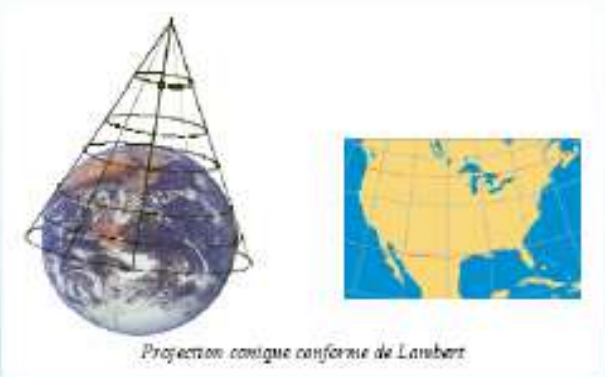


Coordonnées planes



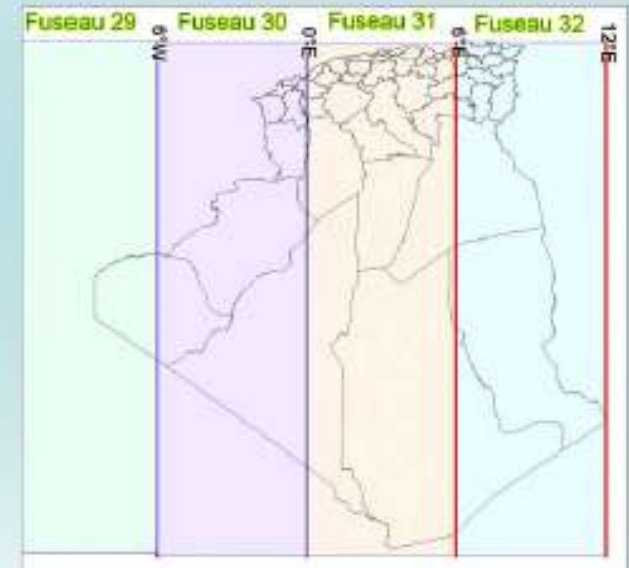
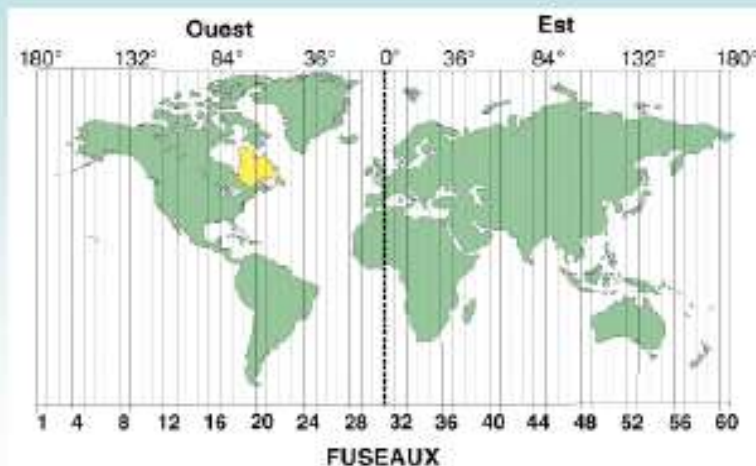
Projection conique de Lambert

Le système Lambert est largement utilisé en Algérie. C'est une projection conforme sur un cône tangent à un parallèle. Pour réduire les erreurs de projection plusieurs zones de Lambert sont adaptées, sur différents parallèles du nord au sud



Projection cylindrique de Mercator

La projection se fait sur un cylindre tangent à l'équateur.



Caractéristiques de l' UTM :

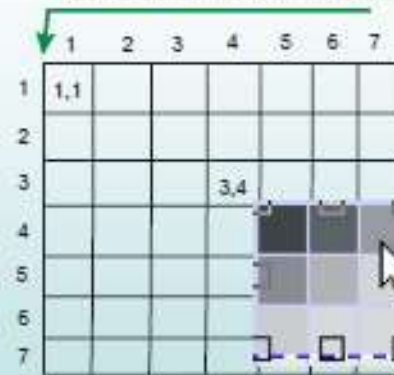
- Divise le monde en 60 fuseaux
- Chaque fuseau couvre 6° de longitude
- Territoire Algérien - fuseaux 29 à 32
- Coordonnées rectangulaires en mètres
- Séries de cartes au 1:50 000 et 1: 200 000
- Produites et distribuées par l' INCT

Deux modes de représentations des données cohabitent :

1) Le mode image (structure Raster):

Correspond à une division régulière de l'espace sous forme de cellules (**pixel**) en anglais, abréviation de (picture element). rectangulaires ou carrées. Il est fortement lié à la notion d'image (ex:image satellitaire, MNT ...).

Origine de l'image numérique



couche raster

2) Le mode objet (structure vectorielle):

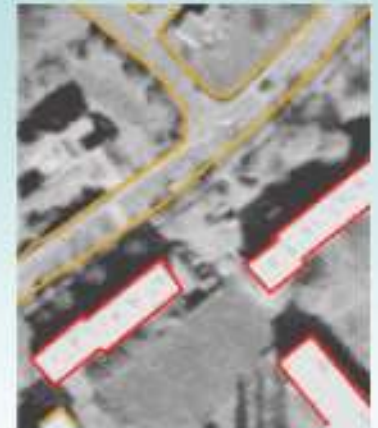
Le mode vecteur où chaque objet représenté sur la carte est décrit par des points successifs composant son pourtour. Chaque point est localisé par ses coordonnées rectangulaires et est joint au point suivant par un segment de droite (d'où le terme de vecteur).



couche vectorielle



Superposition des deux couches



On peut convertir des données raster en données vecteur (**vectoriser**), ou convertir des données vecteurs en Raster pixels (**pixeliser ou rasteriser**).

Représentation numérique vectorielle:

En mode vecteur, les objets spatiaux sont représentés à l'aide des primitives que sont le **points, de lignes et de polygones** pour représenter les **entités** (naturelles ou anthropiques) distribuées sur le territoire.

le point (**sans dimension**),



Points: de relevé, Coté, Géodésique, GPS
Batiment, Ville etc...,

la ligne (**une dimension**, la longueur)



Oued, route, voirie
canal, ligne électrique...

la zone ou Polygone (**deux dimensions** permettent d'apprécier des superficies).



Limite de pays,
commune
Lac, Occupation du sol ..

Définition

Eléments géométriques à partir desquels les entités spatiales sont reconstituées dans leur forme, leur taille et dans leurs relations spatiales

Les primitives

0 - dimension	1 - dimension	2 - dimension
<i>Point</i>	<i>Ligne</i> <i>Polyligne</i>	<i>Polygone simple</i> <i>Polygone complexe</i>

Concept de modèle numérique de terrain (MNT) :

Un modèle numérique de terrain (MNT), modèle numérique d'altitude (MNA) ou **Digital Elevation Model** est une représentation numérique d'une surface continue

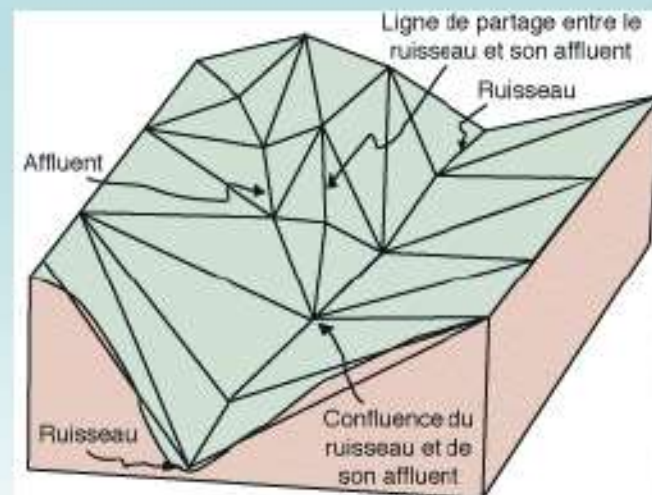
Dans la majorité des cas, appliquée à l'élévation

Géo bases (le plus souvent matricielles) à structure adaptée pour analyser des caractères structurels du terrain :

- pente,
- orientation de la pente,
- lignes de force du relief,
- ombres portées,
- chenaux de drainage,
- limites des bassins-versants,
- aires de visibilité, etc.

Dans la plupart des cas, on a d'abord un réseau de points de mesure, pouvant résulter d'un chantillonnage (aléatoire ou non) ou d'une structure pré-établie

À partir de ce réseau de points, ou souvent à partir d'isolignes déjà construites, on construit une modélisation de la surface continue



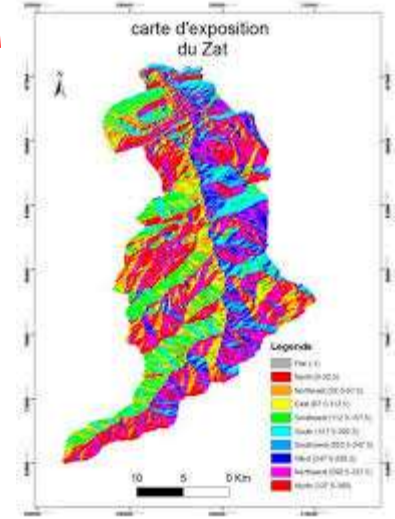
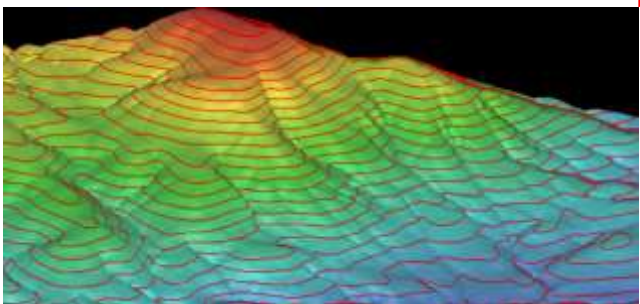
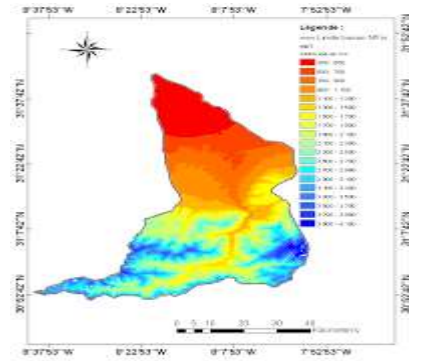
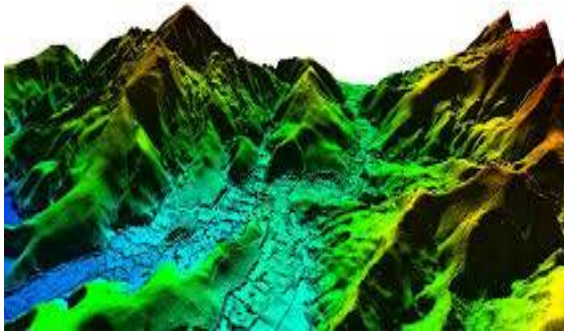
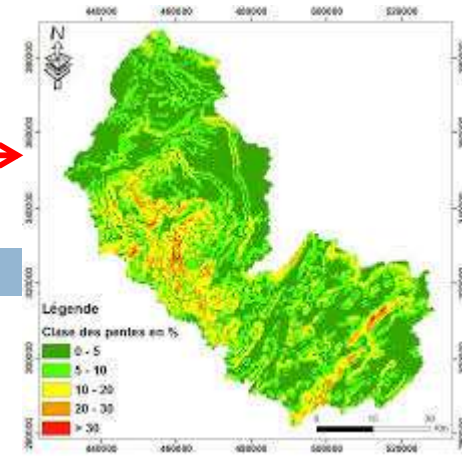
Triangulation d'un relief

On procède à une estimation spatiale: interpolation spatiale.



Produits dérivés du MNT


- Carte des altitudes.
- Courbes de niveau.
- Carte des pentes.
- Carte des expositions.
- Carte du réseau hydrographique.
- Carte des Bassins versants.
- Vues en 3D





GPS (Global Positioning System) . Créé à partir de 1973 la première technologie de positionnement par satellites. A l'origine réservée à une utilisation strictement militaire, le GPS va dès l'année 2000 s'ouvrir librement aux applications civiles. Il a pris au fil des années une place incontournable dans la société.

Et si le langage courant retient souvent le seul terme de “GPS” pour évoquer cette technologie, il est plus juste aujourd'hui de parler de GNSS (Global Navigation Satellite System). En effet, d'autres constellations et systèmes de positionnement ont rejoint le GPS américain.



Nous comptons de nos jours des milliers de satellites en orbite autour de la Terre. Parmi eux, nous pouvons citer les satellites des constellations GPS Américain, GLONASS Russe, GALILEO Européen, BEIDOU Chinois... Tous ne sont pas encore 100% opérationnels. C'est le cas de GALILEO et BEIDOU qui devraient l'être en 2020.

Le principe de fonctionnement repose sur l'intersection de signaux électromagnétiques émis par les satellites. L'utilisateur capte les signaux satellitaires définissant des segments satellites-usagers dont l'intersection géométrique permet la localisation.

Afin d'être en permanence fonctionnelles partout et en tous temps, les solutions actuelles utilisent des signaux provenant de plusieurs constellations. Ce recoupement d'informations autorise une meilleure précision, des temps de convergence quasi instantanés et une disponibilité autour du globe 24h/7j.

Les satellites des constellations GNSS (Global Navigation Satellite System)



AVANTAGES

- *Les systèmes GPS de collecte de données complétés par un logiciel SIG permettent une analyse complète des préoccupations écologiques.
- *Les systèmes GPS/SIG de collecte de données facilitent la détection des schémas et des tendances liés à l'environnement ainsi que la création de cartes thématiques.
- *Les données GPS peuvent être analysées rapidement sans qu'il soit nécessaire de transcrire au préalable les données de terrain sous forme numérique.
- *Il est plus facile de localiser avec précision les sites des catastrophes naturelles, incendies et marées noires par exemple.
- *La précision des données GPS de positionnement aide les scientifiques à surveiller la croûte terrestre et l'activité sismique.
- *La localisation et la cartographie basées sur le GPS facilitent la surveillance et la préservation des espèces en voie de disparition.

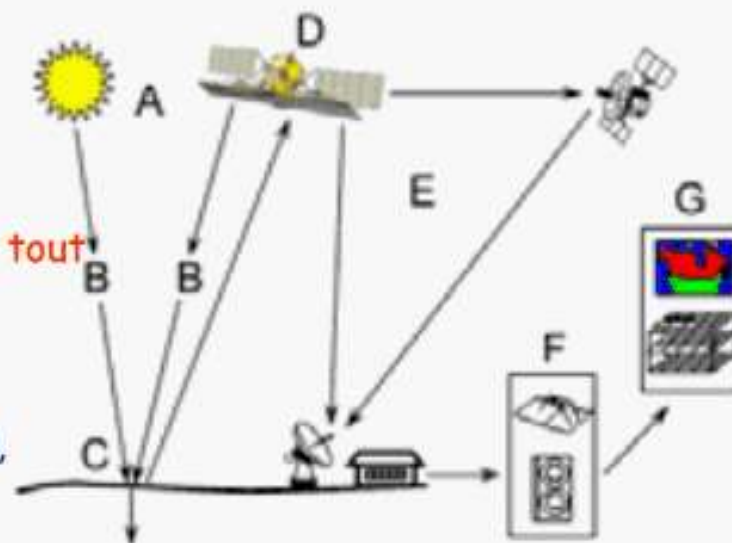
Principe de la télédétection

Différentes étapes de la télédétection des surfaces naturelles

1. Une source d'énergie ou d'illumination (A) :
En télédétection dite passive, le soleil constitue la principale source d'énergie. En télédétection dite active, la source est fabriquée par l'homme.

2. Interactions entre le rayonnement et l'atmosphère tout au long du trajet source-cible et cible-capteur (B).

3. Interactions avec la cible (C) :
Ces interactions sont de trois types : la transmission, la réflexion et l'absorption.
L'émission est à considérer comme un phénomène à part.

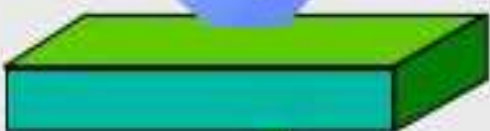


© CCRS

4. Enregistrement du signal par le capteur (D) : Le capteur enregistre le signal reçu.
5. Transmission, Réception, et Traitement (E) : Le satellite transmet les signaux vers des stations de réception au sol ou à des satellites relais. Au niveau de ces stations, les informations sont décodées et enregistrées sous forme d'images ou de photographies.
6. Traitements, analyses, interprétation et applications (F et G) : Les traitements se basent sur des théories et techniques souvent complexes et servent à extraire les informations utiles. Ces informations sont ensuite utilisées pour caractériser la cible étudiée.



REM incident



REM absorbé

REM réfléchi

REM transmis

RÉFLECTANCE

$$R = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie reçue}}$$

$$A + R + T = 1$$

ABSORPTANCE

$$A = \frac{\text{énergie absorbée}}{\text{énergie reçue}}$$

TRANSMITTANCE

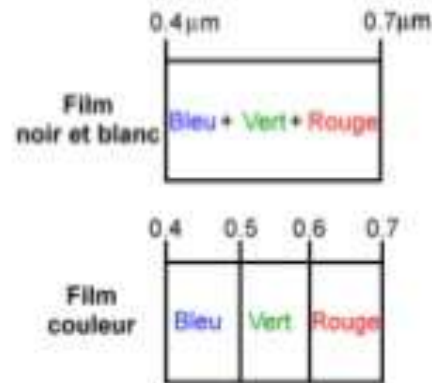
$$T = \frac{\text{énergie transmise}}{\text{énergie reçue}}$$

Résolutions d'un capteur

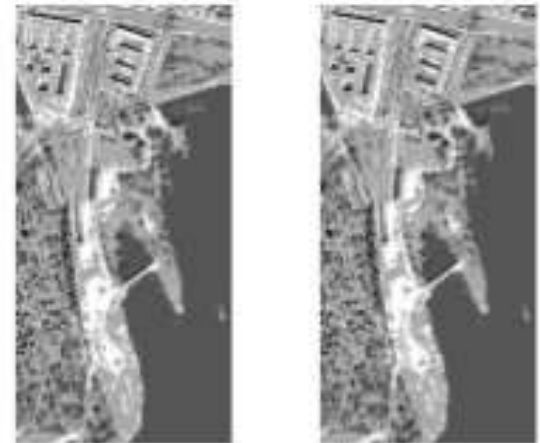
La **résolution spatiale** est fonction de la dimension du plus petit élément qu'il est possible de détecter

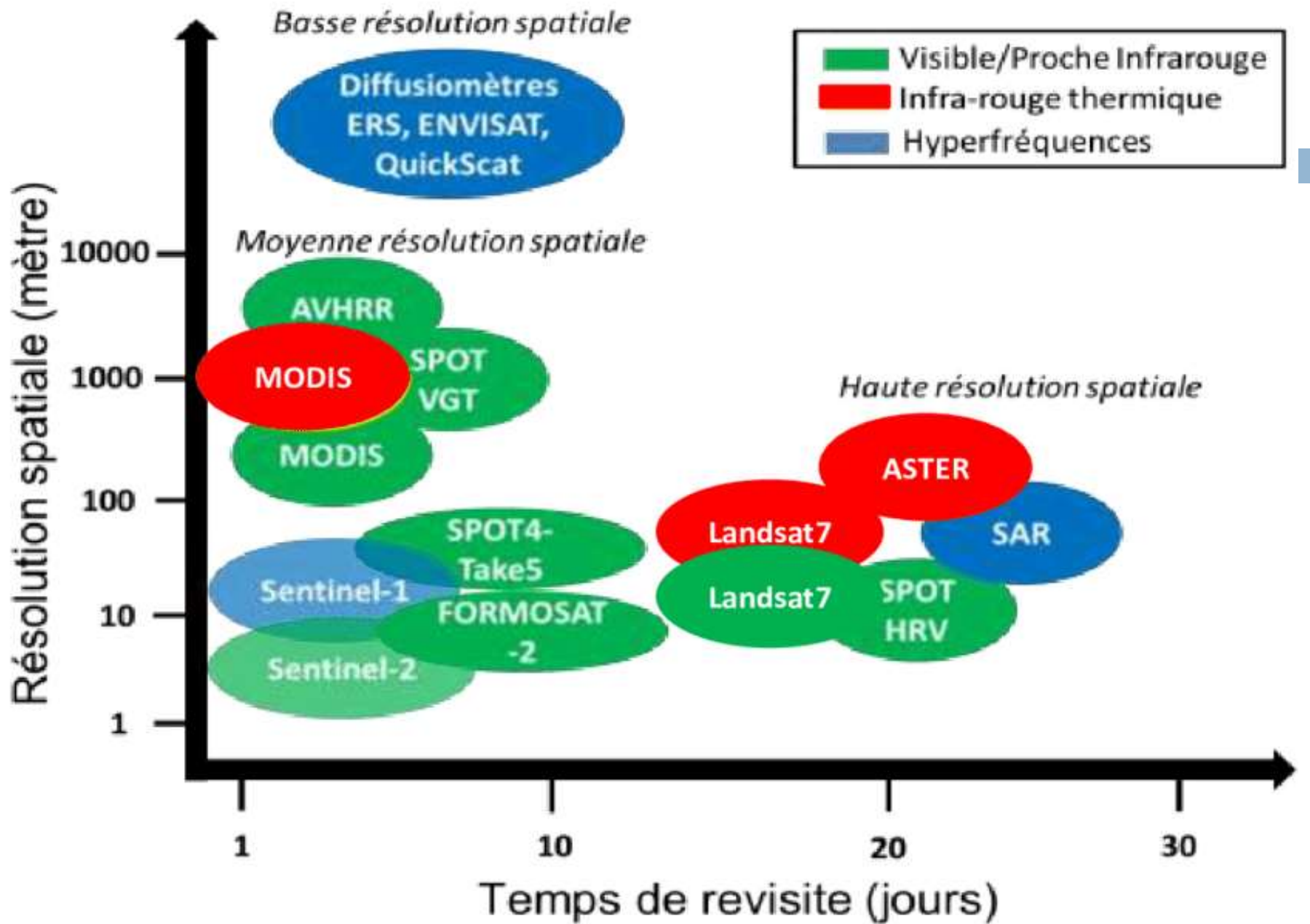


La **résolution spectrale** décrit la capacité d'un capteur à utiliser de petites fenêtres de longueurs d'onde. Plus la résolution spectrale est fine, plus les fenêtres des différents canaux du capteur sont étroites.

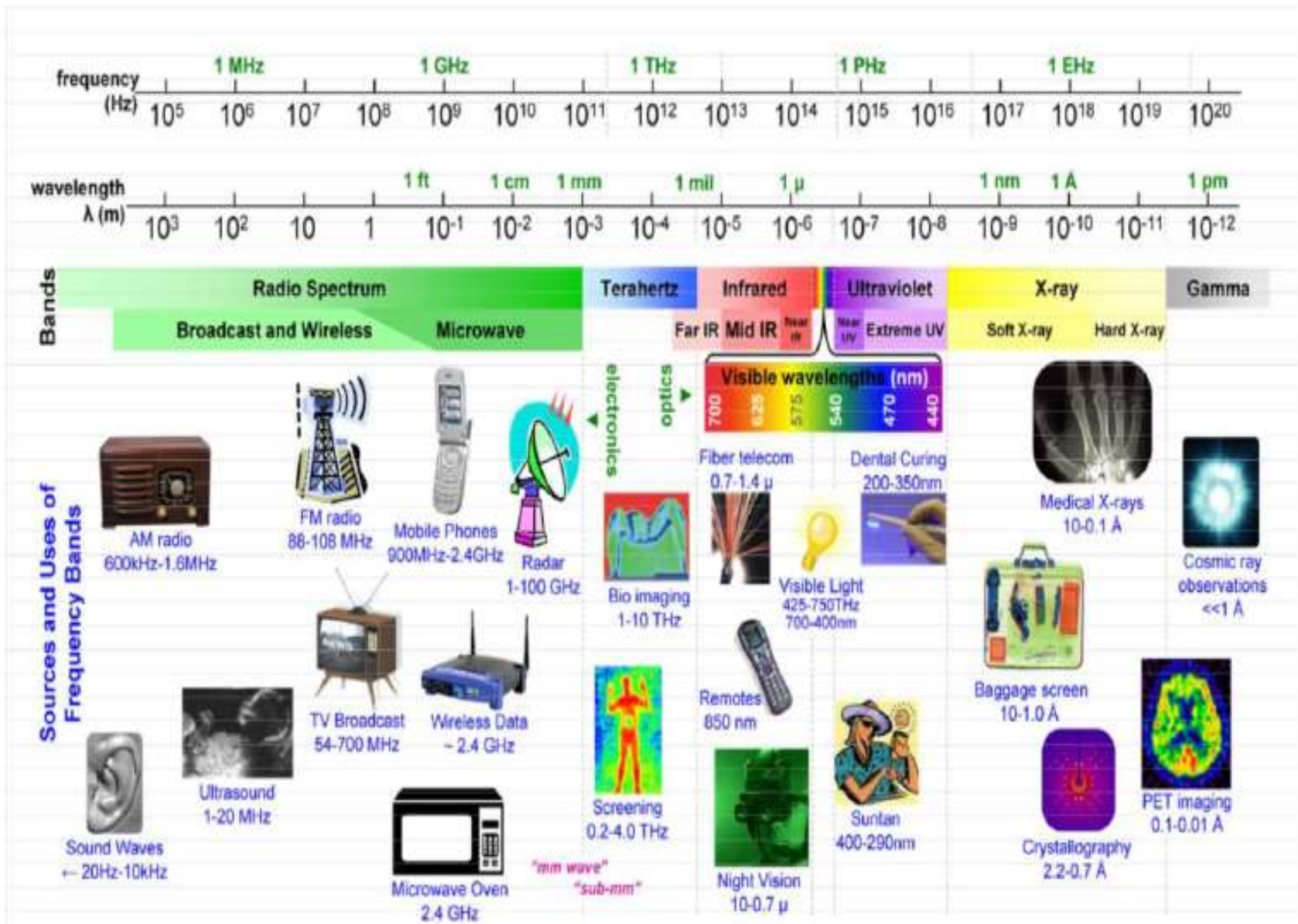


La **résolution radiométrique** d'un système de télédétection décrit sa capacité de reconnaître de petites différences dans l'énergie électromagnétique





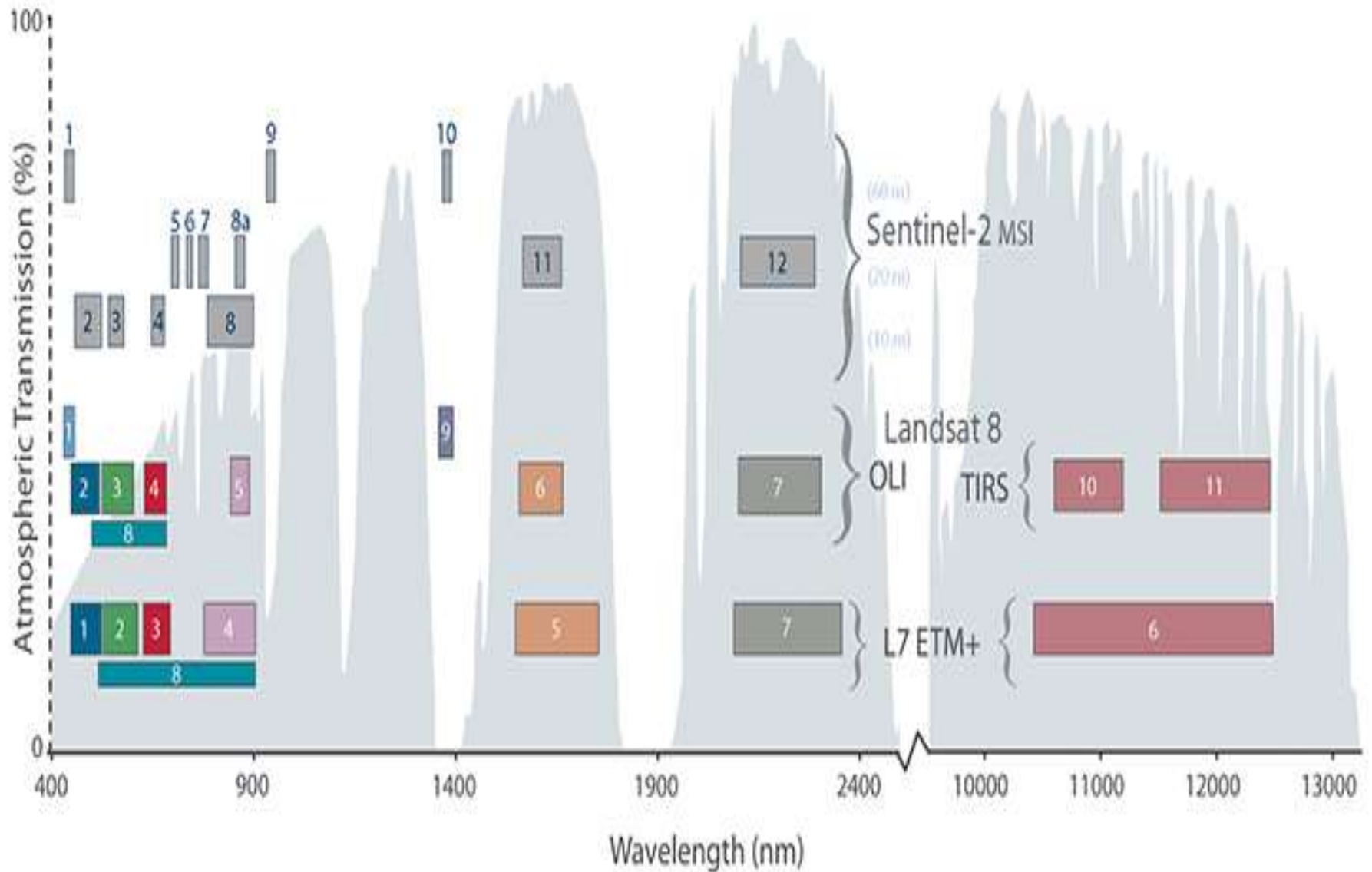
SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE: SOURCES ET UTILISATIONS DES BANDES DE FRÉQUENCES



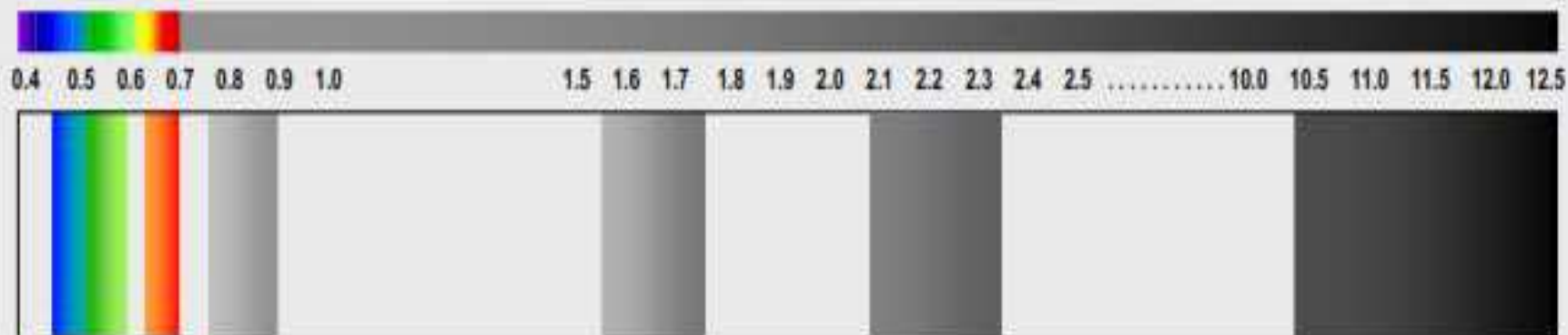
□ RÉGIONS SPECTRALES UTILISÉES POUR L'OBSERVATION À DISTANCE DE LA TERRE

- Spectre visible (0,4-0,7 μm): Gamme de fréquence de l'œil humain. Rayonnement solaire maximal. Subdivisé en trois groupes: R, G, B.
- Infrarouge proche (0,7-1,1 μm): Appelé IR réfléchi. L'énergie solaire des corps réfléchissants. Le rayonnement dans la région de l'infrarouge réfléchi est utilisé en télédétection de la même façon que le rayonnement visible.
- Infrarouge moyen (1,1 -8 mm): Mélange de rayonnement solaire et d'émission. Affecte de manière significative l'atmosphère: employé pour mesurer les concentrations de vapeur d'eau, ozone, aérosols, etc.
- Infrarouge thermique (8-14 mm): Rayonnement émis par les organismes eux-mêmes. La T_p d'un corps peut être déterminée (IR thermique). Les images peuvent être disponibles à tout moment de la journée.
- Micro-ondes (1mm-1m): Intérêt croissant de la télédétection dans cette bande. Perturbations atmosphériques sont mineures et sont transparentes pour les nuages. Les capteurs actifs sont généralement utilisés.

Comparison of Landsat 7 and 8 bands with Sentinel-2



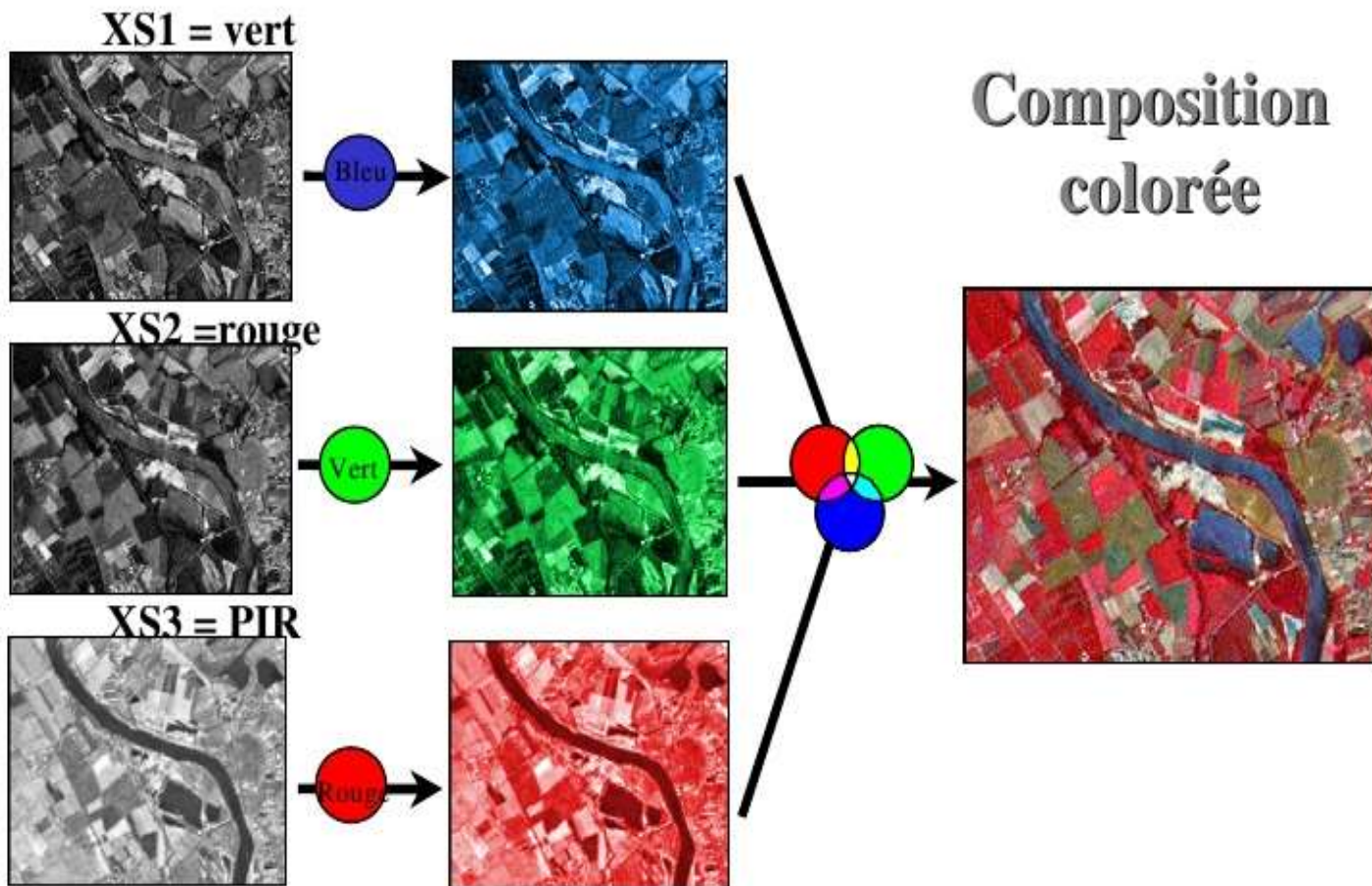
Exemple : LANDSAT TM



BLEU 0,45 - 0,52	discrimination <i>minéral / végétal</i> – eaux et milieu littoral : bathymétrie et cartographie côtière – Identification des caractères ruraux et urbains
VERT 0,52 - 0,60	cartographie de la <i>végétation chlorophyllienne</i> (mesure le sommet de réflectance) - Identification des caractères ruraux et urbains
ROUGE 0,63 - 0,69	discrimination <i>plantes feuillées et plantes à feuilles caduques</i> (absorption de chlorophylle) - Identification des caractères ruraux et urbains
PIR 0,76 - 0,90	discrimination entre <i>plantes</i> et entre <i>couverts végétaux</i> – état <i>sanitaire</i> et identification de la <i>biomasse</i> – contour des <i>surfaces en eau</i> (étangs, lacs, fleuves ...) - <i>humidité du sol</i>
MIR1 1,55 - 1,75	sensible à l' <i>humidité du sol</i> et des <i>plantes</i> - discrimination entre eau solide (<i>neige</i>) et eau gazeuse (<i>nuages</i>)
MIR2 2,08 - 2,35	discrimination entre <i>minéraux</i> et <i>roches</i> - sensibilité au <i>taux d'humidité</i> dans la <i>végétation</i>
IRT 10,4 - 12,5	identification du <i>stress</i> de la <i>végétation</i> et de l' <i>humidité</i> dans le <i>sol</i> en relation avec l'IRT - <i>cartographie des températures</i> du sol et de la <i>végétation</i> .

Affichage d'une composition colorée

Image en fausses couleurs

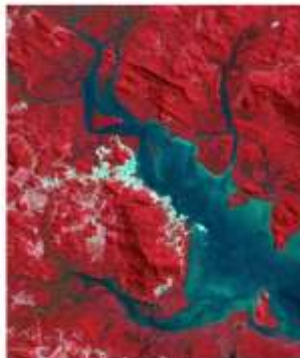


EXEMPLES DE COMPOSITIONS COLORÉES

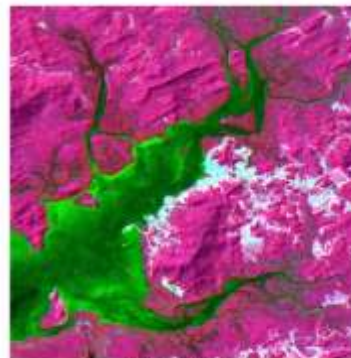
Images	Couleurs / Bandes spectrales			Principaux types de milieux			
	Rouge	Vert	Bleu	Eau	Végétation	Sols nus (cultures)	Bâti
(a)	3	2	1	Bleu foncé (eau profonde ou peu turbide) à bleu cyan (faible profondeur ou forte turbidité)	Vert foncé (forêt), vert très foncé (mangrove)	Vert pomme	Blanc
(b)	4	3	2	Bleu foncé (eau profonde ou peu turbide) à bleu-vert (faible profondeur ou forte turbidité)	Rouge vif (forêt), rouge plus terne (mangrove)	Rouge - rosé	Bleu très clair
(c)	5	4	2	Bleu soutenu (eau profonde ou peu turbide) à bleu légèrement plus clair (faible profondeur ou forte turbidité)	Vert vif (forêt), vert plus terne (mangrove)	Vert pomme	Rose - mauve
(d)	7	5	4	noire	bleu (forêt), bleu légèrement plus foncé (mangrove)	Bleu ciel	Jaune - orange
(e)	4	3	5	Vert foncé (eau profonde ou peu turbide) à vert clair (faible profondeur ou forte turbidité)	Pourpre (forêt), pourpre légèrement plus foncé (mangrove)	Rose pâle	Bleu ciel à blanc



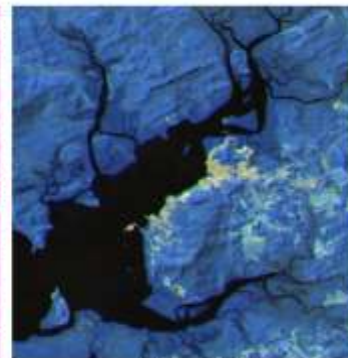
(a) combinaison 321



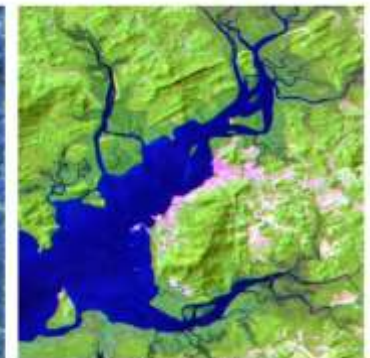
(b) combinaison 432



(c) combinaison 542



(d) combinaison 754

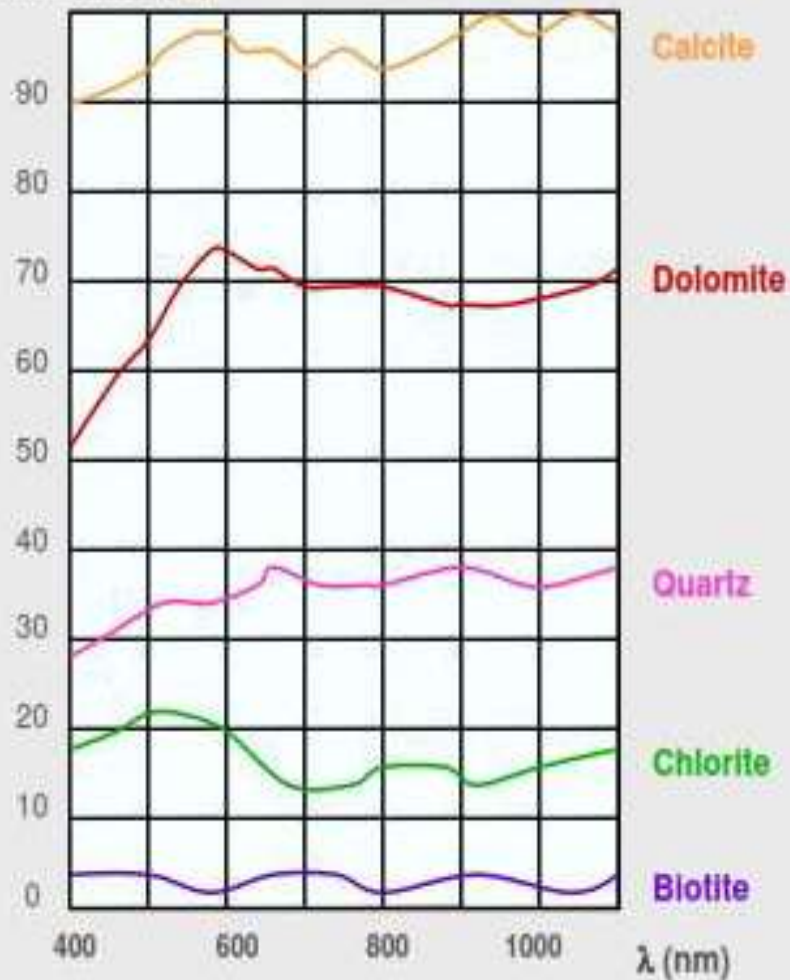


(e) combinaison 435

4.2 Signature spectrale

4.2.1 objets statiques : réflectance des minéraux et roches (en laboratoire)

Réflectance (%)



Minéraux

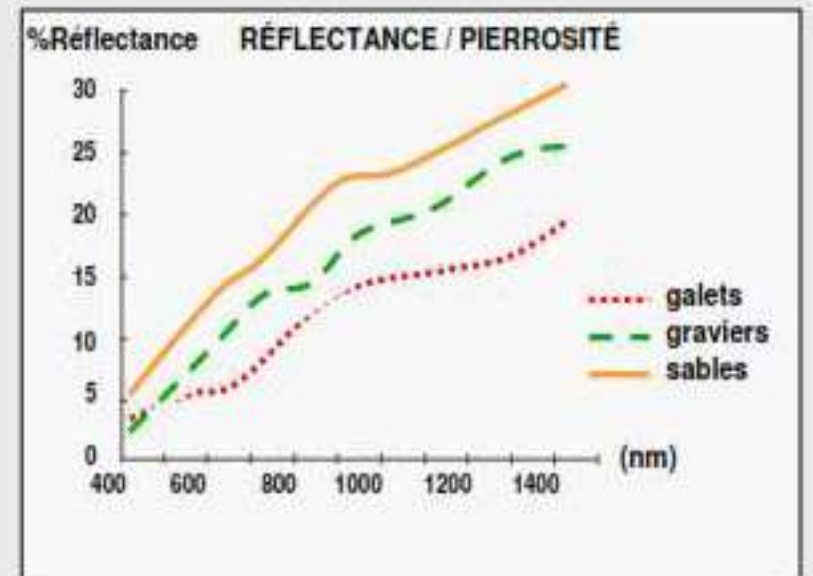
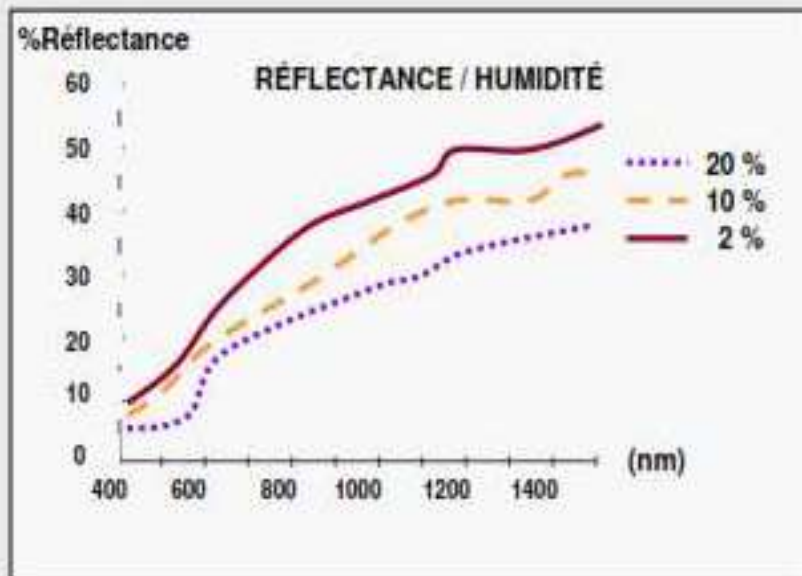
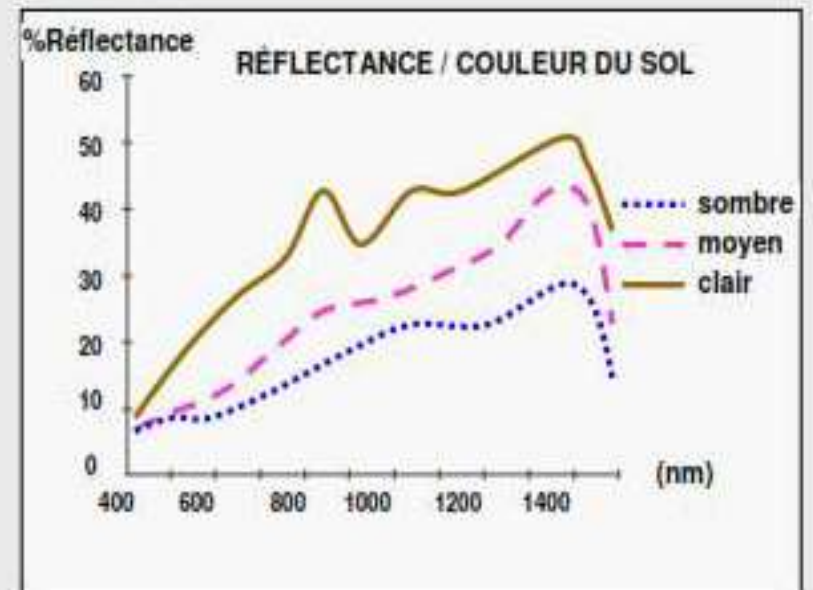
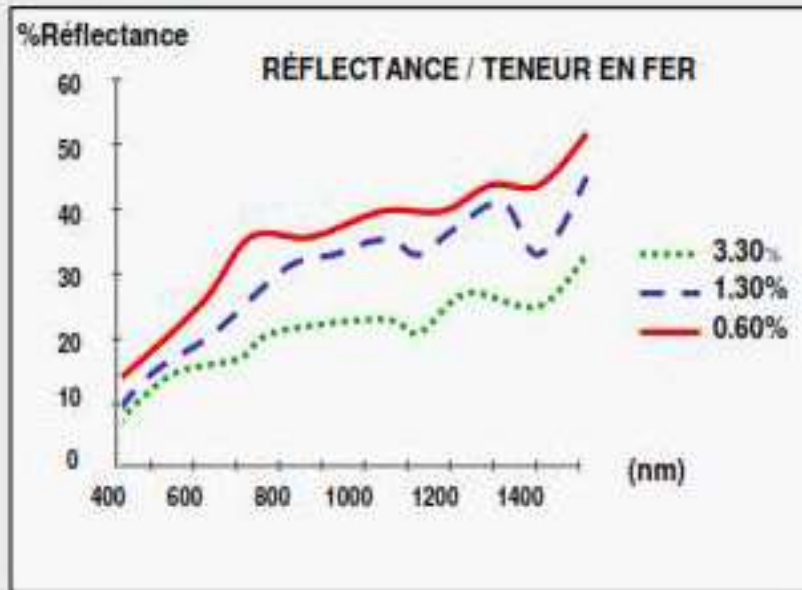
Réflectance (%)



Roches

4.2 Signature spectrale

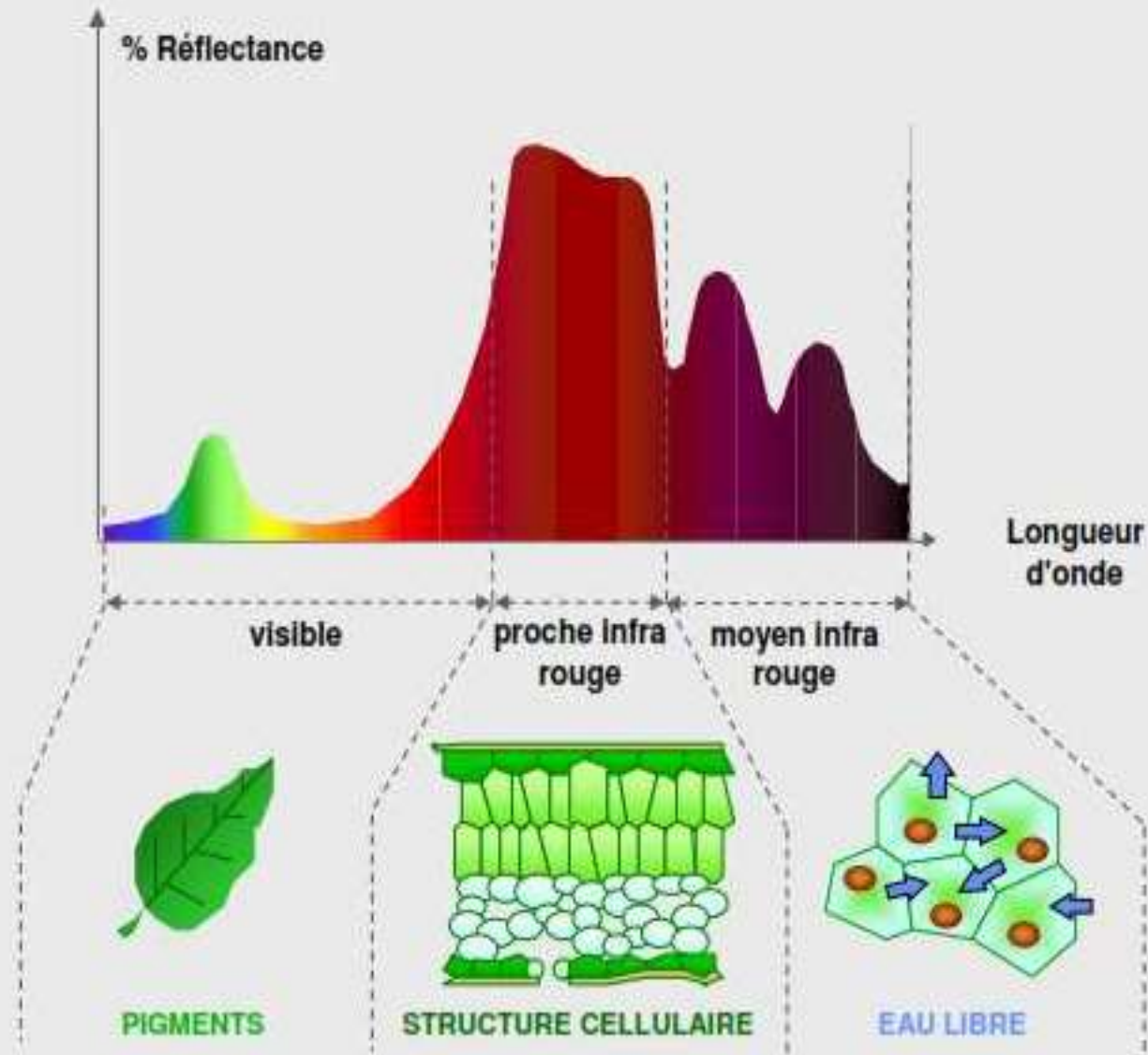
4.2.1 objets statiques : facteurs modifiant la réflectance des sols



4.2 Signature spectrale

4.2.2 objets dynamiques : les végétaux chlorophylliens

Courbe de réflectance d'un végétal chlorophyllien



Visible (VIS)

Proche infra-rouge (PIR)

Infra-rouge courte longueur d'onde (SWIR)

Pigmentation
de la feuille

Structure interne
de la feuille (mésophylle)

Contenu en eau et composition
(lignine, cellulose, sel minéraux, etc.)



Réflectance très élevée
de la végétation dans
le proche infra-rouge

Absorption élevée
dans le bleu
et le rouge

« Red edge »

Bandes d'absorption
de l'eau

Pic de réflectance dans le vert
(j'allais oublier : les feuilles sont vertes)

Exemple d'index de végétation

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS}$$

6.5 création de néocanaux : rapports de canaux et combinaisons linéaires

Effectuer des opérations arithmétiques entre canaux de manière à accentuer les différences de réponses spectrales caractérisant certains thèmes.

**Un indice de
végétation :
le NDVI**

$$\frac{\text{PIR} - \text{R}}{\text{PIR} + \text{R}}$$



**Un indice de
Brillance
IB**

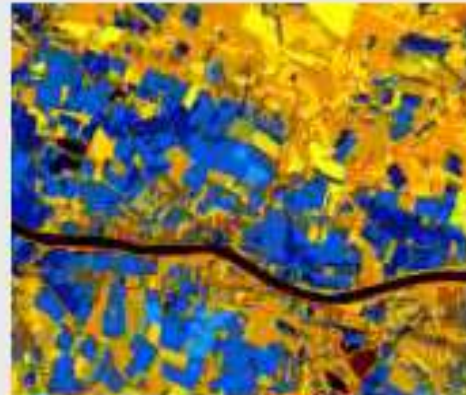
$$\sqrt{\text{PIR}^2 + \text{R}^2}$$



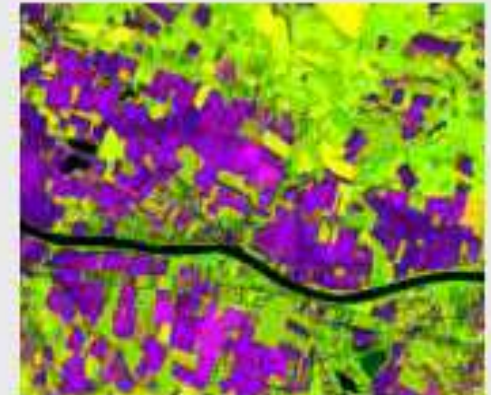
COMBINAISONS TRICHROMIQUES



PIR - R - V

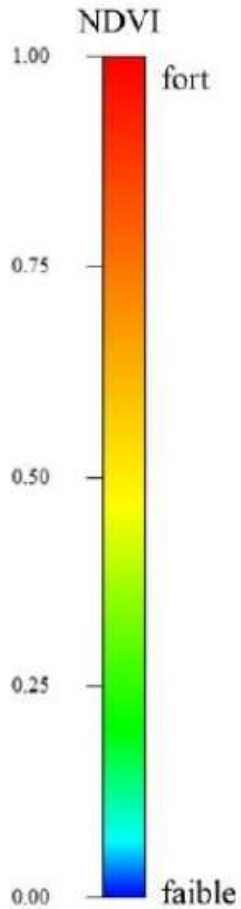


PIR - NDVI - R



NDVI - IB - R

Carte NDVI 5cm



Healthy Vegetation Reflectance

50% NIR 8% Red



NDVI = 0.72

Stressed Vegetation Reflectance

40% NIR 30% Red



NDVI = 0.14

HEALTHY STRESSED VEGETATION REFLECTANCE

50% NIR 8% RED



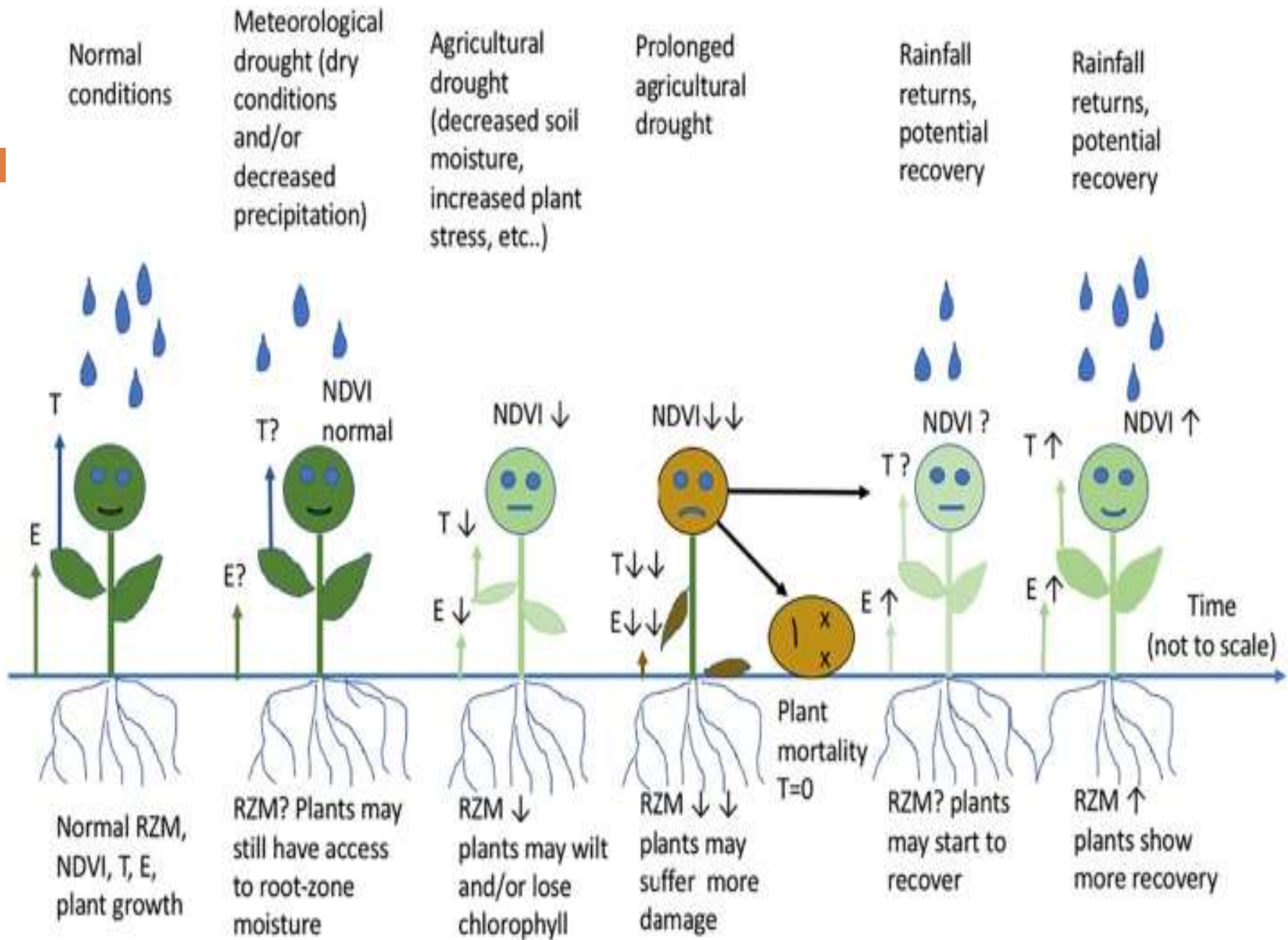
NDVI = 0.72

40% NIR 30% RED



NDVI = 0.14

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$



Normal conditions

Meteorological drought (dry conditions and/or decreased precipitation)

Agricultural drought (decreased soil moisture, increased plant stress, etc..)

Prolonged agricultural drought

Rainfall returns, potential recovery

Rainfall returns, potential recovery

T
E

T? NDVI normal

NDVI ↓
T ↓
E ↓

NDVI ↓ ↓
T ↓ ↓
E ↓ ↓

NDVI ?
T ?
E ↑

T ↑ NDVI ↑
E ↑

Plant mortality
T=0

Normal RZM, NDVI, T, E, plant growth

RZM? Plants may still have access to root-zone moisture

RZM ↓ plants may wilt and/or lose chlorophyll

RZM ↓ ↓ plants may suffer more damage

RZM? plants may start to recover

RZM ↑ plants show more recovery

Time (not to scale)